МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

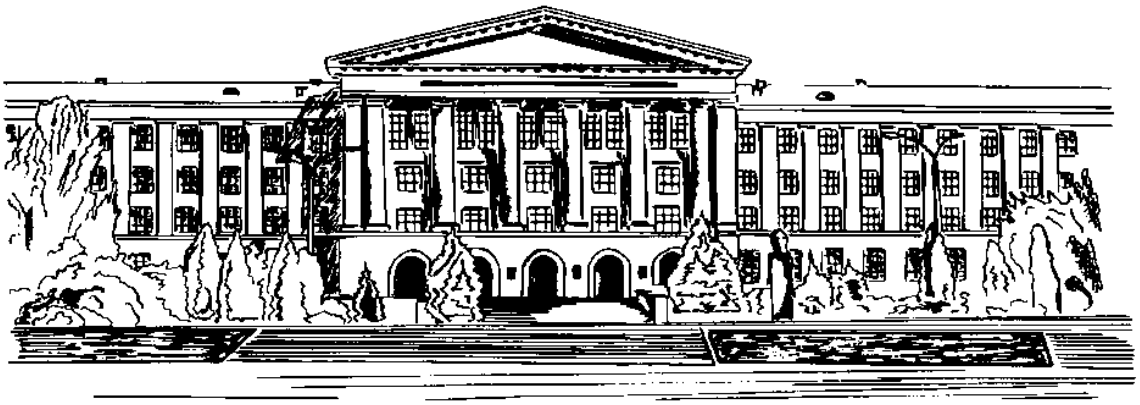
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

ДИНАМИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ДТС-2019»

XV международная научно-техническая конференция

(Ростов-на-Дону, 11-13 сентября 2019 г.)

Сборник трудов



Ростов-на-Дону

2019

УДК 378:001(063)

Д44

Организаторы конференции:

Министерство образования и науки РФ;
Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Институт механики Академии наук и технологий Вьетнама (Ханой, Вьетнам);
Вьетнамский технический университет им. Ле Куй Дона (Ханой, Вьетнам);
Крагуевацкий университет, факультет Технических наук (Чачак, Сербия);
Академия механики и аэрокосмического приборостроения
Университета штата Нью-Мексико (США);

Оргкомитет конференции:

Месхи Б.Ч., доктор технических наук, профессор – председатель;
Лукьянов А.Д., кандидат технических наук, доцент – ученый секретарь конференции;
Полушкин О.О., кандидат технических наук;
Минкин М.С., кандидат технических наук;
Шведова С.В., кандидат педагогических наук, доцент;
Лебеденко В.Г., кандидат технических наук, доцент;
Мозговой А.В., кандидат технических наук, доцент.
Бескопыльный А.Н., доктор технических наук, профессор;

Редакционная коллегия:

Месхи Б.Ч. – доктор технических наук, профессор, ректор ДГТУ;
Лукьянов А.Д. – кандидат технических наук, доцент (отв. ред.);
Тамаркин М.А. – доктор технических наук, профессор;
Заковоротный В.Л. – доктор технических наук, профессор;
Варавка В.Н. – доктор технических наук, профессор;
Нейдорф Р.А. – доктор технических наук, профессор;
Марчук В.И. – доктор технических наук, профессор.

Д44 **Динамика технических систем «ДТС-2019»**: сборник трудов XV международной научно-технической конференции (Ростов-на-Дону, 11-13 сентября 2019 г.) / Донской государственный технический университет; под ред. А.Д. Лукьянова. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2019. – 110 с.

ISBN 978-5-6043973-5-0 УДК 378:001(063)

В сборник вошли материалы докладов по итогам работы XIV международной научно-технической конференции «Динамика технических систем «ДТС-2019». Конференция проводилась 11-13 сентября 2019 г. в Донском государственном техническом университете и была посвящена обсуждению проблем и перспектив развития научных направлений в области динамики технических систем, теории управления, синергетики и обработки данных.

© ДГТУ, 2019

О конференции

XV Международная научно-техническая конференция «Динамика технических систем» - «ДТС-2019» является традиционной научной конференцией, объединяющей ученых и специалистов технических вузов, занимающихся развитием фундаментальных и прикладных аспектов инженерных наук.

До 2008 года конференция проводилась каждые 2 года в одном из ведущих вузов страны, среди которых можно перечислить: Нижегородский государственный университет имени Н.И.Лобачевского, Саратовский Государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Тульский государственный технический университет, Донской государственный технический университет и др.

Целью проведения конференции является обмен опытом и определение современных научных направлений в области динамики технических и технологических систем, охватывающих фундаментальные основы механики, динамики и трибологии, проблемы нелинейной динамики и синергетики в технических системах, проблемы механики гетерогенных и композитных материалов, а также фундаментальные основы системного анализа, математического моделирования и обработки информации при исследовании технических и технологических систем. Конференция направлена на дальнейшую интеграцию усилий ученых, технологов и конструкторов для создания, внедрения и промышленного использования последних достижений науки и наукоёмких технологий на предприятиях различных отраслей машиностроения, в том числе предприятий оборонного комплекса и других производств.

Формирование качества поверхности при глубокой вытяжке изделий из листовых сталей в условиях комбинированного механо-физико-химического воздействия

Шульга Г.И., Колесниченко А.О., Лебединский И.Ю.
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
e-mail: g.shulga41@mail.ru

Щербаков И.Н.
Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: bdd-don@mail.ru

Forming surface quality during deep extraction of products from sheet steels under conditions of combined mechanical-physical-chemical exposure

Shulga G.I., Kolesnichenko A.O., Lebedinsky I.Yu.
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia
e-mail: g.shulga41@mail.

Scherbakov I.N.
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: bdd-don@mail.ru:

Аннотация. **Приведен анализ силового воздействия, нормальных, касательных напряжений, трибосистем при глубокой вытяжке осесимметричных изделий из листовых сталей. Для снижения адгезионного взаимодействия, снижения коэффициента трения между деформируемым изделием и штамповым инструментом использовался ревитаметаллизант РВ-18, содержащий фрактальные структуры с адсорбированными нанопорошками меди, бронзы и цинка.**

Приведены методики исследования смазочных свойств ревитаметаллизанта РВ-18 на торцевой машине трения, гидравлической машине для испытания технологических свойств листового металла МТЛ-10Г-1. Приведена оптимизация процесса вытяжки листовых сталей с применением универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench.

Ключевые слова: **смазочный материал, фрактальная структура, нанокластер, вытяжка, штамповый инструмент**

Abstract. **The analysis of the power of influence, normal and tangential stresses, tribosystem during deep drawing of axis-symmetrical articles of sheet steels. To reduce the adhesive interaction, the coefficient of friction between the deformable unit and the stamping tool was used revitametallizant RV-18 with a fractal structure with adsorbed nanoporosity copper, bronze and zinc.**

The method of the study of lubricating properties of reviametallizant RV-18 on the end machine, hydraulic testing machine tehnologicheskih sheet metal properties of MTS-10 G-1. The optimization of the process of drawing sheet steel using a universal software system of finite element analysis ANSYS Workbench.

Keywords: **lubricant, fractal structure, nanocluster, drawing, stamping tool**

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении находит широкое распространение получение осесимметричных деталей из листовых сталей с использованием малоотходных технологических процессов штамповки и вытяжки. Актуальной проблемой является разработка научно-обоснованных триботехнологий получения изделий штамповкой и вытяжкой с применением водораство-

римых экологически безопасных смазочных материалов, работающих в условиях комбинированного механо-физико-химического воздействия. Такие триботехнологии с использованием универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench позволяют производить оптимизацию данных процессов, повышать качество и эксплуатационные характеристики получаемых изделий.

Данная проблема решается разработкой и использованием водорастворимого технологического смазочного средства – ревитаметаллизанта РВ-18, который включает гибридные фрактальные лигандные кластеры с адсорбированными нанометрическими частицами порошков цветных металлов. Гибридные кластеры формируют в зоне контакта самоорганизующиеся диссипативные структуры, включающие композитные пленки заданной толщины. Данные пленки состоят из золей, поверхностно-активных веществ, нанопорошков цветных металлов, обеспечивающие повышение нагрузочной способности ревиметаллизанта РВ-18, долговечности штампового инструмента, снижение силовых параметров технологического процесса и качество обрабатываемых поверхностей [1–5].

Для описания предельного состояния глубокой вытяжки приемлемы гипотезы постоянства касательных напряжений и постоянства энергии формообразования – энергетическое условие Мизеса-Генки [6]. .Для протекания пластического формообразования фланца заготовки необходимо, чтобы соотношения между напряжениями соответствовали условиям пластичности Убера-Мизеса [6]:

$$/\sigma_\rho/+/\sigma_\theta/=\beta\cdot\sigma_s, \qquad (1)$$

где β – коэффициент Лоде ($\beta=1...1{,}15$),

σ_ρ – растягивающие меридиональные напряжения; Н/мм^2 ;

σ_θ – сжимающие широтные напряжения, Н/мм^2;

σ_s – напряжение текучести, Н/мм^2.

На элементарный объем при вытяжке цилиндрического участка действуют растягивающие меридиональные напряжения σ_ρ, которые должны быть меньше напряжения текучести деформируемого материала заготовки ($\sigma_\rho<\sigma_s$). При невыполнении данного условия происходит утонение стенки, завершающееся отрывом дна. На элементарный объем донной части заготовки действуют растягивающие меридиональные σ_ρ и сжимающие широтные σ_θ напряжения, которые всегда меньше напряжения текучести деформируемой заготовки($\sigma_\rho<\sigma_s, \sigma_\theta<\sigma_s$)..

Технологический процесс глубокой вытяжки рассмотрен как трибообъект, состоящий из трибосистем I-VII, включающие контактирующие трущиеся пары, технологический смазочный материал, воздушную среду, обеспечивающие коэффициенты трения (μ_1- μ_7) необходимые для реализации технологического процесса глубокой вытяжки изделия: I – плоский прижим – плоская заготовка (μ_1), II – плоская заготовка – плоская матрица (μ_2); III – радиус заготовки – радиус матрицы (μ_3); IV – цилиндрическая заготовка– цилиндрическая матрица (μ_4); V – цилиндрический пуансон– цилиндрическая заготовка (μ_5); VI – радиус пуансона – радиус матрицы (μ_6); VII – плоский пуансон – плоская заготовка (μ_7) [2].

Анализ операций листовой вытяжки ставит целью отыскания полей нормальных и касательных напряжений и деформаций, возникающих в заготовке в процессе ее деформирования [6]. Анализ операций листовой вытяжки может быть выполнен: совместным решений уравнений равновесия, уравнения пластичности; уравнений связи напряжений и деформаций; уравнений неразрывности деформаций.

Максимальное растягивающее напряжение $\sigma_{\rho\max}$, действующее на границе пластически деформируемой части заготовки с учетом влияния изгиба на радиусе матрицы $r_м$, радиусе пуансона r_n ,определяют [7]:

$$\sigma_{\rho в\max}=\sigma_s\cdot(\ln\frac{R}{r}+\frac{\mu_{ср}\cdot Q}{\pi\cdot R\cdot S_1\cdot\sigma_s}+\frac{S_1}{2\cdot r_м+S_1})\cdot(1+1{,}6\cdot\mu_3)+$$

$$+\sigma_s\cdot(\frac{S_1}{4\cdot r_n+2\cdot S_1})\cdot(1+1{,}6\cdot\mu_6),\ \text{Н/мм}^2 \qquad (2)$$

где R – радиус заготовки, мм; r – радиус вытяжного стакана ,мм; Q – усилие прижима, Н; $r_м$ – радиус матрицы мм; r_n – радиус пуансона, мм; $\mu_{ср}.=\frac{\mu_1+\mu_2}{2}$ – средний коэффициент трения трибосопряжений при прижиме заготовки.

Максимальное усилие вытяжки:

$$P_{\max}=\pi\cdot d\cdot S_1\cdot\sigma_{\rho\max},\ \text{Н [7]}, \qquad (3)$$

где d – диаметр вытяжного стакана, мм

Максимальное усилие прижима:

$$Q=01\cdot[1-18\cdot k\cdot S_1/(k-1)\cdot D]\cdot k^2P_{\max},\ \text{Н [7]}, \qquad (4)$$

где $k=D/d=R/r$, D – исходный диаметр заготовки, мм.

Из формулы (2) следует, что коэффициенты трения оказывают влияние на $\sigma_{\rho\max}$ Причем с увеличением коэффициентов трения в сопряжениях напряжение в опасном сечении возрастает. Для улучшения условий вытяжки необходимо применение технологи-

ческих смазочных материалов, обеспечивающих минимальные значения коэффициентов трения.

На основании обобщенного закона трения при пластической деформации Исаченкова В.Е., Исаченкова Е.И. [8] с использованием технологического смазочного материала и теории трения Ф. Боудена – сваривания, среза и пропахивания [9 ,10] при граничном трении суммарный коэффициент граничного трения ($\mu_{ГТ}$) состоит из жидкостной ($\mu_Ж$), адгезионной ($\mu_А$) и деформационной составляющих ($\mu_Д$):

$$\mu_{ГТ} = \mu_Ж + \mu_А + \mu_Д =$$

$$S_Ж \cdot \gamma + \frac{S_{н.ср.}}{\overline{p}}(1-\gamma) + \frac{F_{проп}}{S_К \cdot \overline{p}}(1-\gamma) \ , \qquad (5)$$

где $S_Ж$ – сопротивление сдвигу смазочного материала, Н/мм^2;

$\gamma = \frac{S_{см}}{S_к}$ – коэффициент сплошности смазочного материала между трущимися поверхностями обрабатываемого материала и инструмента;

$S_{см}$ – площадь смазываемой поверхности, мм^2;

$S_к$ – площадь всей поверхности контакта, мм^2.

При $\gamma = 0$ – реализуется сухое трение, при 1> γ >0 – граничное трение, при $\gamma = 1$ – гидродинамическое трение.

$S_{н..ср}$ – среднее напряжение среза, Н/мм^2;

$\overline{p}$ – среднее давление, Н/мм^2;

$$p^* > \overline{p} > p_{гидр.}$$

$p_{гидр.}$ – гидродинамическое давление в полостях шероховатостей, Н/мм^2;

$F_{проп.}$ – сила пропахивания, Н.

Важным элементом при использовании системы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench является предварительное определение величины коэффициента трения между материалами деформируемого изделия и штамповым инструментом с применением технологических смазочных материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение триботехнических свойств пары трения сталь 40Х листовая сталь 08Ю с использованием ревитаметаллизанта РВ-18 с добавками нанопорошков цветных металлов меди, бронзы и никеля проводили на торцевой машине трения. В качестве цилиндрического образца с внешним диаметром 15 мм, внутренним диаметром 10 мм, высотой 25 мм использовали сталь 40Х, имитирующую штамповый инструмент, в качестве деформируемого изделия использовали пластину толщиной 1,5 мм, диаметром 30 мм, изготовленную из стали 08Ю.

Определение противоизносных, антифрикционных свойств 40%-ного водного раствора технологического смазочного материала РВ-18 с добавками нанопорошков меди, бронзы и никеля проводили при частоте вращения шпинделя n=47,3 мин$^{-1}$ (линейная скорость 0,01 м/с). Удельные нагрузки изменяли от 0,05 до 1 МПа. Величины износов цилиндрического образца и пластины определяли весовым методом на аналитических весах СЕ-224С по ГОСТ 5322-2008.

Оценку эффективности 40%-ного водного раствора РВ-18 при вытяжке листовых сталей производили на машине гидравлической для испытания технологических свойств листового металла МТЛ-10Г-1 [2] при следующих режимах: изменение нагрузки при вытяжке 0,3-10 тс, скорость перемещения пуансона 4,0-24,0 мм/мин, диапазон перемещения пуансона 20,0 мм. В качестве деформируемых заготовок использовали образцы из листовых сталей: Ст3кп, 08кп, 08Ю диаметром 48 мм, толщиной 0,8-3 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оптимизации технологического процесса глубокой вытяжки листовых сталей с использованием водорастворимого смазочного материала РВ-18 с добавками нанопорошков цветных металлов определяли коэффициент трения матрицы штампового инструмента из стали 40Х и листовой стали 08Ю. Испытания на торцевой машине трения 40% -ного водного раствора смазочного материала РВ-18 без добавок и с добавками 1-2 % нанопорошков меди, бронзы, цинка показали (рис.1) изменение величины коэффициента трения μ пары 40Х – сталь 08Ю с 0,12 до 0,16 при удельных нагрузках p =30...100 МПа. Коэффициент трения μ = 0,15..0,16 был принят в компьютерной модели в системе ASYS Workbench при получении осесимметричных деталей листовой вытяжкой.

Сравнительные испытания технологических смазочных материалов на машине для испытания технологических свойств листового металла гидравлической МТЛ-10Г-1 «табл.1.» показали, что 40% -ный водный раствор РВ-18 с добавкой 2% нанопорошка меди показал лучшие результаты по критериям эффективности по сравнению со смазкой штамповочной ШС-2М ТУ 0254-044-23763315-2006 и техническим касторовым маслом ГОСТ 6757-96.

Выполнено моделирование технологического процесса глубокой вытяжки в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS Workbench для заготовок из сталей: Ст3кп, 08кп, 08Ю, физико-механические свойства которых приведены в табл.2. Проведено исследование влияния 40%-ного водного раствора ревитаметаллизанта РВ-18 с добавками цветных нанопорошков на эффективность процесса по основным критериям: максимальная глубина вытяжки до разрыва, максимальные напряжения, возникающие в образце в течение всего исследуемого процесса.

Таблица 1

Сравнительные испытания технологических смазочных материалов

Смазочный материал	P_m, кН	$P_{p\max}$, кН	$H_{г.в.}$, мм	ΔD, мм;
40% -ный водный раствор РВ-18 с добавкой 2% нанопорошка меди	31,5	51,00	13,62	1,45
ШС-2М ТУ 0254-044-23763315-2006	30,8	49,28	13,21	1,5
Масло касторовое техническое ГОСТ 6757-96	30,7	49,12	13,25	1,4

Таблица 2

Физико-механические свойства листовых сталей

Материал	Плотность, г/см^3	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Предел текучести, МПа
Ст3кп ГОСТ 16523-97	7,85	208	0,26	195
08кп ГОСТ 16523-97	7,87	203	0,26	196
08Ю ГОСТ 9045-93	7,8	200	0,26	195

Использовали модель штампового инструмента при глубокой вытяжке осесимметричной заготовки с прижимом в программном комплексе ANSYS Workbench. Модель включает: матрицу, заготовку, прижим заготовки к матрице с усилием $P_{пр}$, пуансон, поступательно перемещающийся с постоянной скоростью с усилием вытяжки $P_{выт}$. Из заготовки диаметром 160 мм толщиной 1,5 мм глубокой вытяжкой вытягивается цилиндрическая деталь диаметром 40 мм, толщиной 1,5 мм, длиной 80 мм.

Задачу оптимизации процесса глубокой вытяжки в программном комплексе ANSYS Workbench решали при помощи модуля Static Structural Analysis Systems [11]. Физико-механические свойства материалов задавали параметрами: плотность, модуль упругости Юнга, коэффициент Пуассона, предел текучести «табл. 2». Все трибосопряжения в модели, были заданы типом связи Frictional с заданными коэффициентами трения, полученными экспериментально и равными 0,28 – 0,32 для случая без применения смазочного материала и 0,15 – 0,16 в случае использования ревитаметаллизанта РВ-18 с добавками нанопорошков.

Результаты анализировали по разработанной методике [4] и эквивалентному растягивающему напряжению (Equivalent Stress). Для всех исследуемых сталей выявлено увеличение предела текучести листовых сталей при смазывании ревитаметаллизантом РВ-18, уменьшение толщины дна цилиндра деформируемой заготовки и увеличение времени движения пуансона до разрыва заготовки составило 115…122 с, что соответствует дополнительному перемещению пуансона с 38,3 до 40,6 мм. Отмечено, что при глубокой вытяжке толщина дна при сухом трении уменьшалась с 3 мм до 2,2 мм, а при смазывании 40%-ным водным раствором РВ-18 с 3 мм до 1,4 мм у испытуемых сталей.

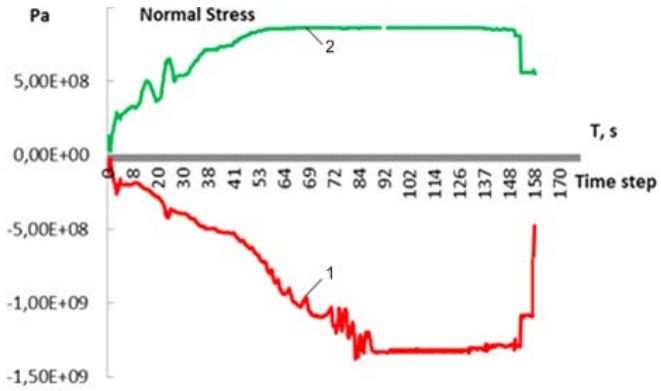


Рис. 1. Изменение нормальных растягивающих меридиональных σ_ρ напряжений 1, сжимающих широтных σ_θ напряжений 2 по времени при вытяжке осесимметричного изделия из листовой стали 08Ю и смазывании ревитаметаллизантом РВ-18

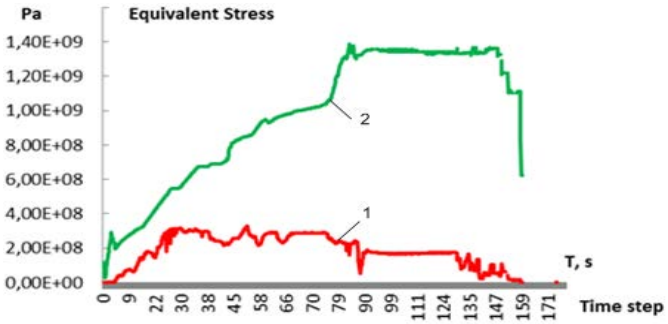


Рис. 2. Изменение эквивалентных растягивающих напряжений при одинаковом удлинении 1, относительном уменьшении площади 2 во времени при вытяжке осесимметричного изделия из стали 08Ю и смазывании ревитаметаллизантом РВ-18

Использованием универсальной программной системы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench позволяет определять в процессе глубокой вытяжки осесимметричного изделия из листовой стали 08Ю и смазывании ревиметаллизантом РВ-18: изменение нормальных растягивающих меридиональных σ_ρ напряжений 1,сжимающих широтных σ_θ напряжений 2 по времени «рис.1»; изменение эквивалентных растягивающих напряжений при одинаковом удлинении 1, относительном уменьшении площади 2 во времени «рис.2», касательные напряжения, эквивалентную упругую деформацию

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гибридные фрактальные кластеры водорастворимого смазочного материала РВ-18 с встроенными нанометрическими частицами порошков цветных металлов меди, цинка и бронзы генерируют в трибосопряжении штамповый инструмент – деформируемое изделие из листовой стали комбинированные пленки на контактирующих поверхностях, предохраняющие от схватывания и улучшающие качество поверхностей заготовки.

Использование системы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench позволяет оптимизировать процесс глубокой вытяжки деталей из листовых сталей с улучшением качества поверхности заготовки в условиях комбинированного механо-физико-химического воздействия регулированием концентрации смазочного материала РВ-18, а также радиусами матрицы и пуансона, усилием прижима заготовки, зазором между матрицей и пуансоном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульга Г.И. Непрерывные триботехнологии для холодной листовой штамповки изделий из нержавеющих сталей //Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 1994. – №3-4. –С.120-134.

2. Шульга Г.И. Функциональные водорастворимые технологические смазочные средства для обработки материалов. – Ростов н/Д: Ред.ж. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2004. – 214 с.

3. Шульга Г.И. Функциональные технологические смазочные материалы, структурированные нанопоршками цветных металлов, для повышения эффективности обработки деталей транспортных средств / Г.И Шульга, А.О Колесниченко, Е.В. Скринников, Т.Г.Шульга.//Вестник Донского гос.техн.ун-та. – 2011. – Т.11, № 10. – С.1867-1873.

4. Gennady I. Shulga, Alex O. Kolesnichenko, Paul V. Sirotin, Ilya Yu. Lebedyns'kyi, Eugene V. Skrynnikov and Maxim A. Vasilyev Optimization of technology for production of products of deep drawing sheet steels with the use of lubricants in universal software system ANSYS workbench 01028. Published online: 07 November 2018.
DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201822601028.

5. Shcherbakov I.N., Ivanov V.V., Korotkiy A.A. "Elaboration and Investigation of Metallic Coating with Inclusion of Potassium Polytitanate", Solid State Phenomena, V. 284, pp. 1140-1143, 2018.

6.Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки. / Ю.А Аверкиев, А.Ю Аверкиев.– М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

7.Уиксов Е.П. Теория пластических деформаций металлов /Е.П. Уиксов.У. Джонсон, В.Л. Колмагоров и др.; Под ред. Е.П. Уиксова, А.Г.Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

8. Исаченков В.Е. Обобщенная теория трения при обработке металлов давлением //Кузнечно-штамповочное производство / В.Е. Исаченков, Е.И Исаченков. – 1972 – №12 – С.18-21.

9. Боуден Ф.П Трение и смазка твердых тел./ Ф.П Боуден, Д Тейбор. Пер. с англ. Под ред. д-ра техн. наук И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. –543 с.

10. Мур Д. Трение и смазка эластомеров. США, 1972. Пер.с англ Г.И.Бродского. – М.: Химия, 1977. – 262 с.

11. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие, ч.1 /В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов– Самара: Самар. гос .техн .ун-т ,2010.-271 с.

Синергетический метод управления перемещением штока ненагруженного пневмопривода

Обухова Е.Н.
Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, Россия
elena21@spark-mail.ru

Synergetic control of pneumatic actuator position

Obukhova E.N.
Don state technical university
Rostov on Don, Russia
elena21@spark-mail.ru

Аннотация. **Пневматические приводы в сравнении с другими типами приводов обладают большим рядом преимуществ: это простота конструкции и технического обслуживания; нечувствительность к перегрузкам; доступность воздуха, используемого в качестве рабочего тела; экологическая чистота и т.д.**

Однако современные тенденции развития технологических систем требуют от исполнительных электропневматических приводов высокого быстродействия и точности движений при безударном торможении в конце рабочего хода и без потерь сжатого воздуха в неподвижном состоянии.

Целью данной работы является синтез законов управления положением поршня пневмоцилиндра с использованием синергетического метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), который учитывает нелинейную динамику рассматриваемой системы. Процедура синтеза синергетического управления основывается на введении последовательности инвариантных многообразий, исходя из технологической задачи позиционирования штока пневмоцилиндра на требуемом положении, и последующей поэтапной динамической декомпозиции исходной динамической системы.

Ключевые слова: **пневмосистема, инвариантные многообразия, синергетический регулятор.**

Abstract. **Pneumatic actuators have a number of advantages in comparison with other types of actuators: simplicity of design and maintenance; insensitivity to overloads; availability of air used as a working body; environmental cleanliness, etc.**

However, modern trends in the development of techno-logical systems require the executive power of the drives at high speed and accuracy of movements when unstressed brake during at the end of the stroke without loss of compressed air in a stationary state.

The aim of this work is the synthesis of control laws by position of the piston of the pneumatic cylinder with the use of synergetic method of analytical designing regulator-ditch (ACAR), which takes into account the nonlinear dynamic of the system. The procedure for the synthesis of synergetic control is based on the sequence of invariant multivariations, based on the technological problem of positioning the rod of the pneumatic cylinder on the required position, and the subsequent step-by-step dynamic decomposition of the original dynamic system.

Keywords: **the pneumatic system, invariant manifold, the synergistic controller.**

ВВЕДЕНИЕ

Существенное расширение функциональных возможностей пневматического привода, обеспечивающего работу различного технологического оборудования, достигается за счет введения в пневматическую систему точной организации управления ее элементами.

С позиции теории автоматического управления, синтезируемый закон управления должен гарантировать асимптотическую устойчивость системы, при одновременном выполнении оптимизации процессов по определенному заданному критерию.

При этом алгоритм управления должен быть понятен проектировщикам систем управления, поэтому при разработке законов управления необходимо учитывать физические свойства работы системы, а так же ее конструкцию и технические особенности.

Несмотря на современное развитие методов теории автоматического управления, нашедших свое применение в различных технических областях и сферах науки, задача синтеза законов управления до сих пор является сложной, неоднозначной и требующей творческого подхода при ее решении.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА НЕЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ АКАР

Задача синергетического синтеза нелинейных регуляторов для диссипативных систем, особенностью которых является наличие аттракторов в их фазовом пространстве, получила название аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР). Суть метода АКАР излагается следующим образом [1-3].

Пусть объект управления задан системой дифференциальных уравнений в форме Коши:

$$\dot{X}(t) = f(x, u), \tag{1}$$

где x – вектор переменных состояния объекта размерности n; u – вектор управления размерности $m \leq n$.

Необходимо найти такой закон управления:

$$u(\psi) = u(x), \tag{2}$$

который позволяет перевести изображающую точку (ИТ) системы (1) из любого допустимого состояния в фазовом пространстве с начальными координатами $x_0 = (x_{10}, \dots, x_{n0})$ сначала в окрестность инвариантного многообразия $\psi(x_1, \dots, x_n) = 0$, а затем дальнейшего асимптотически устойчивого движения ИТ системы вдоль этого многообразия в требуемое равновесное состояние системы, являющееся ее началом координат.

Инвариантное многообразие представляет собой аттрактор, к которому неизбежно должны стягиваться все фазовые траектории системы. Подобные задаваемые целевые множества – аттракторы в методе АКАР принято называть агрегированными макропеременными.

Для асимптотически устойчивого движения ИТ вдоль многообразия, макропеременные $\psi(x_1, x_2 \dots, x_n)$ должны удовлетворять следующему функциональному уравнению:

$$T\dot{\psi}(t) + \varphi(\psi) = 0, \tag{3}$$

которое при $T > 0$ и $\varphi(\psi) \cdot \psi > 0$ является уравнением Эйлера – Лагранжа, относительно устойчивых экстремалей, доставляющее минимум сопровождающему оптимизирующему функционалу:

$$J_\Sigma = \int_0^\infty \left[\varphi^2(\psi) + T^2\dot{\psi}^2(t)\right]dt \tag{4}$$

на траекториях движения замкнутой системы [4-6].

Таким образом, основная задача АКАР заключается во-первых в выборе адекватных макропеременных, которые естественным образом согласуются со свойствами объекта и целью его функционирования, а во-вторых в синтезе закона управления (2) который позволяет удерживать ИТ системы на ИМ до тех пор, пока ИТ не попадет в точку равновесия – требуемый инвариант системы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДУЕМОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Математическая модель сложной динамической системы, к которой относится пневмоцилиндр, представляет взаимосвязи между переменными, которые характеризуют поведение системы, исходя из уравнения движения механической части устройства, а так же из уравнений, характеризующих термодинамические и газодинамические процессы, происходящие в полостях цилиндра [7]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \dfrac{dx_2}{dt} = \dfrac{1}{M} \cdot \left(S_1(x_3 - P_a) - S_2(x_4 - P_a) - k_{\text{Втр}} \cdot x_2 - N\right); \\ \dfrac{dx_3}{dt} = \alpha \cdot \dfrac{u_1}{S_1(x_1 + l_{01})} \cdot \sqrt{(p_{\text{м}}^2 - x_3^2)} - \dfrac{k \cdot x_3}{(x_1 + l_{01})} \cdot x_2; \\ \dfrac{dx_4}{dt} = -\alpha \dfrac{u_2}{S_2(L - x_1 + l_{02})} \cdot \left(\dfrac{x_4}{p_{\text{м}}}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{(x_4^2 - p_{\text{А}}^2)} + \dfrac{k x_4 x_2}{(L - x_1 + l_{02})}. \end{cases} \tag{5}$$

где x_1 - координата перемещения поршня l; x_2 - скорость перемещения движущихся масс V; x_3 - давление в камере наполнения p_1; x_4 - давление в камере слива p_2; M - масса подвижной части поршня и штока, включая массу объекта управления, который механически связан со штоком; S_1 и S_2 - эффективные площади поршневой и штоковой полостей пневмоцилиндра соответственно; $k_{\text{Втр}}$ - коэффициент вязкого трения; N - статическая нагрузка; $T_{\text{м}}$ - абсолютная температура газа; k - показатель адиабаты для воздуха; R - универсальная газовая постоянная; l_{01} - начальная координата положения поршня; l_{02} - конечная координата положения поршня; ξ - суммарный коэффициент сопротивления входящих в линию дросселей, $p_{\text{м}}$ - уровень давления на входе магистрали; $p_{\text{а}}$ - атмосферное давление.

Управлениями u_1 и u_2 являются площади проходных сечений пневмораспределителя f_1 и f_2 в первой и второй камере пневмоцилиндра, которые находятся в правых частях математической модели (5).

Для более компактной записи системы уравнений введены следующий коэффициент обозначения некоторой совокупности термодинамических констант: $\alpha = (k\sqrt{RT_{\text{м}}})/\sqrt{\xi}$.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОПЕРЕМЕННЫХ ПОРЯДКА И СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ

Поскольку все переменные состояния объекта, такие как перемещение и скорость штока, давления в камерах наполнения и слива изменяются при подаче входных воздействий и доступны измерению с помощью соответствующих датчиков, то можно судить о полной управляемости и наблюдаемости объекта.

Рассмотрим случай двухканального управления положением поршня пневмопривода x_1, путем изменения давления в полостях x_3 и x_4.

С позиции синергетической теории управления это означает, что необходимо синтезировать такой вектор управляющих воздействий $u_1(x_n)$, и $u_2(x_n)$ - представляющий собой функцию фазовых координат, который переводил бы изображающую точку системы из начального состояния, находящуюся в допустимой устойчивой области, в требуемое конечное состояние, при условии соблюдения требуемых критериев качества [8].

Исходя из технологической задачи позиционирования штока пневмоцилиндра на требуемом положении, введем первый инвариант, соответствующий цели управления:

$$x_1 = x_1^*, \tag{6}$$

где x_1 – текущее положение штока, а x_1^* - требуемое значение.

Вторым инвариантом системы будем считать условие:

$$x_4 = x_4^*, \tag{7}$$

соответствующее задаче стабилизации давления в камере слива.

Исходя из того, что управляющее воздействие $u_1(x_n)$, влияет на динамику изменения давления x_3, а управляющее воздействие $u_2(x_n)$ – на динамику изменения давления x_4, то целесообразно ввести следующую совокупность инвариантных многообразий:

$$\begin{cases}\psi_1 = x_4 - x_4^* = 0\\ \psi_2 = x_3 - \varphi_1(x_1, x_2) = 0\end{cases} \tag{8}$$

Во второе многообразие входит некоторая функция $\varphi_1(x_1, x_2)$, которая определяет желаемый характер изменения давления x_3 на пересечении инвариантных многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$. Функция $\varphi_1(x_1, x_2)$, определяется в ходе процедуры синтеза законов управления, исходя из условий выполнения инвариантов (6), (7).

Согласно методу АКАР, макропеременные ψ_1 и ψ_2 должны удовлетворять решению системы основных функциональных уравнений:

$$\begin{cases}\mathrm{T}_1\dot{\psi}_1 + \psi_1 = 0,\\ \mathrm{T}_2\dot{\psi}_2 + \psi_2 = 0,\end{cases} \tag{9}$$

где $\mathrm{T}_1 > 0$ и $\mathrm{T}_2 > 0$ обеспечивают условия асимптотической устойчивости движения системы.

При попадании изображающей точки системы на пересечение многообразий $\psi_1 = \psi_2 = 0$ происходит точная динамическая декомпозиция системы (5) и динамика замкнутой системы описывается уравнениями:

$$\begin{cases}\dfrac{dx_1}{dt} = x_2;\\ \dfrac{dx_2}{dt} = \dfrac{1}{M}\cdot\left(S_1(\varphi_1(x_1, x_2) - P_a) - S_2(x_4^* - P_a) - k_{\text{Втр}}\cdot x_2\right).\end{cases} \tag{10}$$

Функцию $\varphi_1(x_1, x_2)$, в декомпозированной системе (10) можно рассматривать как «внутреннее» управление.

На втором этапе синтеза для поиска этого управления и, следовательно, определения функции $\varphi_1(x_1, x_2)$, вводится дополнительное инвариантное многообразие, которое должно обеспечить устойчивость замкнутой системы и выполнение технологического инварианта (7).

Введем многообразие:

$$\psi_3 = x_2 - k(x_1 - x_1^*) = 0. \tag{11}$$

Динамика системы на этом многообразии описывается следующим уравнением:

$$\frac{dx_1}{dt} = k(x_1 - x_1^*), \tag{12}$$

условием устойчивости, которого является неравенство $k < 0$.

Для того, чтобы выполнялось условие $\psi_3 = 0$ макропеременная ψ_3 должна удовлетворять решению функционального уравнения:

$$\mathrm{T}_3\dot{\psi}_3 + \psi_3 = 0, \tag{13}$$

где $\mathrm{T}_3 > 0$ условие асимптотической устойчивости движения изображающей точки системы к инвариантному многообразию.

Подставим (11) в (13) для определения внутреннего управления φ_1:

$$\mathrm{T}_3(\dot{x}_2 - k\dot{x}_1) + x_2 - k(x_1 - x_1^*) = 0. \tag{14}$$

Далее в уравнение (14) подставляются уравнения декомпозированной системы (10) в результате чего получается выражение:

$$\mathrm{T}_3\left(\tfrac{1}{M}\cdot\left(S_1(\varphi_1 - P_a) - S_2(x_4^* - P_a) - k_{\text{Втр}}\cdot x_2 - \right.\right.$$
$$-N - kx2 + x2 - kx1 - x1* = 0. \tag{15}$$

Выразим внутреннее управление φ_1 из выражения (15):

$$\varphi_1 = \frac{1}{S_1}\left[S_2(x_4^* - P_a) + N + \left(\frac{kM}{\mathrm{T}_3} - \frac{M}{\mathrm{T}_3} + k_{\text{Втр}}\right)\cdot x_2 + \frac{kM}{\mathrm{T}_3}(x_1 - x_1^*)\right] + P_a. \tag{16}$$

Искомый закон управления находится как решение системы уравнений (10) и имеет следующий вид:

$$u_1 = \Bigg\{-\Bigg[x_3 - \frac{1}{S_1}[S_2(x_4^* - P_a) - N + \left(\frac{kM}{\mathrm{T}_3} - \frac{M}{\mathrm{T}_3} + k_{\text{Втр}}\right)\cdot x_2 + \frac{1}{S_1}\frac{kM}{\mathrm{T}_3}(x_1 - x_1^*)] + P_a\Bigg] + \frac{T_2\cdot k\cdot x_3 x_2}{(x_1 + l_{01})} + \frac{T_2}{S_1}\left(\frac{kM}{\mathrm{T}_3} - \frac{M}{\mathrm{T}_3} + k_{\text{Втр}}\right)\cdot\frac{1}{M}(S_1(x_3 - P_a) - S_2(x_4 - P_a) - k_{\text{Втр}}\cdot x_2 - N) - \frac{T_2\cdot k\cdot M\cdot x_2}{S_1\mathrm{T}_3}\Bigg\}\cdot\frac{S_1(x_1 + l_{01})}{\mathrm{T}_2\cdot K_1^*\cdot\sqrt{(p_{\text{м}}^2 - x_3^2)}}.$$

$$u_2 = -\frac{S_2\left(x_4(x_1 - L - l_{02} - \mathrm{T}_1 k x_2) + x_4^*(L - x_1 + l_{02})\right)}{\mathrm{T}_1 K_2^*(x_4/P_m)^{\frac{k-1}{2k}}\cdot\sqrt{(x_4^2 - p_{\text{А}}^2)}}.$$

Для графической интерпретации поведения системы, с учетом полученного в аналитической форме закона управления, было проведено моделирование

системы с регулятором в пакете MatLab. При моделировании использовались параметры пневмоцилиндра компании Camozzi серии QCT2A032A200.

На рисунках 1-3 представлены результаты моделирования, с начальными условиями системы:
$P_a = 101$ кПа, $P_м = 500$кПа, $l = 0$ м.

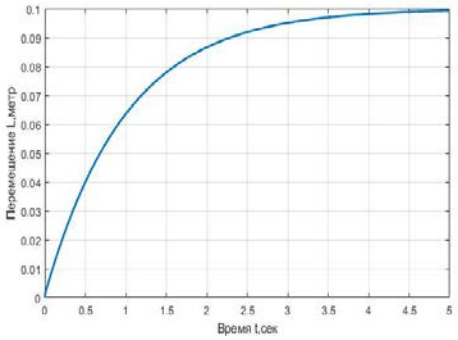


Рис. 1. Переходный процесс по перемещению штока в $x_1^* = 0,1$м.

По графику переходного процесса, представленного на рисунке 1, видно, что положение штока достигает заданного значения инварианты (2) за время равное 5 секунд, что свидетельствует от адекватности синтезируемого закона управления.

График изменения скорости штока пневмоцилиндра (рис.2), показывает, что скорость достигает максимального значения за время равное 0,001с., с течением времени скорость падает до нулевого значения.

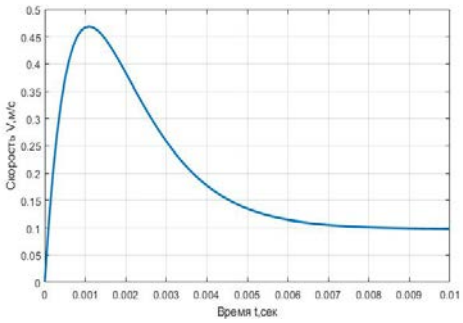


Рис. 2. График изменения скорости штока пневмоцилиндра: скорость на временном интервале *t*=[0;0,01]с

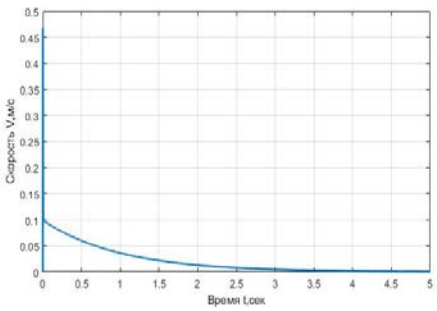


Рис. 3. График изменения скорости штока пневмоцилиндра: скорость при $t = [0; 5]$с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Важным достоинством нелинейного закона управления является возможность его получения аналитическим путем, с помощью совместного решения введенных макропеременных и функциональных уравнений, гарантирующих их устойчивость. При этом управляющее воздействие обеспечивает асимптотическую устойчивость замкнутой системы при выполнении желаемых целей управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников, А. А. Современная прикладная теория управления: синергетический подход в теории управления / А. А. Колесников. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. — 68 с.

2. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н. и др. Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем / Под ред. А. А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТУ, Ч.III. 2000. – 640 с.

3. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. – Изд. 2-е. – М.: Либроком, 2012.

4. Kolesnikov A.A. Introduction of synergetic control // Proceedings of the American Control Conference ACC-2014, Portland, OR, USA, 4-6 June 2014. –P. 3013-3016.

5. Колесников А.А., Веселов Г.Е. и др. Синергетические методы управления сложными системами: Механические и электромеханические системы / Под общ. ред. А. А. Колесникова. – М.: КомКнига, 2006.

6. Веселов Г.Е. Синтез системы управления адаптивной подвеской с учётом физических ограничений амортизатора / Г.Е. Веселов, А.С. Синицын // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2015.- № 7 (168). - С. 170-184.

7. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчёт пневмоприводов. - М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

8. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: Учеб. Для вузов. 2-е изд. стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320с.

Анализ реакций семян тепличных культур на применение современных методов агрофотоники

Донской Д.Ю., Катин О.И., Магомедов Г.Ш.,
Вернези М.А., Бородулин И.Д.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
Dand22@bk.ru

Analysis of reactions of seeds of greenhouse crops to the use of modern methods of agrophotonics

Donskoy D.Yu., Katin O.I., Magomedov G.Sh.,
Vernezi M.A., Borodulin I.D.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
Dand22@bk.ru

Аннотация. **Используемые в данный момент алгоритмы светостимуляции представляют собой совокупность влияния ультрафиолетовой и/или инфракрасной составляющих спектра, что требуется для стимуляции процесса фотосинтеза. Но с развитием технологий агрофотоники появляется мнение, что весь спектр от 400(350) до 800(850) нм оказывает значительное влияние на различные этапы развития растений, это подтверждается, экспериментально и обосновывается биологическим строением растений. К сожалению, существующие исследования не структурированы и требуют более глубокого рассмотрения имеющихся вопросов агрофотоники и накопления экспериментальной базы. Мы проводим исследования, направленные на изучение семян, как сложных биологических объектов, для нахождения критериев эффективности воздействия тех или иных факторов. Это позволит значительно повысить энергоэффективность тепличных хозяйств и урожайность тепличных культур.**

Ключевые слова: ***агрофотоника, светостимуляция, спектр, критеции эффективности.***

Abstract. **The light stimulation algorithms currently used are the totality of the influence of the ultraviolet and / or infrared components of the spectrum, which is required to stimulate the photosynthesis process. But with the development of agrophotonic technologies, it appears that the entire spectrum from 400 (350) to 800 (850) nm has a significant impact on the various stages of plant development, this is confirmed, experimentally and justified by the biological structure of plants. Unfortunately, the existing studies are not structured and require a deeper consideration of the existing issues of agrophotonics and the accumulation of the experimental base. We conduct research aimed at studying seeds as complex biological objects to find criteria for the effectiveness of the impact of certain factors. This will significantly increase the energy efficiency of greenhouses and the productivity of greenhouse crops.**

Keywords: **agrophotonics, photostimulation, spectrum, criterion of effectiveness**

ВВЕДЕНИЕ

Биологические принципы развития растений очень сложны для исследователей, так как представляют собой объект, реагирующий на большое количество внешних воздействий. Поэтому существующие методы светостимуляции семян и готовой рассады примитивны и практически монофакторные. Обычно используются ультрафиолетовые светильники или «полноспектральные» светодиодные матрицы с преобладанием красной и синей составляющих спектра. Это происходит из-за того, что на данный момент отсутствует экспериментальная база, по которой возможно сформировать представление о характеристике

влияния различных спектров света на семена овощных и зеленных культур.

Существующие исследования зачастую приводят к выводу, что весь спектральный диапазон оказывает влияние на растения и использование отдельных спектров не обеспечит должного эффекта при прорастании и может наоборот привести к деградации растений. Таким образом, наиболее подходящим решением является моделирование модифицированного солнечного света с помощью дискретных источников освещения, но для этого необходимо доказать правильность данной теории.

Для нахождения критериев эффективности воздействия различны спектров света требуется провести исследования при одинаковых климатических показателях.

Для проведения данных испытаний была разработана установка, формирующая с помощью дискретных источников освещения требуемое соотношение спектральных составляющих, поддерживая при этом постоянные условия микроклимата для чистоты экспериментов (Рис. 1) [1-2].

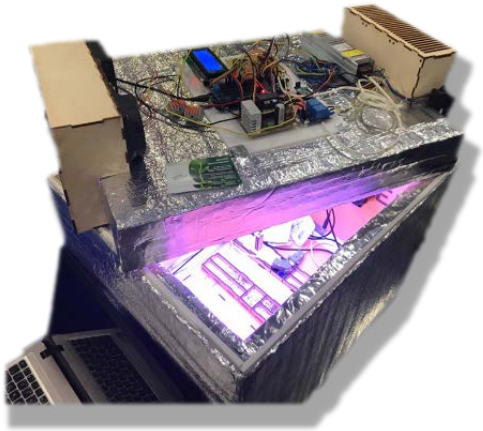


Рис. 1. Система для экспериментальных исследований по светостимуляции овощных и зеленных культур

ИССЛЕДОВАНИЕ RGBW СПЕКТРОВ НА СЕМЕНАХ РЕДИСА

Экспериментальные исследования проводились при постоянных: температуре в 27 0С, влажности субстрата 100%, интенсивности освещения в 1500 lux. Концентрация CO2 весь период испытаний была в пределах 600-1100 ppm, так же отсутствовал прямой воздушный поток на семена, что предотвращало выветривание. В роли субстрата был поролон ST 18/20 (10 мм) (рис. 2).

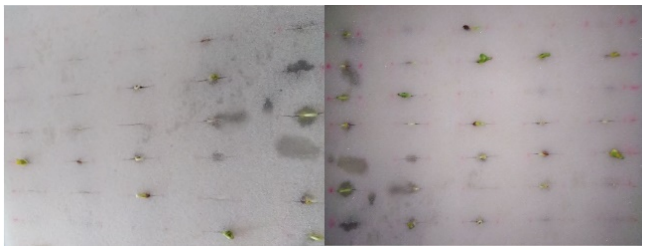


Рис. 2. ST 18/20 (10 мм) с семенами во время испытаний

Для высокой скорости проведения первых экспериментов, объектом исследования являлись семена редиса, потому что среднее время их развития до стадии сеянцев около 3-4 суток. Все семена из одной партии.

Спектральные характеристики дискретных источников освещения можно увидеть на рис. 3.

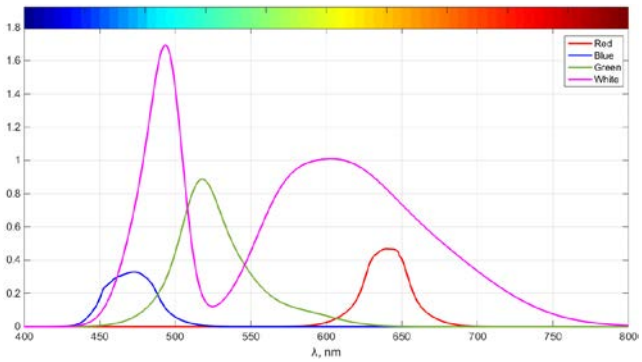


Рис. 3. Спектральные характеристики RGBW светодиодов

При исследовании воздействия синего спектра светодиодного освещения мы получили следующие результаты. Средняя длина корешка составляет 7.4 мм, Полная длина ростка в среднем 14.8 мм, средний максимальный диаметр составляет 1.25 мм, окраска rgb(165,163,62). Процент всхожести составляет 84 %.

Пример одного из сеянцев в результате испытаний на рис. 4.

Рис. 4. Один из ростков редиса при воздействии синим светом

При исследовании воздействия красного спектра светодиодного освещения мы получили следующие результаты. Средняя длина корешка составляет 8.1 мм, Полная длина ростка в среднем 16.7 мм, средний максимальный диаметр составляет 0.78 мм, окраска rgb(176,177,58). Процент всхожести составляет 56 %. Пример сеянца в результате испытаний на рис. 5. При исследовании воздействия зеленого спектра светодиодного освещения мы получили следующие результаты. Средняя длина корешка составляет 6.74 мм.

Рис. 5. Один из ростков редиса при воздействии красным светом

Полная длина ростка в среднем 10.92 мм, средний максимальный диаметр составляет 1 мм, окраска rgb(112,131,13). Процент всхожести составляет 73 %. Пример сеянца в результате испытаний на рис. 6.

Рис. 6. Один из ростков редиса при воздействии зеленым светом

При исследовании воздействия белого спектра светодиодного освещения мы получили следующие результаты. Средняя длина корешка составляет 7.37 мм, Полная длина ростка в среднем 15.1 мм, средний максимальный диаметр составляет 1.1 мм, окраска rgb(112,131,13). Процент всхожести составляет 84 %. Пример сеянца в результате испытаний на рис. 7.

Таким образом, данные исследования показали, как ведут себя семена редиса при различных спектрах воздействия. Наиболее плотный корешок и лучшая всхожесть у семян, развивающихся под действием синих светодиодов, наибольшая длина замечена при подготовке

Рис. 7. Один из ростков редиса при воздействии зеленым светом

семян красными светодиодами, и средние показатели замечены при воздействии белыми светодиодами.

АППРОКСИМАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ К МОДИФИЦИРОВАННОМУ СПЕКТРУ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

Математическое решение данного вопроса мы рассматривали в статье «Simulation, identification and dynamic control of the luminaire of the synthesized spectrum» и привели пример аппроксимации RGBW светодиодов к спектру солнечного света на поверхности почвы [3].

Сейчас применяются более современные светодиоды с широким спектральным диапазоном (иногда их называют полноспектральными). Применение данных светодиодов для аппроксимации к модифицированному солнечному свету позволяет уменьшить суммарную квадратичную погрешность на 4.41 % (Рис. 8) [4-5].

Также нами были определены коэффициенты ап-

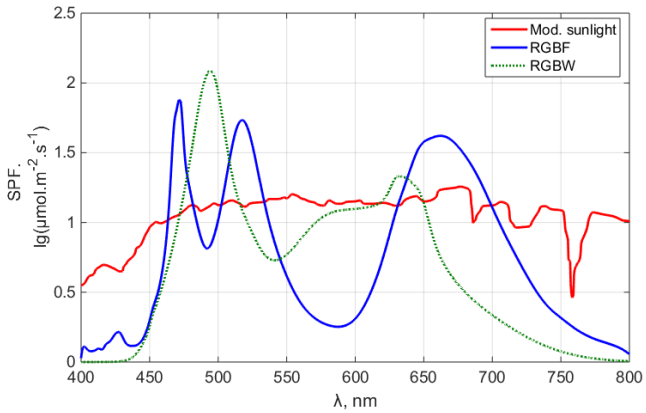


Рис. 8. Сравнение аппроксимированных спектров дискретных источников освещения к модифицированному солнечному свету на поверхности почвы [6-7]

проксимации для модифицированного солнечного света на глубине 3, 6, 9 мм и составлены графики полученных спектров (пример на рис. 9).

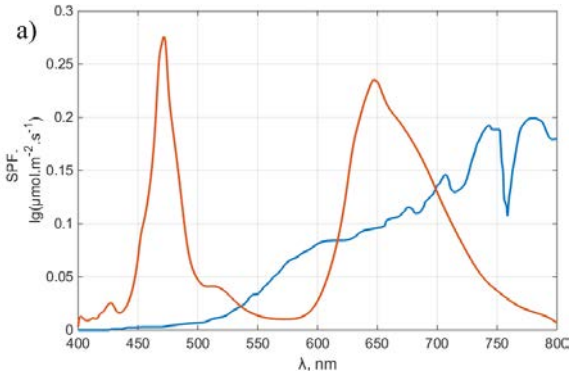


Рис. 9. Пример графика аппроксимации RGBF светодиодов к модифицированному солнечному свету на глубине 3mm

На Рис. 9 видно, что имеется преувеличение с 400 по 550 длину волны, что возможно исправить применением светофильтра, но в наличии такого не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение на практике методов светостимуляции семян овощных и зеленных культур, включающих широкий спектральный диапазон, позволяет увеличить всхожесть и скорость прорастания. Сейчас мы ведем исследования по отработке типовых методов светостимуляции с применением широкого спектрального диапазона. Применение данной методики уже сейчас повышает процент всхожести семян относительно обычных методов проращивания до 10 %. Также повышается общее качество сеянцев в результате стимуляции, нормализуется и цветовой показатель сеянцев с rgb(236,224,106). до цветовых градиентов rgb(130,157,40) и rgb(146,90,75).

Работы выполнялись в рамках гранта по программе «УМНИК» от Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

ЛИТЕРАТУРА

1. Донской Д Ю., Лукьянов А.Д., Вернези М.А., Катин О.И. «Разработка автоматизированных систем для интенсификации технологического процесса подготовки семян методами агрофотоники».- Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2019’AS): Proceedings of the XXIV-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA,January 2019)/ Editor in Chief Dr. Sci., Prof. O.Ja. Kravets. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2019. – 5 p. (299-303)

2. Ключка, Е.П. Конструктивно-технологическая схема установки переменного облучения для светостимуляции семян тепличных растений / Е.П. Ключка, А.А. Дегтярев, Д.С. Тыщенко, Б.Ю. Сорокин. – IX International Conference on European Science and Technology Германия, Мюнхен официальный сайт http://sciencic.com 9-ой Международной научно-практической конференции «Европейская наука и технологии» 28-29 мая 2015 г. Мюнхен, Германия www.sciencic.com – С. 28…31

3. Д. Ю. Донской, А. Д. Лукьянов, М. А. Вернези «Simulation, identification and dynamic control of the luminaire of the synthesized spectrum».- MATEC Web of Conferences [Электронный ресурс]. - 2018. - Vol. 226. - Номер статьи 02030. - (XIV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2018); Rostov-on-Don, Russian Federation, September 12-14, 2018).- URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201822602030

4. D. BLISS, H. SMITH. Penetration of light into soil and its role in the control of seed germination. April 2006Plant Cell and Environment 8(7):475 – 483. DOI10.1111/j.1365-3040.1985.tb01683.x

5. Mark Tester, CHRISTINA MORRIS. The penetration of light into soil. April 2006Plant Cell and Environment 10(4):281 – 286. DOI10.1111/j.1365-3040.1987.tb01607.x

6. D. F. MANDOLI, G. A. FORD, L. J. WALDRON, J. A. NEMSON, W. R. BRIGGS. Some spectral properties of several soil types: implications for photomorphogenesis. Plant, Cell & Environment, Volume 13, Issue 3, April 1990, Pages 287–294, DOI: 10.1111/j.1365-3040.1990.tb01313.x

7. A.V. Patsukov, A. P. Mishanov, S. A. Rakutko, A. E. Markov, V. N. Sudachenko "Influence of the optical radiation spectrum on the quality of tomato seedlings" UDC: 628.941.8: 581.14.

Разработка автоматизированных систем удалённого управления и мониторинга на базе ESP-32

Магомедов Г.Ш., Бородулин И.Д.,
Кудряшов Д.И., Лапшин В.А., Серяченко М.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
magomedovgasan19999@mail.ru

Development of automated remote control and monitoring systems based on ESP-32

Magomedov G.Sh., Borodulin I.D.,
Kudryashov D.I., Lapshin V.A., Seryachenko M.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
magomedovgasan19999@mail.ru

Аннотация. **Существует много микроконтроллеров которые получили широкое распространение в разработке интернета вещей. Одним из таких микроконтроллеров являлся модуль ESP-8266. Но прогресс не стоит на месте и на смену ему компания Espressif Systeams выпустила новый более производительный микроконтроллер ESP-32. Мощность которого возросла в четыре раза. Если микроконтроллер ESP-8266 имел одно ядро и работал на частоте 80МГц, то ESP-32 имеет в своём арсенале два ядра и работает на частоте 160МГц. В микроконтроллере ESP-32 устранён такой недостаток который был в микроконтроллере ESP-8266 а именно малое количество контактов. Теперь выводов намного больше и они многофункциональны. В данной статье мы рассмотрим процесс разработки системы управления интернетом вещей с помощью данного микроконтроллера с применением возможных интернет протоколов HTTP и MQTT.**

Ключевые слова: **Микроконтроллер ESP-32, быстродействие, мощность, производительность.**

Abstract. **There are many microcontrollers that are widely used in the development of the Internet of things. One of these microcontrollers was the ESP-8266 module. But progress does not stand still and to replace it, the company Espressif Sys-teams has released a new, more powerful microcontroller ESP-32. The power of which increased four times. If the ESP-8266 microcontroller had one core and worked at a frequency of 80 MHz, then the ESP-32 has two cores in its arsenal and operates at a frequency of 160MHz. In the ESP-32 microcontroller, such a lack was eliminated as was in the ESP-8266 microcontroller, namely a small number of contacts. Now you have a lot more outputs and they are multifunctional. In this article, we will consider the process of developing an Internet of things management system using this microcontroller using possible Internet protocols HTTP and MQTT.**

Keywords**: ESP-32 microcontroller, speed, power, performance**

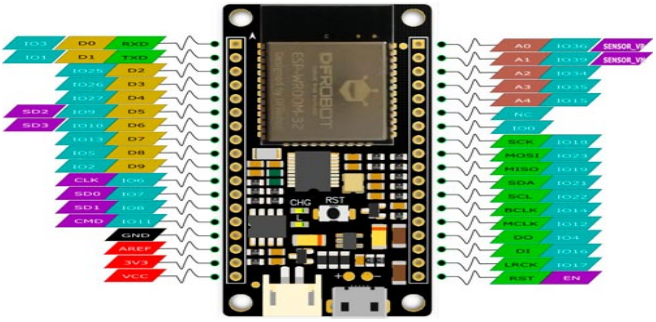
ВВЕДЕНИЕ

Микроконтроллер ESP-32, представляет собой многофункциональное устройство, и не только своей низкой цене. Espressif ESP-32 — многоканальный, совмещённый (Wi-Fi + Bluetooth) чип, выполненный для решений, требующие низкие затраты на энергопотребление.

ESP-32 имеет супер-миниатюрном корпусе, требующий для интеграции около десяти внешних компонентов. Обладает хорошим функционалом и большими возможностями. Совмещение в одном чипе WiFi и Bluetooth, двух процессорных ядер и большого набора периферии что может сделать ESP-32 лидером в своем сегменте.

Микроконтроллер ESP-32 получил значительный прирост в производительности по сравнению со своим

предшественником микроконтроллером ESP-8266. Вычислительная мощность возросла в четыре раза. У ESP32 есть два ядра, каждый из которых работает на частоте 160 МГц. Второе ядро упростит жизнь разработчика. Одно ядро берёт на себя задачи реального времени по работе с графикой или управлению двигателями, а второе может обрабатывать коммуникационные протоколы и в целом отвечать за связь.



Обзор беспроводного Wi-Fi модуля ESP-32.

ESP-32 в Arduino IDE.

Установка Микроконтроллера ESP-32 в Arduino IDE.

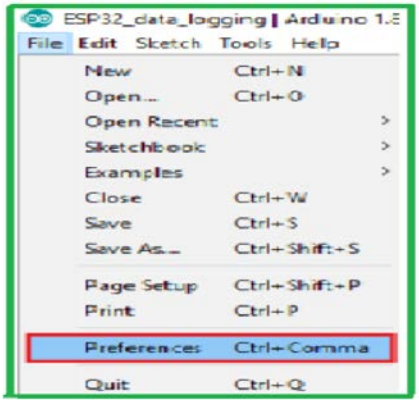
Среда Arduino IDE должна быть обновлена до актуальной версии. Если нет, то нужно удалить и установить нужную версию. Если установлена старая версия среды Arduino IDE, то могут возникнуть проблемы с настройкой.

1. Если установка поддержки делается в первые на микроконтроллер ESP-32 в среде разработки Arduino IDE, то нужно выполнить нижеприведённые инструкции.

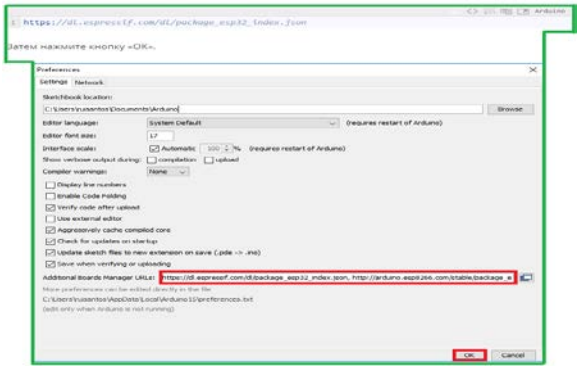
2.Если уже были установлены дополнения на микроконтроллер ESP32 используя старый способ, то для начала необходимо удалить папку «espressif». Ниже приведена инструкция как это сделать.

УСТАНОВКА МИКРОНТРОЛЛЕРА ESP-32 В МЕНЕДЖЕРЕ ПЛАТ

Для того что бы установить микроконтроллер ESP-32 в среду Arduino IDE, необходимо открыть окно настроек в среде Arduino IDE. Выбрать пункт меню («File →Preferences»).



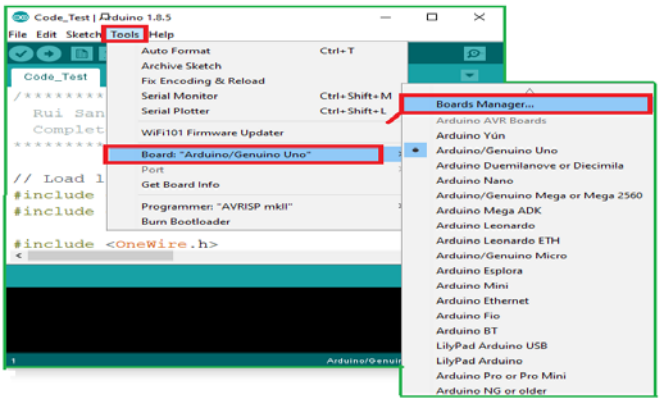
1) В поле «Дополнительные ссылки для Менеджера плат» необходимо скопировать адрес



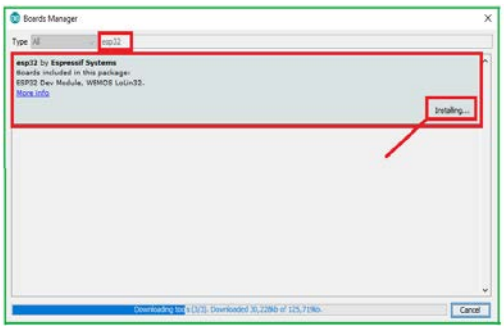
Если есть ссылка для плат с чипом ESP-8266, то можно разделить ссылки запятой.

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json, http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

3) Далее требуется открыть менеджер плат. Нажать «Инструменты → Плата → Менеджер плат» («Tools → Boards → Boards Manager»).



4) Вести в поиске «ESP-32» и выбрать пункт «Установка» для «ESP-32 by Espressif Systems».

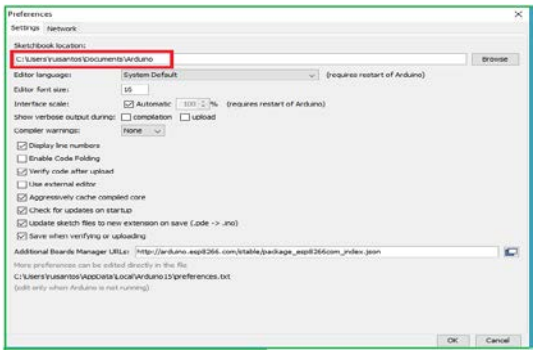


5) Готово.

УДАЛЕНИЕ «ESPRESSIF» ПАПКИ

Для того чтобы найти папку «espressif» и папку, где установлена Arduino IDE, необходимо запустить среду

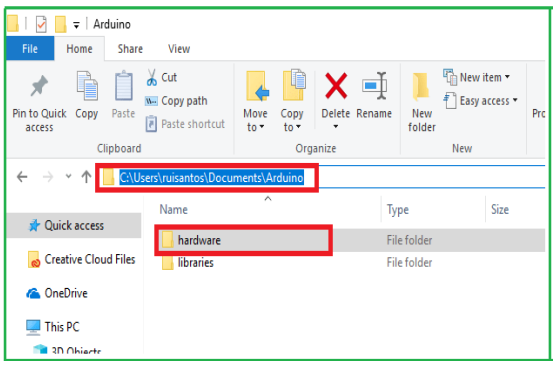
разработки и выбрать пункт меню («File → Preferences»).



Нужно скопировать адрес из поля «Размещение папки скетчей».

Затем необходимо перейти в папку, где установилась среда Arduino IDE:

«C:\Users\ruisantos\Documents\Arduino» и открыть папку «hardware».



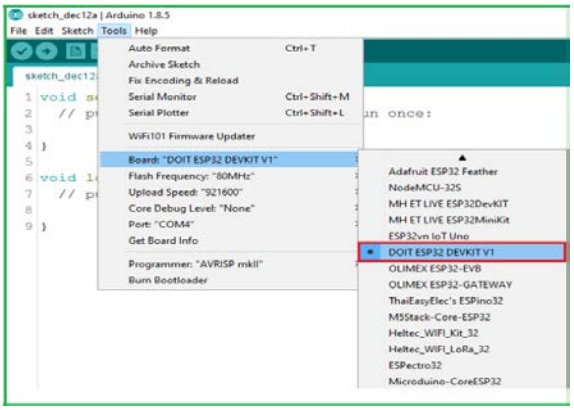
Нужно удалить папку «espressif».

ПРОВЕРИТЬ УСТАНОВКУ

Для того что бы проверить установку необходимо подключить плату микроконтроллера ESP-32 к компьютеру.

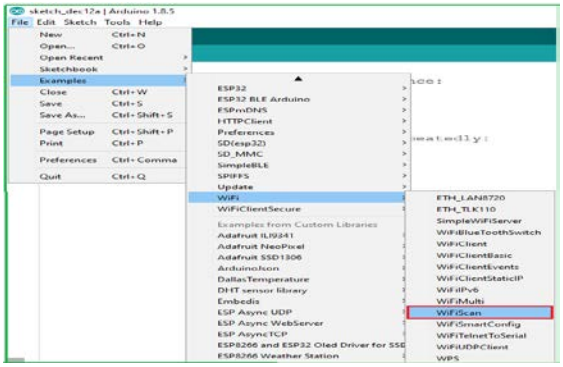
1) Необходимо запустить среду Arduino IDE.

2) Затем пройти в меню («Tools → Board») и выбрать свою плату



3) После выбрать в меню ячейку «Порт»

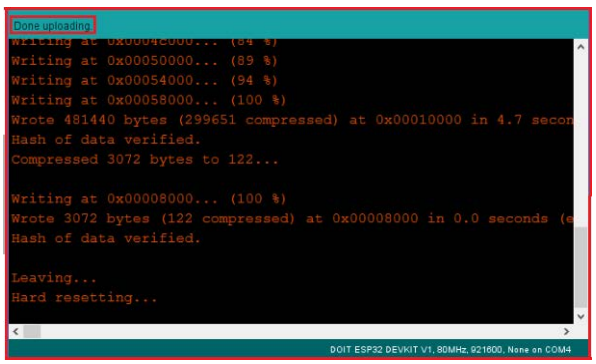
4) Нужно открыть следующие окна «Файл → Примеры → WiFi (ESP-32) → WiFi Scan» («File →Examples → WiFi (ESP-32) → WiFi Scan»).



5) Открыть новый готовый пример.

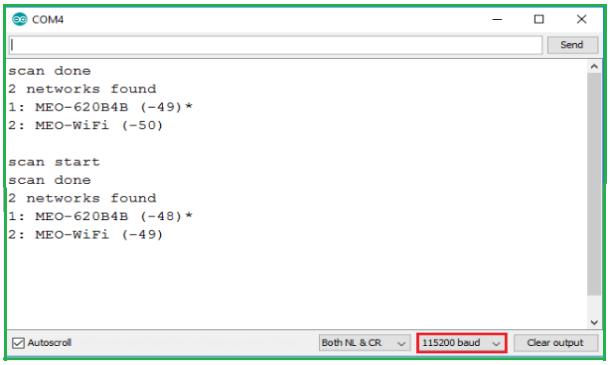
6) Нажать кнопку «Загрузка» в среде Arduino IDE.

7) После чего появиться уведомление «Done uploading».



8) Затем необходимо открыть окно COM-порта (Serial Monitor) среды Arduino IDE и настроить скорость передачи до 115 200.

9) Необходимо нажать кнопку «Enable» на плате с микроконтроллером ESP-32, после этого на мониторе появятся сети, доступные для данного микроконтроллера.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был рассмотрен микроконтроллер ESP-32 он стал отличной заменой микроконтроллеру ESP-8266. Микроконтроллер ESP-32 позволяет создавать IoT вещи с высокой производительностью. У ESP-32 низкая стоимость, а также этот микроконтроллер взаимодействует с большим набором внешних устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донской Д., Лукъянов А.Д., Сергеев К., Миронов В., Александров Л. (разработка мобильных систем мониторинга объектов агрокультивирования. Электрон. MATEC Web of Conferences. - 2017. - Vol. 132. – Номер. статьи 04026. - (13th International Scientific-Technical Conference on Dynamic of Technical Systems, DTS 2017; Rostov-on-Don; Russian Federation; 13-15 September 2017). – URL:

2. Микроконтроллер ESP-32 и Arduino / https://pikabu.ru/story/znakomimsya_s_esp32_chast_1_ustanovka_v_arduino_ide_5442448

3. Примеры создания веб-сервера на базе ESP-32 при помощи файлов из файловой системы (SPIFFS) / http://wikihandbk.com/wiki/ESP32

4. Установка микроконтроллера ESP-32 в Arduino IDE / https://voltiq.ru/instruction-installing-esp32-board-in-arduino-ide-for-windows/

5. Обзор технических характеристик платы ESP-32 / https://bazaroved.ru/obzor-platy-esp32/

Исследование типов рентгенофлуоресцентных спектрометрических анализаторов твердых веществ для идентификации состава руды

Бородулин И.Д., Магомедов Г.Ш., Донской Д.Ю., Кудряшов Д.И., Лапшин В.А., Серяченко М.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
magomedovgasan19999@mail.ru

Research types of x-ray fluorescence spectrometric solids analyzers to identify the composition of the ore

Borodulin I.D., Magomedov G.Sh., Donskoy D.Yu., Kudryashov D.I., Lapshin V.A., Seryachenko M.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
magomedovgasan19999@mail.ru

Аннотация. **Существующие методы анализа состава твердых веществ позволяют с высокой точностью определять концентрацию частиц в потоке растворов, пульпо-продуктов и суспензий. На сегодняшний день наиболее распространены анализаторы, технология которых основана на дисперсионной рентгеновской флуоресценции по длине волны, предназначенной для сложных анализов тяжелых элементов. Современные производства с развитой системой мониторинга и управления применяют поточные анализаторы, представляющие собой полностью автоматизированные аналитические комплексы, в которых отбор и анализ проб происходит круглосуточно в режиме онлайн. За счет исключения сложного процесса обработки образца, поточные анализаторы обладают большей производительностью, при этом точность анализа сравнима с обычными лабораторными процедурами. Полученные в режиме реального времени данные позволяют оперативно принимать решения, что снижает издержки и повышает качество готовой продукции. В этой статье будут исследованы современные модели поточных анализаторов отечественного и зарубежного производства.**

Ключевые слова: **автоматизация, анализатор, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, руда.**

Abstract. **Existing methods of analysis of the composition of solids allow to determine with high accuracy the concentration of particles in the flow of solutions, pulp products and suspensions. To date, the most common analyzers, the technology of which is based on the dispersion of x-ray fluorescence wavelength earmarked for sophisticated analyses of heavy elements. Modern production facilities with a developed monitoring and control system use in-line analyzers, which are fully automated analytical complexes in which sampling and analysis takes place around the clock online. Due to the exclusion of a complex sample processing process, in-line analyzers have greater productivity, while the accuracy of the analysis is comparable to conventional laboratory procedures. The data obtained in real time allow to make decisions quickly, which reduces the cost and improves the quality of the finished product. In this article modern models of in-line analyzers of domestic and foreign production will be investigated.**

Keywords: **automatization, analyzer, x-ray fluorescence spectrometry, ore.**

ВВЕДЕНИЕ

Практически ни одно современное предприятие не может нормально функционировать без точного определения состава используемых в технологическом процессе материалов. Для решения задачи определения элементного состава наиболее распространен метод рентгено-флуоресцентного спектрометрического

анализа (РФА), основанного на взаимодействии рентгеновского излучения с анализируемым веществом. Этот метод получил широкое распространение благодаря неоспоримым преимуществам:

1. Анализ не сложен благодаря относительной простоте рентгеновских спектров;
2. Анализ не является разрушающим;
3. Анализируемое вещество может находиться в разнообразных агрегатных состояниях, в том числе в виде пульпы, суспензии и т.д.;
4. Невысокие требования к образцу;
5. Допускается использование радиоактивного источника небольших размеров;
6. Широкий диапазон концентраций (от 100 до 0.0001%).

Все вышеперечисленные преимущества обусловили создание поточных РФА анализаторов. Они представляют из себя полностью автоматизированные аналитические комплексы, производящие круглосуточный отбор и анализ проб.

Высокая производительность, позволяющая за короткое время (1-3 минуты) произвести элементный анализ образца, не уступающий по точности традиционным лабораторным методам, а также полученные в режиме реального времени данные позволяют оперативно принимать решения, что в свою очередь снижает издержки и повышает качество готовой продукции.

РЕНТГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

Рентгено-флуоресцентный анализ основан на эффекте, получаемом при облучении образца мощным потоком излучения из рентгеновской трубки, в следствие чего возникает характерное флуоресцентное излучение атомов. Интенсивность излучения пропорциональна их концентрации в образце.

Электроны облученного атома покидают его. Как следствие, в одной или нескольких электронных орбиталях образуются «дырки» или вакансии, благодаря чему атомы переходят в возбужденное состояние, т.е. приобретают нестабильное состояние. Через предельно короткий промежуток времени атомы возвращаются к стабильному состоянию, когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних орбиталей. При переходе происходит испускание энергии в виде вторичного фотона. Это и есть явление флуорисценции. Энергия вторичного фотона находится в диапазоне энергий рентгеновского излучения.

Однако у этой технологии есть и ограничения. Теоретически методом РФА можно определять химические элементы с номером 5-92. На практике измерения концентраций элементов с атомным номером ниже 20 вызывает большие трудности. Поэтому рентгено-флуоресцентная спектрометрия позволяет проводить анализ только тяжелых элементов, а для легких элементов рекомендуется использовать спектроскопический анализ возбуждения лазерным пробоем.

Для точного анализа производители оборудования предпочитают использовать технологию дисперсионной рентгеновской флуоресценции по длине волны. В отличие от дисперсионной рентгеновской флуоресценции по энергиям, канал обнаружения регистрирует только узкий диапазон гребней волны, как показано на рис. 2.

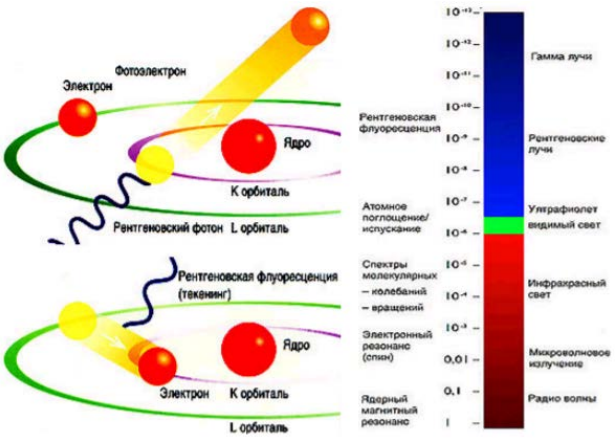


Рис. 1. Процесс возникновения флуоресценции

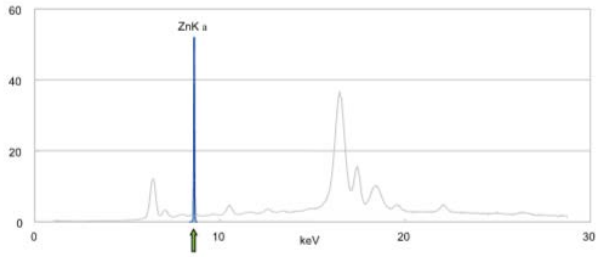


Рис. 2. Канал дисперсии по длинам волн, 0.12% Zn

Спектрометр высокого разрешения отделяет гребень, соответствующий необходимому элементу. Ввиду использования полной мощности датчика только для обнаружения гребней волны, повышается скорость анализа и чувствительность анализатора.

При анализе дисперсионной рентгеновской флуоресценцией по энергиям канал обнаружения основан на использовании твердотельного детектора, который измеряет весь спектр. Измерение небольшого гребня цинка может представлять сложность, как показано на рис. 3.

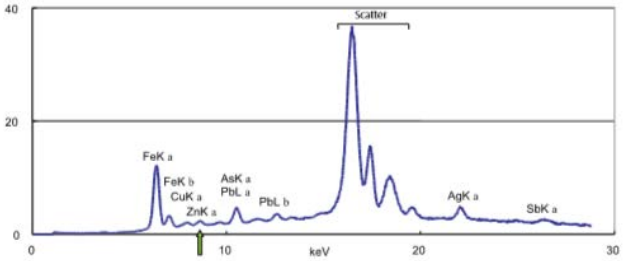


Рис. 3. Канал дисперсии по энергиям, 0.12% Zn

Полезная интенсивность излучения нередко снижает ограниченное разрешение. Скорость выполнения анализа и чувствительность при этом находится на низком уровне. Поэтому энергодисперсионные датчики можно использовать для менее важных измерений в дополнение е датчикам с дисперсией по длинам волн.

В силу очевидных преимуществ потоковых анализаторов, рассмотрим их строение и сравним наиболее распространенные модели.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОТОКОВЫХ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

До внедрения потоковых рентгенофлуоресцентных анализаторов определение элементного состава руды производили в лаборатории с использованием стационарных анализаторов. Это подразумевало сложный процессы обработки образцов, такие как отбор, сушка, грохочение, измельчение и предполготовку. Этот процесс занимал несколько часов, в то время как анализаторы потока справляются с этой задачей за 1-3 минуты.

Типичный потоковый анализатор состоит из системы мультиплексоров, анализатора и контроллера, как показано на рис. 4.

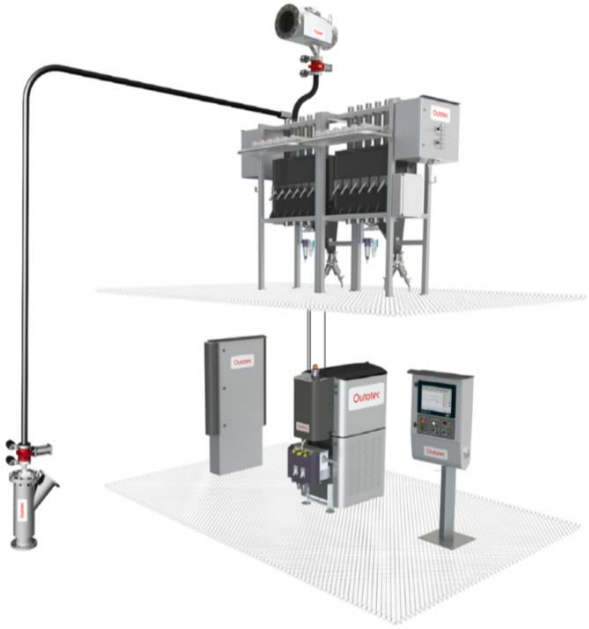


Рис. 4. Внешний вид анализатора Courier 6x SL

Для качественного анализа необходимо отобрать репрезентативную пробу. Технологический поток направляется в мультиплексоры. Поскольку анализаторы требуют низкого напора, транспортировка проб, как правило осуществляется самотеком, то есть не требует использования насосов. Отбор проб может быть как непрерывным, так и с автоматической периодической промывкой труб.

Очередность отбора и измерений полностью программируема. Так, например, измерения ключевых потоков можно проводить чаще, а для менее важных потоков может использоваться увеличенное время измерения.

Устройство спектрометра разных производителей имеют схожую структуру, пример схемы показан на рис. 5.

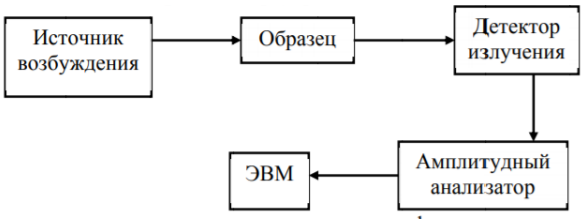


Рис. 5. Блок-схема РФА спектрометра

Основное отличие заключается в применении спектрометрии с дисперсией по длинам волн, по энергиям либо комбинирование этих методов с возбуждением лазерным пробоем. Сравним потоковые анализаторы различных производителей: Outotec Courier 6i SL (Финлядния), ТВЭЛЛ РХ-2100 (Россия), Буревестник АР-35 (Россия), DFMC DF-5700 (Китай).

Характеристики вышеперечисленных моделей в сравнительной таблице 1.

Таблица 1

Сравнение характеристик анализаторов

Параметры	**Модель анализатора**			
	Courier 6i SL	***PX-2100***	***AP-35***	***DF-5700***
Диапазон измеряемых химических элементов	от 20 до 92	от 22 до 92	от 20 до 92	от 20
Число одновременно определяемых химических элементов	До 12	До 10	До 8	До 10
Максимальное число проточных измерительных кювет	24	10	15	12
Пределы основной относительной погрешности, %	0,1	0,5	0,5	0.5
Время анализа потока, сек	15-60	30-60	20-100	60-180
Общая потребляемая мощность, кВА	3	-	5	3
Масса прибора, кг	1000-1250	-	1200	1900

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрев принцип работы и характеристики моделей поточных рентгено-флуоресцентных анализаторов нескольких производителей, мы выяснили, что наиболее технологичными являются устройства компании Outotec серии Courier SL, потому как они при этом имеют меньшее время анализа пробы при низком энергопотреблении, что напрямую влияет на увеличение производительности и уменьшение издержек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев В.И. «Рентгенофлюоресцентный анализ»; [Электронный ресурс] URL: https://docplayer.ru/52423806-Rentgenofluorescentnyy-analiz.html (дата обращения 09.08.2019)
2. Data sheet «Потоковые анализаторы Outotec Courier SL»; [Электронный ресурс] URL: https://www.outotec.ru/globalassets/ru/brochures/outotec-potokovye-analizatory-courier-sl-pdf
3. Data sheet «DF-5700 Inline X-ray Fluorescent Multi-element analyser»; [Электронный ресурс] URL: https://pdf.directindustry.com/pdf/dandong-dongfang-measurement-control-technology/dfmc-on-line-xrf-analyzer-df-5700/124477-542505.html
4. Data sheet «Рентгеновский потоковый анализатор PX-2100»; [Электронный ресурс] URL: http://www.twellgroup.ru/xray_analyzer_px2100.html
5. Data sheet «Рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный анализатор пульп, суспензий и растворов AP-35»; [Электронный ресурс] URL: https://www.bourevestnik.ru/upload/iblock/24b/ar_35_ru.pdf
6. Сравнение ручного рентгенофлуоресцентного анализатора с оптико-эмиссионным спектрометром при анализе металлов и сплавов [Электронный ресурс] URL: https://www.iskroline.ru/articles/xrf-vs-oes-spectrometer

Ключевые вопросы разработки универсального преобразующего модуля для проведения измерений

Катин О. И., Вернези М. А., Горянина К. И., Донской Д. Ю.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
okatin96@yandex.ru

Key issues in the development of a universal conversion module for measurements

Katin O. I., Vernezi M. A., Goryanina K. I., Donskoy D. Yu.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
okatin96@yandex.ru

Аннотация. **В настоящее время существует проблема простых и экономичных мобильных измерений множества параметров. Распространены устройства, каждое из которых измеряет 1-3 параметра. Отсюда возникает необходимость иметь множество устройств мониторинга, что влечет за собой повышенные затраты и сложность. В таких условиях актуальной является разработка универсального модуля, который совместил бы в себе функции других измерителей и поддерживал множество датчиков. В приведенной статье рассматриваются основные проблемы при разработке универсального преобразующего модуля для проведения измерений множества параметров. Рассматривается вопрос обеспечения физической и логической совместимости модуля и датчиков. Для решения вопроса предлагается использовать интерфейс IIC и 1-Wire. Приводятся основные принципы и преимущества такого решения. Также рассматривается вопрос идентификации подключаемых к модулю датчиков. Предлагается решение вопроса путем разработки адаптивного программного алгоритма, который будет автоматически идентифицировать подключенный датчик с помощью уникального адреса устройства, а затем вызывать подпрограмму работы конкретно с этим типом датчика.**

Ключевые слова: **измерения, универсальный модуль, датчики, IIC, 1-Wire.**

Abstract. **Currently, there is a problem of simple and economical mobile measurements of many parameters. The existing devices allow you to measure 1-3 parameters. Hence, there is a need to have a variety of monitoring devices, which entails increased costs and complexity. In such conditions, it is urgent to develop a universal module that would combine the functions of other meters and support many sensors. This article discusses the main problems in the development of a universal conversion module for measurements of many parameters. The issue of physical and logical compatibility of the module and sensors is considered. To solve the problem, it is proposed to use the IIC and 1-Wire interface. The basic principles and advantages of such a solution are given. Identification of sensors connected to the module is also considered. It is proposed to solve the problem by developing an adaptive software algorithm that will automatically identify the connected sensor using the unique address of the device, and then call the routine work specifically with this type of sensor.**

Keywords: **measurements, universal module, sensors, IIC, 1-Wire.**

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует сложность проведения мобильных измерений нескольких величин. При необходимости измерить параметры окружающей среды в определенном месте требуется несколько приборов, каждый из которых измеряет 1-3 параметра. Это влечет за собой повышение затрат на приобретение измерительного оборудования [1, 2]. В таких условиях оптимальным решением будет разработка одного универ-

сального преобразующего модуля, который будет поддерживать различные датчики. С помощью такого решения снижаются затраты, так как основная их часть – устройство обработки информации, а датчики, как правило, обладают меньшей стоимостью.

При этом измерения будут происходить следующим образом: человек прибывает на место, подключает датчики к преобразующему устройству и производит измерения по очереди. Количество датчиков, поддерживаемых модулем, может достигать двадцати штук.

В разработке такого модуля есть два ключевых пункта: обеспечение физической и логической совместимости модуля и датчиков, а также разработка адаптивного алгоритма, который должен автоматически определить тип подключенного датчика и обеспечить работу с ним.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И ЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МОДУЛЯ И ДАТЧИКОВ

Для поддержки определенного набора датчиков и автоматического определения подключенного датчика они должны обладать каким-либо общим классификационным признаком. Оптимальным решением в таких условиях является интерфейс IIC. Для его использования необходимо преобразовать показания датчиков в последовательный формат, который стандартизирован и структурирован. Преимуществом данного интерфейса является наличие уникального адреса у каждого устройства. Это обеспечивает возможность идентификации подключаемых датчиков [3].

С физической точки зрения интерфейс требует четыре линии: питание, земля, SDA, SCL [3]. Для удобства подключения периферии в разрабатываемом модуле предполагается использовать разъем с четырьмя контактами. Например, Jack 2.5 или Micro USB. Конструктивно это позволит упростить подключение для пользователя, исключить возможность неправильного подключения, снабдить датчики кабелями необходимой длины. Такое решение также дает возможность применения двухпроводного или трехпроводного интерфейса, например 1-Wire, с помощью с помощью свободного четвертого контакта, благодаря которому можно программно определить тип интерфейса подключенного устройства [4]. Структурная схема преобразующего модуля изображена на рисунке 1.

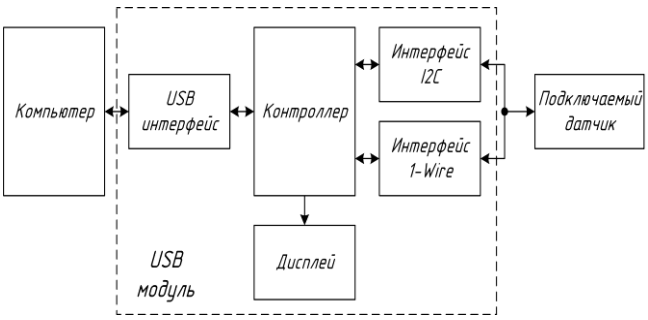


Рис. 1. Структурная схема универсального преобразующего модуля

Длина линии связи ограничивается емкостью кабелей. По стандарту емкость не должна превышать 400 пФ [3]. Для связи разрабатываемого модуля и датчиков этого более чем достаточно, так как предполагается, что датчик не будет удален от оператора более чем на 3 метра.

Преобразования сигнала датчика в данные, пригодные для передачи по шине, осуществляется специальными микросхемами. Это значительно облегчает разработку подобных устройств, так как преобразующие микросхемы обладают всеми необходимыми функциями. Вплоть до фильтрации всплесков на линии и обеспечения целостность данных [5-7].

Со стороны модуля обработкой сигналов будет заниматься микроконтроллер. Для совместимости с датчиками он должен поддерживать IIC интерфейс. Всеми необходимыми характеристиками обладает микроконтроллер ATmega32U4. Ключевым его преимуществом является поддержка USB интерфейса без использования дополнительных преобразователей [8]. Контроллер будет выступать в роли Master на шине и работать с одним подключенным датчиком в один момент времени. Контроллер на базе данного чипа изображен на рисунке 2.

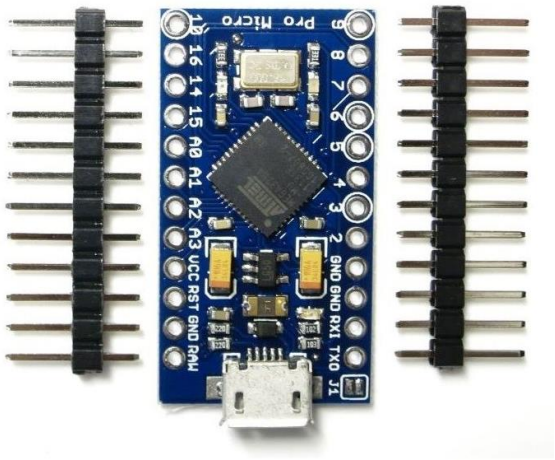


Рис. 2. Контроллер на базе ATmega32U4

Так как интерфейсы IIC и 1-Wire стандартизированы и широко распространены, существуют программные библиотеки для обработки сигналов на шине и организации обмена данными [9-12]. Их применение упростит задачу разработки управляющей программы для микроконтроллера. Для совместимости устройств необходимо использовать компоненты с поддержкой интерфейсов IIC и 1-Wire.

Например, датчики температуры и относительной влажности на основе DHT11, DHT22, AHT10, SHT20 SHT31, AM2302, AM2320.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА

Главным требованием к разрабатываемому модулю является поддержка множества датчиков для проведе-

ния измерений различных величин. Как было сказано ранее, для идентификации подключаемых датчиков необходим программный отличительный признак. Также было сказано, что планируется использовать как минимум два интерфейса: IIC и 1-Wire. Из этого следует, что необходимо различать и интерфейс подключения датчика.

Решение проблемы определения интерфейсов находится в физической реализации подключения. При использовании четырехконтактного разъема можно реализовать программную проверку использования одного из контактов.

Для считывания адресов устройств разработаны специальные алгоритмы. Их применение позволяет считать адрес с помощью команд высокого уровня, что облегчает разработку управляющей программы для микроконтроллера [13]. Результат выполнения такого алгоритма изображен на рисунке 3.

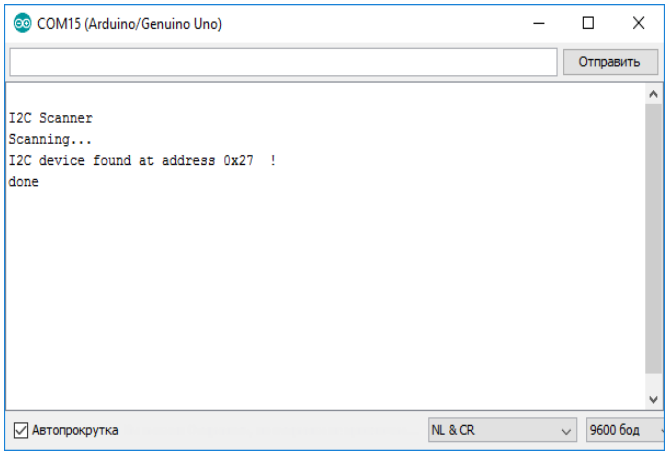


Рис. 3. Результат поиска I2C устройств контроллером

Исходя из этого, алгоритм распознавания датчика должен начинаться с идентификации интерфейса подключения. После чего должен происходить запрос адреса подключенного устройства. Так как в модуле планируется использовать дисплей, который подключается к микроконтроллеру по IIC , его адрес необходимо не учитывать при идентификации датчиков.

После определения адреса алгоритм должен перейти к соответствующей этому адресу части управляющей программы. Такое решение ограничивает перечень поддерживаемых датчиков только памятью программ микроконтроллера [14]. Управляющая программа должна содержать подпрограммы для работы с каждым уникальным адресом подключенного устройства. Основная структура предложенного алгоритма изображена на рисунке 4.

В приведенном алгоритме часть, отвечающая за работу с датчиками, представлена блоком «Измерение». Именно в этой части необходимо реализовать разделение управляющей программы на отдельные подпрограммы, отвечающие за работу с каждым конкретным типом датчика. Подпрограммы должны не только обеспечить получение и обработку информации с датчиков, но и подготовить данные для выдачи на дисплей и компьютер, чтобы исключить излишнее повторение процедуры выдачи в коде программы [15].

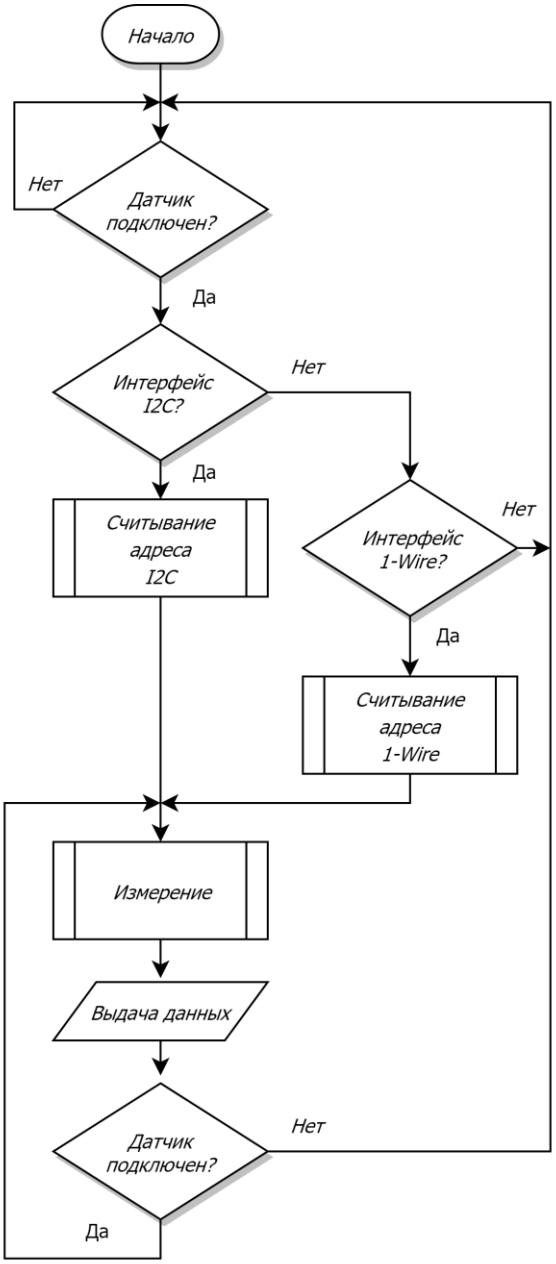


Рис. 4. Автоматический адаптивный алгоритм определения типа подключенного датчика и работы с ним

Таким образом подготовленные данные можно выводить с помощью одной универсальной подпрограммы вывода.

При этом выводимые на дисплей данные требуют лишь упорядочивания для обеспечения читаемости. Однако данные, которые модуль выводит по USB интерфейсу на компьютер, должны быть структурированы так, чтобы обеспечить возможность их считывания, обработки и хранения распространенными про-

граммными пакетами, такими как Matlab, MS Excel и другими [16].

После измерения и выдачи данных модуль должен проверить, был ли отключен датчик. Эта часть алгоритма необходима для проведения серии измерений одним датчиком в течение определенного времени или несколькими датчиками, подключаемыми по очереди.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Упомянутые выше решения были получены путем анализа существующих технологий и создания на их основе оптимального решения.

В вопросе обеспечения физической и логической совместимости модуля и периферии бесспорным лидером можно назвать интерфейс IIC ввиду его распространенности, простоты применения, относительной дешевизны и подходящих технических параметров. Интерфейс 1-Wire также достаточно распространен и подходит для применения в модуле. Он будет использоваться для обеспечения поддержки сенсоров на основе 1-Wire интерфейса.

Применение этих интерфейсов также решает вопрос идентификации подключаемого датчика. Каждое периферийное устройство имеет собственный адрес. Именно это используется в алгоритме идентификации датчиков. Как говорилось ранее, адрес является идеальным решением для программной идентификации.

Таким образом, описанные выше пункты определяют решение основных вопросов при разработке универсального преобразующего модуля для проведения измерений множества параметров.

Работа выполнена в рамках гранта Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» (код 0047072).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев В. А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование / В. А. Авдеев – Саратов: Профобразование, 2017 – 848 с.

2. Goryanina K.I. Review of robotic manipulators and identification of the main problems / Ksenia I. Goryanina, Aleksndr D. Lukyanov, Oleg I. Katin // MATEC Web Conf. -Vol. 226. -2018. -Pp. 02015.

3. I2C-bus specification and user manual – URL: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf (дата обращения 05.08.2019).

4. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer – URL: http:// datasheets.maximintegrated.com/en/ds/2812.pdf (дата обращения 10.08.2019).

5. Shenoi B.A. Introduction to digital signal processing and filter design / B.A. Shenoi. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. – 423 p.

6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002 – 608 с.

7. Cox J. F. Fundamentals of linear electronics: integrated and discrete / J. F. Cox. – Cengage Learning, 2001. – 884 p.

8. ATMEGA32U4 Просмотр технического описания (PDF) - Atmel Corporation – URL: https://html.datasheetbank.com/datasheet-html/190775/Atmel /34page/ATMEGA32U4.html (дата обращения 05.08.2019).

9. Логан С. Управление несколькими периферийными устройствами по линиям шин SPI/I2C / С. Логан // Компоненты и технологии. – 2008. – №7 (84). – С. 66-70.

10. Осинцев А. В. Разработка библиотеки для датчика терморегулятора климатической экранированной ТЕМ-камеры / А. В. Осинцев, М. Е. Комнатнов, А. А. Собко // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – №4. – С. 117-120.

11. Катин О. И. Оптимальный подход в разработке системы оптической сортировки / О. И. Катин, К. И. Горянина, М. А. Вернези // Динамика технических систем «ДТС-2018»: сб. тр. XIV международной научно-технической конференции (Ростов-на-Дону, 12-14 сентября 2018 г.) / Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2018. – с. 42 – 45.

12. Brooker, Graham. Introduction to Sensors for Ranging and Imaging, ScitTech Publishing, 2009. – P. 87.

13. Bhattacharjee D. Universal intelligent sensor interface / D. Bhattacharjee, G. Sharma, R. Bera // International Journal On Smart Sensing And Intelligent Systems. – 2015. – vol. 8, is. 4. – P. 2307-2327.

14. Уоррен Г.С. Алгоритмические трюки для программистов / Г. С. Уоррен – М.: Вильямс, 2014. – 512 с.

15. Рафгарден Т. Совершенный алгоритм. Основы / Т. Рафгарден – СПб.: Питер, 2019 – 256 с.

16. Канцедал С. А. Алгоритмизация и программирование. Учебное пособие / С. А. Канцедал – М.: Форум, 2019 – 352 с.

Рассмотрение датчиков-сцинтилляторов для идентификации уровня и плотности с помощью радиоактивного распада изотопов

Лапшин В.А., Петросян С.А., Серяченко М.В., Кудряшов Д.И.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
lapshin_2013@mail.ru

Consideration of scintillator sensors for identifying level and density using radioactive isotope decay

Lapshin V.A., Petrosyan S.A., Seryachenko M.V., Kudryashov D.I.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
lapshin_2013@mail.ru

Аннотация. **Существующие анализаторы уровня имеют высокую точность, различные способы измерения и мониторинга. Так же они различаются по способу измерения на контактные и бесконтактные. Проводят измерения постоянно в течение заданного промежутка времени или сигнализируют о текущем предельно допустимом значении концентрации, объема частиц и других показателей. Для непрерывной работы в экстремальных условиях, такие как высокие температуры и давления или коррозия, при непрерывном измерении твердых или жидких веществ используются радиометрические датчики для анализа уровня заполнения, уровня раздела фаз и плотность потока. Данные датчики обеспечивают надежное проведение измерений за счет бесконтактной работы. Этим определяется их относительно высокая стоимость и сложность применения, так как применяется распад радиоактивного вещества для идентификации плотности веществ. В данной статье мы рассмотрим основные виды этих анализаторов и их преимущества.**

Ключевые слова: **радиоизотопный датчик, Сцинтилляция, счетчик, линеаризация.**

Abstract. **Existing level analyzers have high accuracy, various measurement and monitoring methods. They also differ in the method of measurement for contact and non-contact. Measurements are carried out continuously for a predetermined period of time or signal the current maximum permissible value of concentration, particle volume and other indicators. For continuous operation in extreme conditions continuous measurement of solids or liquids uses radiometric sensors to analyze the level of filling, level of phase separation and flux density. These sensors provide reliable measurements due to non-contact operation. This determines their relatively high cost and complexity of application, since the decay of a radioactive substance is used to identify the density of substances. In this article, we will consider the main types of these analyzers and their advantages.**

Keywords: **agrophotonics, radioisotope sensor, scintillation, counter, linearization**

ВВЕДЕНИЕ

В нефтехимической, горно-обогатительной промышленности действуют очень высокие требования к безопасности и эксплуатационной готовности производственных установок, это обусловлено экстремальными условиями работы по температурным режимам, давлению или коррозии. Поэтому требуется учитывать все опасные факторы эксплуатации и выбирать наиболее устойчивое оборудование для измерения без требований в постоянном обслуживании с длительным сроком службы без преждевременной остановки производства. Такими измерительными приборами занимаются многие компании из них наиболее известными являются VEGA и Endress+Hauser. Они предоставляют измерительное оборудование, полностью удовлетворяющее требованиям данных отраслей промышленности.

Их системы способны выполнять целый ряд функций:

- Онлайн измерение фактического уровня жидкостей и сыпучих веществ;
- Сигнализация минимального/максимального уровня;
- Сигнализация достижения заданного уровня;
- Измерение объема жидкости или сыпучих веществ в местах хранения сложной геометрической формы;
- Измерение объема насыпных сыпучих материалов на открытых площадках хранения;
- Измерение скорости расхода;
- Хранение и обработка накопленных данных результатов измерения.

Они применяются для работы с:

- Нефтью, нефтепродуктами, маслами, смазочными материалами, смазочно-охлаждающими эмульсиями;
- Водой и водными растворами, сточными водами;
- Кислотами и щелочами, чистящими жидкостями;
- Пищевыми продуктами, в том числе напитками;
- Пластиковыми гранулами;
- Строительными материалами, сухими строительными смесями;
- Различными вязкими средами.

Основным является то, что данные датчики линеаризованы с завода.

ПРИНЦИП ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА РАДИОИЗОТОПНЫХ ДАТЧИКАХ

Измерение уровня производится бесконтактно, через стенку емкости. Вся установка крепится снаружи емкости, поэтому экспериментальные условия процесса не влияют на измерения. Это все позволяет производить измерения в емкостях под давлением или с работающими внутри частями, например, с мешалками. Сама конструкция датчика позволяет его изгибать и устанавливать на закругленные поверхности. При этом для реализации возможности считывания больших диапазонов измерения производится каскадная установка. К данному типу устройств относятся датчики компании VEGA FIBERTRAC и SOLITRAC (см. рис. 1).

Аналогично описанному принципу работают и другие модели, изменяется только их расположение и методики математического расчета для нахождения тех или иных показателей.

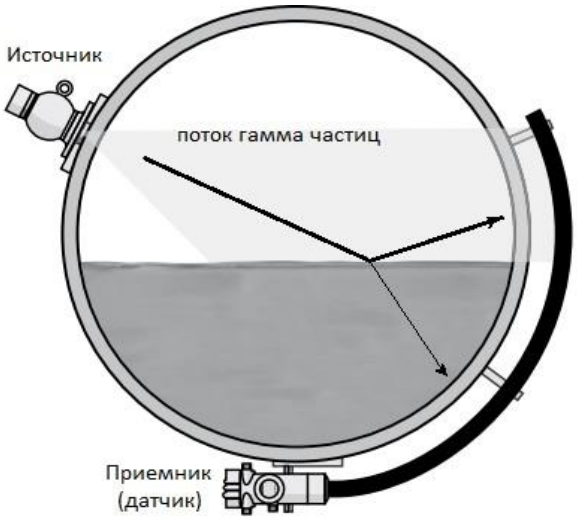


Рис. 1. Схема работы анализатора уровня на базе VEGA FIBERTRAC

Измерение плотности (см. рис. 2):

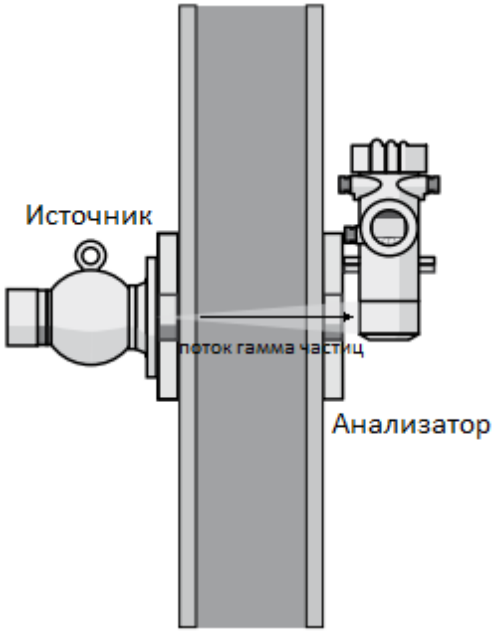


Рис. 2. Схема работы анализатора плотности на базе VEGA MINITRAC

Измерение массового расхода на рис. 3.

Аналогичное строение и у анализаторов компании Endress+Hauser. Их решения представлены в виде моделей одного и того же датчика с различным подключением и расположения рабочих частей установки. Пример можно увидеть на рис. 4. Однако данный производитель не предоставляет решение для открытых конвейеров.

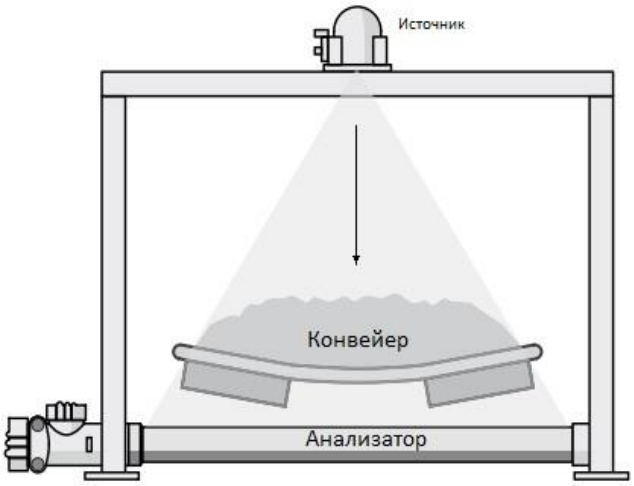


Рис. 3. Схема работы анализатора расхода на базе VEGA WEIGHTRAC

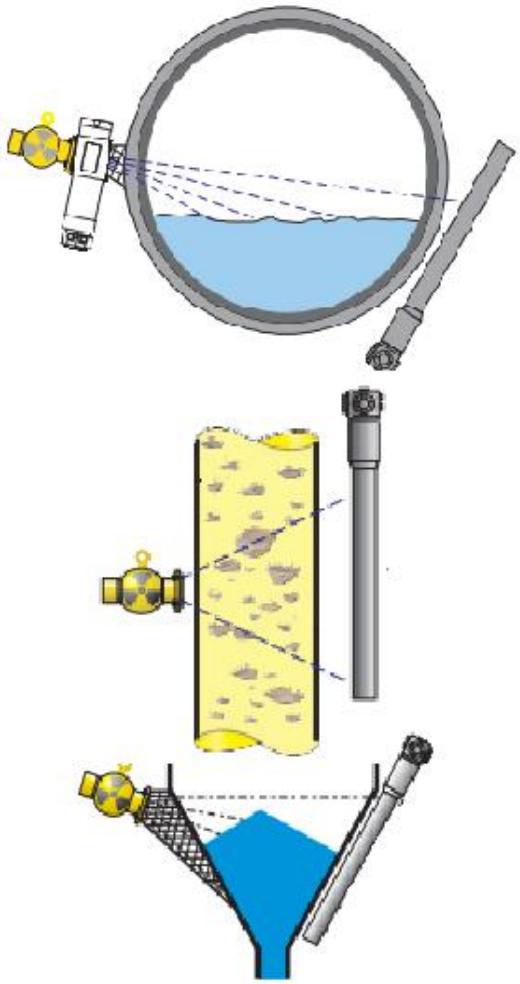


Рис. 4. Схема работы анализатора уровня и плотности на базе Gamma Modulator FHG65 и Gammapilot M FMG60

СРАВНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМОЙ ДАННЫМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ

Наиболее значительным отличием продукции компании Endress+Hauser является гибкая настройка режимов линеаризации под резервуары и трубопроводы любой сложности. Продукция компании VEGA направлена на стандарты нефтегазовой промышленности и более структурирована, с завода линеаризована под определенные требования потребителей. В их ассортименте имеются гибкие датчики, которые отсутствуют у Endress+Hauser.

Температурные режимы эксплуатации одинаковые.

Общая направленность компании Endress+Hauser определяется разработкой систем для анализа твердых и жидких веществ с твердыми примесями, из-за чего она не производит менее защищенные гибкие анализаторы.

Гамма источники у компании VEGA не описаны, а у Endress+Hauser это ^{60}Co и ^{137}Cs. Вид капсулы источника идентичен у обоих производителей, т.к. выполнен из гамма-защищённого материала и соответствует классу безопасности 66646 ISO 2919 (рис. 5).

Рис. 5. Виды источников гамма-излучения

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

С завода оборудование поставляется совместно с программным обеспечением. Оно позволяет частично откалибровать датчики и провести линеаризацию, если необходимо.

Кампания VEGA предлагает: «инновационную технологию описания устройств DTM/FDT позволяет выполнять настройку промышленных приборов как посредством персонального компьютера, так и в среде современных систем управления» (рис. 6).

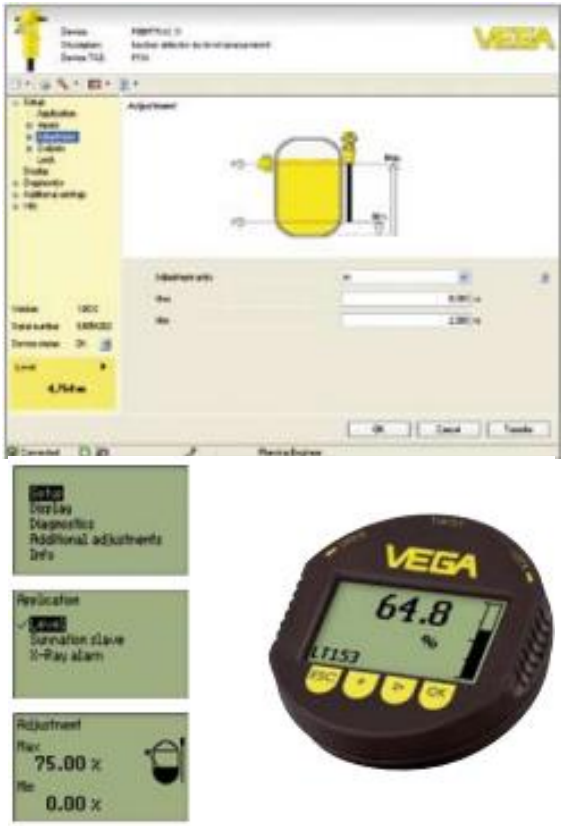
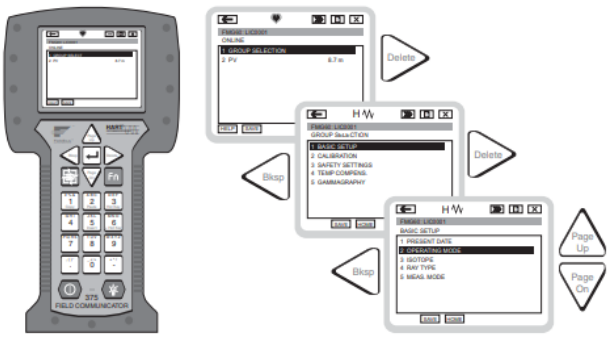


Рис. 6. Пример интерфейса ПО и местной системы мониторинга компании VEGA

Системы мониторинга и управления датчиками компании Endress+Hauser представлены и виде компактных устройств либо в виде ПО для компьютера (рис. 7).



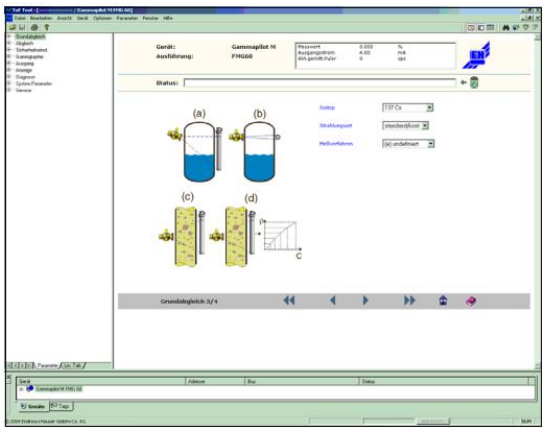


Рис. 7. Пример интерфейса ПО и портативной системы мониторинга компании Endress+Hauser

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные датчики-сцинтилляторы (Радиометрические датчики) широко известны и, практически, не имеют конкурентов. Данные датчики требуют хорошо оснащенной технической линии производства, так как от качества их сборки зависит срок службы и безопасность пользователя. Основными преимуществами датчиков компании VEGA является их широкий диапазон применения и гибкость при адаптации некоторых серий датчиков под оборудование потребителей. Преимущество компании Endress+Hauser в универсальности методов линеаризации и разработка оборудования для более тяжелых внешних условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Data sheet on VEGA MINITRAC 31 / URL: https://vega-rus.ru/upload/iblock/6e0/38255-RU-MINITRAC-31-4-20mA-HART-Vierleiter.pdf

2. Data sheet on VEGA products / URL: http://www.koda.ua/download/Radiometriceskie_izmeritelynye_pribory_promyslennogo_primenenia.pdf

3. Data sheet on Gammapilot M FMG60 / URL: https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/uroven/Gammapilot-FMG60

4. Gene Henry “Radiometric level and density measurement” / URL: https://www.us.endress.com/_storage/asset/3610830/storage/master/file/13463044/download/WP01052F24EN0117-Back%20to%20Basics%20Radiometric%20Level%20and%20Density%20Measurement-v001.pdf

5. Hubbell, J H. “Survey of Industrial, Agricultural, and Medical Applications of Radiometric Gauging and Process Control.” Journal of research of the National Institute of Standards and Technology vol. 95,6 (1990): 689-699. DOI:10.6028/jres.095.053

6. Data sheet on gamma sources URL: https://portal.endress.com/wa001/dla/5000300/7769/000/00/TI213F00rus.pdf

7. A.V. Patsukov, A. P. Mishanov, S. A. Rakutko, A.E. Markov, V. N. Sudachenko "Influence of the optical radiation spectrum on the quality of tomato seedlings" UDC: 628.941.8: 581.14

Развитие станкостроения на рубеже XX и XXI веков

Клименко А.В., Патюченко Ф.В., Слащев И.С., Трегубенко Л.А., Усманова Ю.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
ivan.slashchev@gmail.com

Development of machine tools at the turn of XX and XXI centuries

Klimenko A.V., Patyuchenko F.V., Slashchev I.S., Tregubenko L.A., Usmanova Y.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
ivan.slashchev@gmail.com

Аннотация. **В статье рассматривается общее представление понятия станкостроения, его формирование в России в время, переходящее из XX века в XXI век. Влияние станкостроения на экономику страны и мирового рынка в целом, а также наоборот. В сравнении с другими странами, производится впечатление некоторого застоя в отечественном станкостроении, отчего выдвинуты некоторые предположения по улучшению данного состояния. В итоге, описание сводится к актуальности данной отрасли и дальнейшего ее развития в целом.**

Ключевые слова: **станкостроение, машиностроение, производство, мировой рынок.**

Abstract. **The article deals with the General concept of machine tool construction, its formation in Russia in the time passing from the XX century to the XXI century. The impact of machine tools on the economy and the world market as a whole, and Vice versa. In comparison with other countries, the impression of some stagnation in the domestic machine tool industry, why put forward some assumptions to improve this condition. As a result, the description is reduced to the relevance of the industry and its further development as a whole.**

Keywords**: machine tool building, machine building, production, world market.**

ВВЕДЕНИЕ

Станкостроение – это отрасль машиностроения, где происходит создание станков, которые в дальнейшем влияют на другие отрасли промышленности по обработке материалов, от металлообработки и до деревообработки, способствующие созданию полуавтоматических и автоматических линий, изделий из металла и других металлических конструкций, литейного оборудования. От части по развитию станкостроения можно сказать, на сколько хорошо развито машиностроение в стране, в следствии чего можно делать вывод о развитии промышленного потенциала.

Несомненно, станкостроения может относиться к системным экономическим отраслям, ведь степень его развития может говорить и об уровне, на котором находятся экономика страны, производимая техника, оборонный потенциал страны. Без станкостроительной отрасли промышленность невообразима, потому что это, так называемый, фундамент в массовом производстве той или иной продукции.

В современной России на развитие станкостроения внушительно оказывали давление как различные мировые экономические кризисы, так и влияние мировых тенденций по производству. Но мировые экономические кризисы наносили ущерб станкостроению и другим странам, в основном европейским, например, Германии и Италии. В единственных странах, как Китай и Япония могло наблюдаться беспрепятственное производство.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СТАНКОСТРОЕНИЯ

Если говорить о влиянии состояния мирового рынка станков на российское производство станкостроения, то в основном это происходило через влия-

ние экономических кризисов на экономику страны, потому что отечественное производство старалось быть более самостоятельным и независимым, от чего не было вовлеченности в мировой рынок станкостроения, за исключением ряда стан СНГ.

Говоря о тяжелом положении станкостроения на рубеже XXI века, задумываешься о причинах. В основном выделяют неразвитость внутреннего рынка станков, несомненно, отсутствие необходимых условий для технологического развития станкостроения, а также можно выделить и большой отток «умов» заграницу вследствие политического настроения в стране. На данный момент можно смело говорить, что российское станкостроение по развития отстает на десять лет от того же Китая. За счет такой проблематичности станкостроения в России, основной поток на мировом рынке имеет импортная продукция, это около 90%. Но как говорилось, развитие станкостроения, которое ориентировано на внутренний рынок – это задача непростая, требующая непосредственного участия государства [1]. Иными словами, при поддержке государства, правильном инвестировании в сферу станкостроения, при упорядоченном внутреннем рынке станков и поддержании высокого показателя качества станков, согласно требованиям потребителей может повлечь экономически эффективное производство отечественных станков. А также перспективно было бы создание специализирующих банков, которые в свою очередь на льготной основе инвестировали средства в машиностроительные предприятия.

Так же не мало важно учитывать, что перешагнувшее из XX века в XXI век детальное изучение динамики процесса резания и обработки материалов, является одной из центральных проблем синергетической парадигмы, в особенности, когда стали производиться работы на станках с ЧПУ, а также год за годом набирает обороты развитие систем автоматизации технологических процессов. С данным процессом обработки материалов динамическая система рассматривается, как взаимодействие подсистем какого-либо инструмента и обрабатываемой детали при помощи связи, которая формирует сам процесс обработки. Эта связь, по сути, должна учитывать многие физические процессы, способствующие процессу обработки материала и представляет она из себя модель сил резания в координатах состояния взаимодействующих подсистем [2].

Исходя из сказанного, высокой практической актуальностью обладает задача самоорганизации механической системы, взаимодействующей с обработкой на станках, а также немаловажным фактором является изучение проблем анализа и синтеза систем управления. Актуальность в данном случае состоит в том, чтобы повысить эффективность обработки материалов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), так как в современных будь то металлорежущих станках или фрезерных станках присутствует сложная управляемая система, в которую включаются подсистемы управления исполнительными элементами. Помимо этого, не стоит забывать и о подсистемах инструментов и заготовок, которые прямо взаимодействуют между собой.

Несомненно, все эти подсистемы должны быть чем-то связаны. Связующим элементом в данном случае выступает динамическая связь, отвечающая за объединение этих подсистем в единую взаимосвязанную управляемую систему, которая в свою очередь характеризуется нелинейностью, а именно нелинейной системой уравнений. Отсюда динамическая система в принципе может рассматриваться на основе взаимодействия двух подсистем: подсистем инструмента и подсистем обрабатываемого какого-либо материала с помощью связи

Взаимодействие системы со средой означает, что если это взаимодействие смоделировать, то значит представляется сильнодействующие воздействие со стороны среды на движущуюся систему в координатах состояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, необходимо знать, что такое динамическая система и какие у нее характеристики. Сама динамическая система является совокупностью математических элементов, задающих функциональную зависимость времени и положения каждого элемента системы в фазовом пространстве. От этого потребуется произвести моделирование взаимодействий всех элементов в системе. В свою очередь моделирование этих взаимодействий является расширением размерностей пространства состояний, либо сжатие размерностей пространства состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черпаков Б.И., Григорьев С.Н. Тенденции развития технологического оборудования в начале XXI века // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 10. С. 2-7.

2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Закон Российской Федерации № 261 от 23.11.2009.

Основные тенденции совершенствования систем управления

Клименко А.В., Патюченко Ф.В., Слащев И.С.,
Трегубенко Л.А., Усманова Ю.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
ivan.slashchev@gmail.com

Main trends in improving management systems

Klimenko A.V., Patyuchenko F.V., Slashchev I.S.,
Tregubenko L.A., Usmanova Y.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
ivan.slashchev@gmail.com

Аннотация. **В статье рассматривается процесс формирования и частичного совершенствования систем управления на основе числового программного управления в отрасли станкостроения. Идет сравнение отечественного производства с зарубежным, беря во внимание статистику данных. А также разбор современной демонстрации интерфейсного пользования на станках с ЧПУ.**

Ключевые слова: **станкостроение, машиностроение, числовое программное управление, ЧПУ.**

Abstract. **The article deals with the process of formation and partial improvement of control systems based on numerical control in the machine tool industry. There is a comparison of domestic production with foreign, taking into account the statistics of the data. And also analysis of modern demonstration of interface use on CNC machines.**

Keywords**: machine tool building, machine building, mechanical engineering, numerical control, CNC.**

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы происходит развитие числового программного управления (ЧПУ), что непосредственно сказывается на конструировании станков и появлению определенно новых моделей, а также механических автоматов. На сегодняшний день станки с ЧПУ принимают на себя основную тяжесть в любом производстве чего-либо. В своем виде они могут представляться, как идеальное решение в автоматизации мелкосерийного или штучного производства. Происходит даже так, что объединяют станки в гибкие линии, чтобы производились работы по созданию больших серий.

Для более-менее развитого рынка станкостроения потребовалось минимум тридцать лет, где уже существуют свои мастодонты, не побоюсь того слова, например, продукция фирмы Siemens, которая по сути своей уже является, так сказать, законодателем мод в производстве систем ЧПУ, то есть это не только отклик на необходимые требования станкостроителей, но и определенные инвестиции в те продукты или проекты, которые потребуются непосредственно заказчикам в будущем.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Говоря о российском станкостроении, чтобы иметь общее представления в сравнении с мировыми масштабами производства, то по первой необходимо выделить статистику данных Росстата на 2015 год, которая выглядит следующим образом на рис. 1.

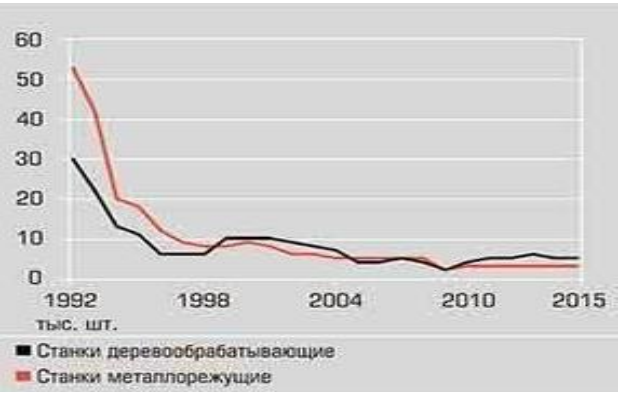


Рис 1. Производство станков в России

А же посмотреть на график крупнейших импортеров станков по данным источника Gardner Research на рис. 2, чтобы сразу оценить насколько же задан уровень станкостроения в мире, и какого положение в нем нашего отечественного производства.

Рис 2. График импортеров станков

От такой ощутимой разницы уровня производства нелишним будет попробовать окунуться в некоторые детали машиностроения и станкостроения.

Как говорилось, что машиностроительная отрасль может все-таки влиять на экономическую независимость государства. От чего эффективность и мировая конкурентоспособность национального машиностроения непосредственно сказывается в качественном, а также количественном составе применимых средств машиностроения, а как следствие, станкостроение является некой точкой опоры промышленного развития страны. Стремительное развитие данной области в мире, чаще всего, требует оперативной модернизации отечественных машиностроительных предприятий с их технологическим оборудованием, которое, в большинстве случаях, устарело как морально, так и физически [1]. В связи с этим, возникает чрезвычайно важная задача, заключающаяся в том, что необходимо произвести перевооружение российских машиностроительных предприятий, где основная важность задачи лежит на приоритетных отраслях промышленности, таких как:

- авиакосмическая отрасль;
- оборонно-промышленная отрасль;
- судостроительная отрасль;
- энергомашиностроительная отрасль.

То, что в России сложились подобные экономические условия, сказывающиеся на работе станкостроительной промышленности, где слаборазвита системная интеграция отечественного оборудования в рамках мирового рынка, с примерно выявленной причиной, которая обуславливает опережающий рост импорта в сравнении с экспортом станкоинструментальной продукции, мало кто может уже быть виновным. Важнее то, как в ныне сформированном парке оборудования создать обеспечение принципиально новый уровень качества изделий с минимальными затратами на производство, а также обеспечить минимальное участие человека в этом процессе и обязательным наличием высоко эволюционного ЧПУ, которое обеспечит интеграцию производства в высокоуровневые информационные сети [2].

На сегодняшний день для простых станков может предлагаться семейство ЧПУ с двумя осями и шпинделем для токарных, тремя осями и шпиндель для фрезерных станков. Приводом в таком случае могут выступать либо современные шаговые трёхполюсные двигатели, например, с ЧПУ SINUMERIK 802S, либо сервоприводы переменного тока с аналоговым интерфейсом, например, с ЧПУ SINUMERIK 802C от той же фирмы Siemens.

Рис 3. Внешний вид интерфейса ЧПУ SINUMERIK 802-серии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование шаговых приводов, которые установлены в некрупных станках и пользуются популярностью у небольших фирм, позволяет снизить общую стоимость самого станка. Эти небольшие фирмы из-за своей такой выгоды могут выступать поставщиками комплектующих для более крупных фирм или попросту выпускать серии деталей для собственных нужд, что позволяет поддерживать уровень качества производства, а также избавляться от проблем поиска сторонних высококвалифицированных специалистов. А при использовании сервоприводов с аналоговым интерфейсом с показателем +/- 10В может позволить существенно повысить точность обрабатываемой поверхности на станках. Так же при этом производительность станка не падает, а даже наоборот вырастает за счет того, что новая система ЧПУ стала более надежной в эксплуатации, а это в свою очередь позволяет сокращать время на обработку детали [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. О системах ЧПУ нового поколения Современные системы ЧПУ фирмы Siemens [Электронный ресурс] / ЗАО "ТПК Технополюс". — [Б.м. : б.и.], сор. 2005.- Режим доступа: http://www.technopolus.ru/Siemens/ Sinumeric/ modern5.html, свободный. (дата обращения: 13.07.2019).

2. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5. С. 4-8. - Режим доступа: https://avtprom.ru/perspektivy-razvitiya-raspredelennykh-ge (дата обращения: 07.08.2019).

3. Бушуев В.В., Сабиров Ф.С. Направления развития мирового станкостроения // Вестник МГТУ “Станкин”. 2010. №1. С. 24-30. - Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_16496522_85727059 .pdf (дата обращения: 08.08.2019).

Использование конденсатора в качестве замены электрического аккумулятора в моделируемых САУ

Абалов АА., Коба Я.Д., Носачев С.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
abal.26rus@yandex.ru

Using a capacitor as a replacement of an electric battery in modeled ACS

Abalov A.A., Koba Y.D., Nosachev.S.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
abal.26rus@yandex.ru

Аннотация. **Раскрыто понятие аккумулятора и ионистора, рассмотрены их основные достоинства и недостатки, проведен сравнительный анализ. На основе проведенного сравнительного анализа сделаны выводы о возможности использования ионисторов в качестве замены электрических аккумуляторов при использовании в моделируемых САУ.**

Ключевые слова: **ионистор, конденсатор, аккумулятор, структура, емкость, напряжение, источник питания, САУ.**

Abstract. **The concept of a battery and an ionistor is disclosed, their main advantages and disadvantages are considered, a comparative analysis is carried out. Based on the comparative analysis, conclusions are drawn about the possibility of using ionistors as a replacement for electric batteries when used in simulated self-propelled guns.**

Keywords: ionistor, capacitor, battery, structure, capacity, voltage, power source, ACS.

INTRODUCTIONE

In the age of high-speed devices and an intense rhythm of life, “human friends” - mobile platforms (phones, tablets, laptops, etc.) - are also actively developing. Their overall dimensions are decreasing every year, but at the same time, the capabilities and operating time are increasing. However, the endless evolutionary development of existing technologies, in particular power sources, is impossible for well-known reasons: sooner or later they will exhaust their resources, and there will be a transition to fundamentally new technologies and mechanisms.

Perhaps such an alternative to conventional batteries will be supercapacitors or, as they are also called, ionistors. Currently, they are rarely used due to some technological limitations. However, there are prerequisites that modern scientists will be able to significantly improve the technology for the development and operation of existing ionistors, which allows us to hope for their wider implementation and a fundamental improvement in the quality of electronic devices, which have become an integral part of the life of billions of people around the planet.

More recently, it was impossible to imagine that battery-powered devices could become more compact, efficient and still have a large battery capacity. Now it is becoming possible thanks to the development of technology. One of the areas of technology development allows the introduction of more efficient energy storage devices - supercapacitors-ionistors [1].

The purpose of this article is to conduct a comparative analysis of the battery and supercapacitor, identify their main advantages and disadvantages, and also try to suggest whether it is really possible to replace the battery with a modern supercapacitor-ionistor in the framework of modeling automatic control systems (ACS) without noticeable losses in comparison.

MAIN PART

Let us first consider the familiar concept of a battery. An electric battery is a chemical source of reusable EMF

(Figure 1). The battery is based on the reversibility of internal chemical processes, which ensures its multiple cyclic use for energy storage, as well as its subsequent transmission to consumers of electric current. Often, an electrolytic battery is used to autonomously power various electrical devices and equipment, as well as to provide backup energy sources in various sectors of human life.

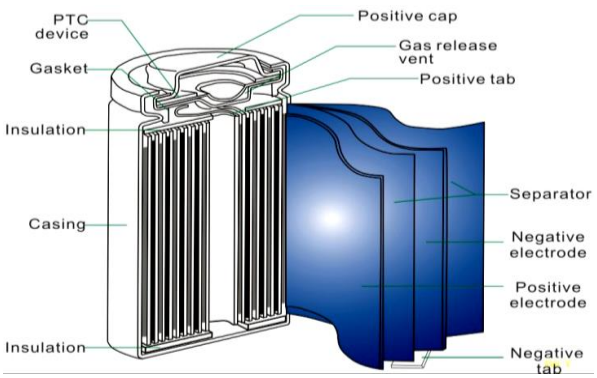


Fig. 1. Structure of accumulator 18650

The world first saw the prototype of a battery in 1803. Its ancestor is the German scientist Johann Wilhelm Ritter. This battery was a column of fifty copper circles, between which a wet cloth was laid. After passing current from the voltaic column through this device, it began to behave itself as a source of electricity.

The following main types of batteries are distinguished: lead-acid; lithium ion; nickel cadmium; nickel iron; nickel metal hydride; nickel-zinc; silver-zinc; silver cadmium; nickel hydrogen; polymer. Among these types, the most common at the moment is a lithium-ion battery. They are used in almost all stand-alone devices. The service life of such batteries is much longer than other types. In the framework of this article, as the concept of a battery, we will consider the most common type of battery - lithium ion [5].

Advantages:

One of the main qualities and advantages of batteries is the lack of a memory effect and the extremely low level of self-discharge. Batteries can withstand up to 1000 charge / discharge cycles, which is a very good indicator for portable batteries. Gradually, the battery charge resource is reduced, but with the help of special technical devices the capacity can be restored, while the only thing that can prevent the restoration of the battery capacity is the absence of mechanical damage to the battery. The battery for the most part is light and compact, have a low cost.

Disadvantages:

The most important disadvantage of batteries was their explosion hazard. However, to date, it has been possible to eliminate this defect by replacing the anode material with graphite. Sometimes batteries have a tendency to explosive spontaneous combustion. The intensity of burning from batteries can lead to serious consequences. Spontaneous combustion is very difficult to extinguish by traditional means due to the fact that a flashed battery can burn without oxygen. For this reason, many transport companies are taking measures to limit the transport of batteries [3,4].

Ionistor - is a condenser with organic or inorganic electrolyte in which serve as facings a double electric layer on a demarcation of an electrode and electrolyte (fig. 2). In other words, on technical properties it represents a certain hybrid of the condenser and accumulator. The main difference of an ionistor from the condenser is that between its electrodes there is no special layer from a dielectric. Instead of it electrodes at an ionistor are made of substances, the possessing antiput types of charge carriers. Electrodes of ionistor most often do of frothed carbon or the most ordinary absorbite. Thanks to this reception it is possible to receive the larger area of peculiar "facings" that leads to high-capacity receiving. Electrodes are divided by a divider (separator) and all this are in electrolyte. The separator is used only for protection of electrodes against a short-circuit. Electrolyte is carried out on the basis of solutions of acids and alkalis and is crystal and solid. In figure 1 it is possible to see structure of an ionistor [2].

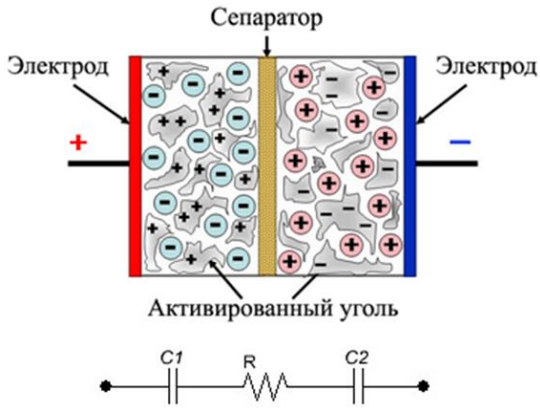


Fig. 2. Structure of an ionistor

Distinguish 3 main types of ionistor:

1) Ionistora with ideally polarizable carbon electrodes. This type of ionistor doesn't use electrochemical alterations, works due to ion transfer between electrodes.

2) Ionistora with ideally polarizable carbon electrode and non-polarizable or poorly polarizable cathode or the anode (so-called hybrid ionistor). On one of electrodes there is an electrochemical alteration.

3) Pseudo-condensers are the ionistor using reversible electrochemical processes on a surface of electrodes. Have very high capacity.

Most often ionistor are used in the digital equipment. There they carry out a role independent or the stand-by power supply for microcontrollers, chips of memory, KMOP-chips or real time clock. Thanks to it even at the disconnected main delivery an electronic device the long period of time saves the given settings [2].

Advantages:

One of the most important advantages of ionistor is small time of a charge and the category thanks to which it is possible to load and use quickly it, then, as the charge of

rechargeable batteries occupies the progressive time. Also they have much smaller overall dimensions in comparison with accumulators, don't demand an upkeep, have the long term of service.

Disadvantages:

It is possible to refer still high cost and also quite small tension on one element of an ionistor to the negative properties of ionistor. Depending on the used electrolyte a nominal running voltage of an ionistor can change.

CONCLUSION

In this article the comparative analysis of an accumulator and ionistor in a section of replacement of one element on another was made at model operation of systems of automatic control. Ionistor is one of innovative devices capable to make some revolution in the modern high technologies. Having made comparative analysis, it is possible to draw a conclusion that shortly, on condition of reduction of price per unit of output, ionistor can force out ordinary rechargeable batteries due to existence of a set of advantages, including, without having shortcomings in relation to the accumulator in the environment of feigning work of SAU. For example, due to emergence of ionistor use of condensers in electric circuits not only as a reformative element, but also as the self-contained power supply became possible that allows to use quite widely this advantage at model operation.

LITERATURE

1. First A.A. Article Title / A.A. First, B.B. Second // Title of Journal. – year. – vol. 1, is. 5(4). – P. 5-7.
2. Alexandra Borisova New possibilities of using ionistors [Electronic resource]. Access mode: https://www.gazeta.ru/science/2010/04/23_a_3356539.shtml?updated (accessed: 11.11.2018)
3. The ionistor. Device, characteristics and application [Electronic resource]. Access mode: http://go-radio.ru/ionistor.html (accessed date: 11/14/2018)
4. Features and operation of lithium-ion batteries [Electronic resource]. Access Mode: https://cekatop.ru/osobennosti-i-ekspluatacia-akkumulyatora-li-ion-18650 (accessed: 11/27/2018)
5. I.A. Kedrinsky, V. G. Yakovlev Li-ion batteries. - Krasnoyarsk: Platinum, 2002 .-- 266 p.
6. G. Yemtsov Electric batteries [Electronic resource]. Access mode: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=131287 (11.24.2018

Схема и принцип работы интеллектуальной измерительной системы с MEMs сенсором

Зотов А.А., Гладких Д.И.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Ростов-на-Дону, Россия
andrejaz2016@yandex.ru

Scheme and principle of operation of intelligent measuring system with MEMs sensor

Zotov A. A., Gladckih D.I.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
andrejaz2016@yandex.ru

Аннотация. **Статья посвящена разработке алгоритма интеллектуальной измерительной системы на базе микропроцессорной системы управления. Были рассмотрены специфические стороны изготовления измерительной системы с защитой от помех. В иллюстрациях детально объясняется порядок работы и взаимодействие между элементами прототипа, а также приводится их система соединений, а именно: между датчиком виброускорения и промежуточной платой повторителем, между датчиком виброускорения и основной платой - центром обработки информации, а также между промежуточной платой - повторителем и основной платой - центром обработки информации.**

Ключевые слова: **измерение виброускорений, вибрации, ускорения, акселерометр, защита от помех.**

Abstract. **The article is devoted to the development of an algorithm of an intelligent measuring system based on a microprocessor control system. The specific aspects of manufacturing a measuring system with anti-interference protection were examined. In the illustrations due to the details of work and interaction between the elements of the prototype, and so is their system of connections, namely between the sensor and acceleration of the intermediate PLA-the repeater, between the acceleration sensor and the main Board - the information processing center, and between the intermediate cost of the repeater and the main fee - information processing center.**

Keywords: **measurement of vibration acceleration, vibrations, accelerating, accelerometer, noise stability.**

ВВЕДЕНИЕ

Применение систем контроля технологических и производственных процессов является важным направлением в современном машиностроении. Так как системы регистрации различных величин являются неотъемлемой частью систем контроля, задачи максимально эффективного использования данных регистрации технологических процессов для управления качеством и снижения себестоимости приобретают всё большую актуальность. [1]

В последнее время получили широкое распространение MEMs сенсоры. При использовании MEMs сенсоров данные могут передаваться по аппаратным интерфейсам, не обеспечивающим защиту от помех. Данная проблема актуальна для измерительных систем, где элементы прибора находятся в разных корпусах и удаленны на расстоянии друг от друга. В результате на линии передачи могут возникать помехи, искажающие первоначальные данные. Решить данную проблему помогает использование помехозащищенных интерфейсов, описанное в данной статье.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С MEMs СЕНСОРОМ

Данная система регистрации создана для того, чтобы по измерениям виброускорения детектировать неисправности в работе различной техники. Наиболее существенные параметры, которым должна удовлетворять данная система регистрации виброускорений - достаточная точность измерений и как можно большее их количество в единицу времени.

Схема измерительной системы, описанная в статье [2] позволяет получать данные непосредственно из датчика, рис.1.

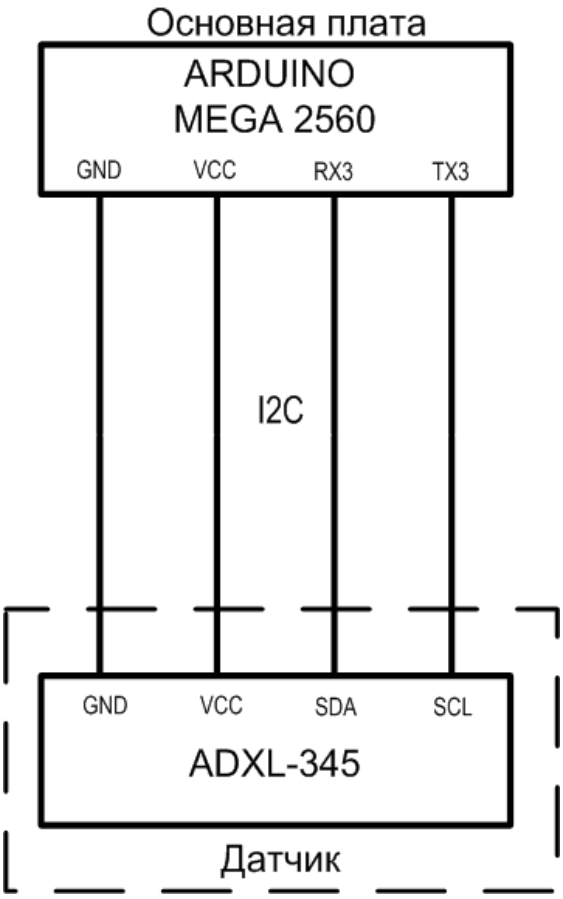


Рис.1. Схема работы измерительной системы с непосредственной передачей данных из датчика в основную плату

К достоинствам данной схемы можно отнести относительную простоту – всего в процессе приема-передачи данных используется только два компонента: ADXL-345 и Arduino MEGA 2560.

При этом, данная схема обладает следующим недостатком: интерфейс I2C, разрабатываемый компанией PHILIPS как внутриприборный, может быть подвержен серьезным помехам при увеличении длины линии. Это связанно с ограничением по общей емкости линии I2C, которая не должна превышать максимально допустимую емкость шины в 400 пФ [3].

Для решения этой проблемы в статье [4] в систему было добавлено устройство-посредник[5], которое находится с акселерометром непосредственно в одном корпусе и принимает от него данные по интерфейсу I2C , после чего начинает передавать полученные данные по более длинной линии помехозащищенного интерфейса RS-232 на основную плату.

Данная схема позволяет передавать данные по помехозащищенному каналу.

Скорость передачи по этому каналу напрямую зависит от таких параметров устройства - посредника как частота микроконтроллера и объем Flash памяти.

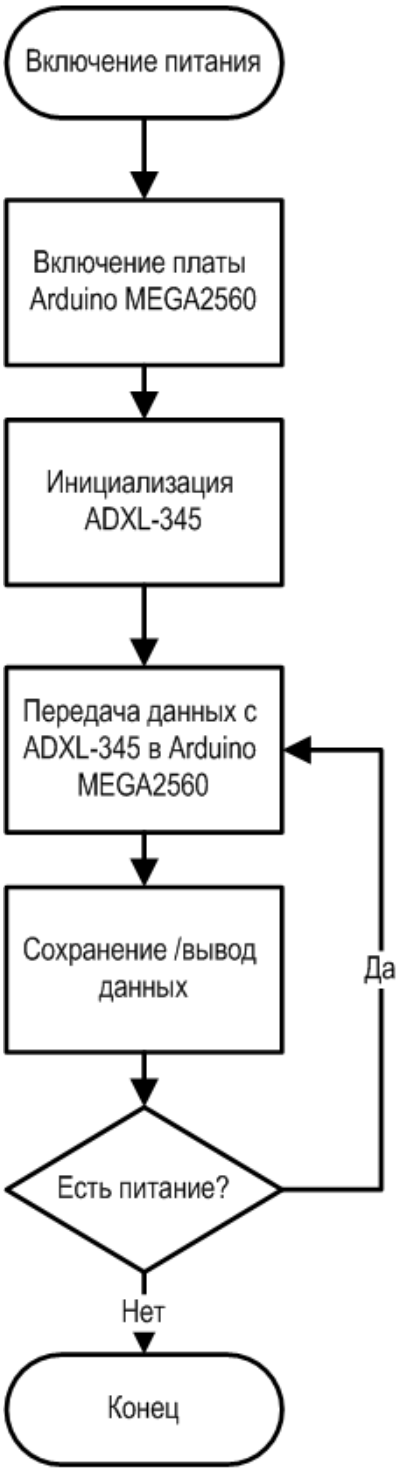


Рис. 2 Алгоритм работы измерительной системы с непосредственной передачей данных из датчика в основную плату

Данные от акселерометра поступают пакетно и чем больший объем буферной памяти имеет микроконтроллер, тем больше будет размер пакетов данных, которые он сможет пропускать через себя. Чем больше частота, тем большее количество пакетов сможет принять и передать устройство-посредник.

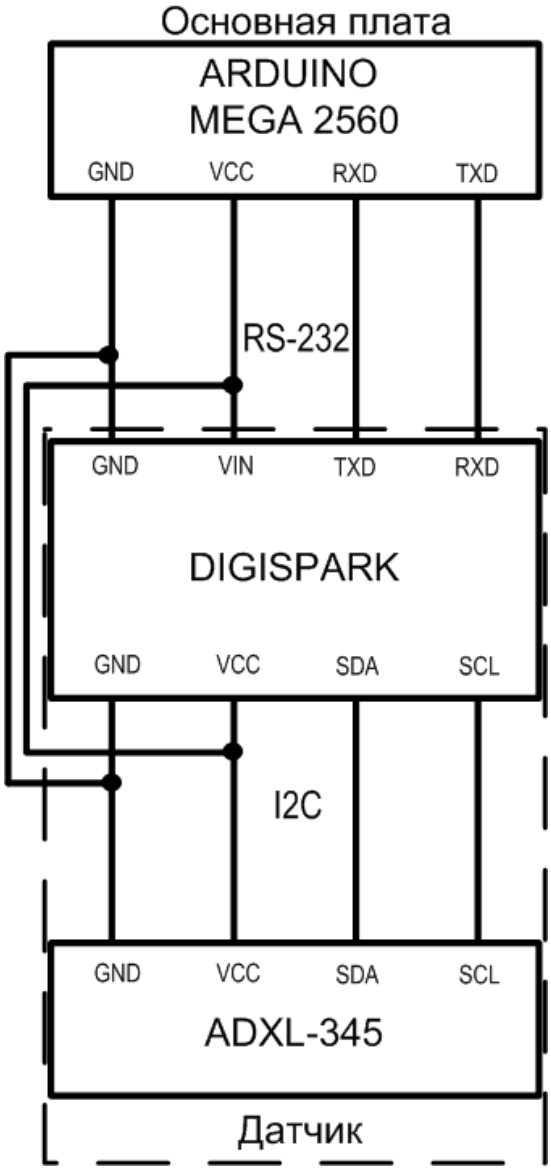


Рис. 3. Схема работы измерительной системы с передачей данных посредством платы Digispark Attiny85

При данной ситуации есть возможность значительно увеличить скорость измерительной системы, если заменить плату Digispark на Arduino NANO.[6] Сравним характеристики микроконтроллеров этих двух плат: ATtiny85 от Digispark обладает Flash памятью в 8Кб, максимальной частотой 8Мгц, микроконтроллер ATmega328 Arduino Nano превосходит обладает Flash памятью в 16Кб, максимальной частотой 32Мгц. Как мы можем видеть, микроконтроллер ATmega328 превосходит ATtiny85 сразу по двум ключевым параметрам, более того, плата Arduino Nano получила большее распространение на рынке по сравнению с Digispark.

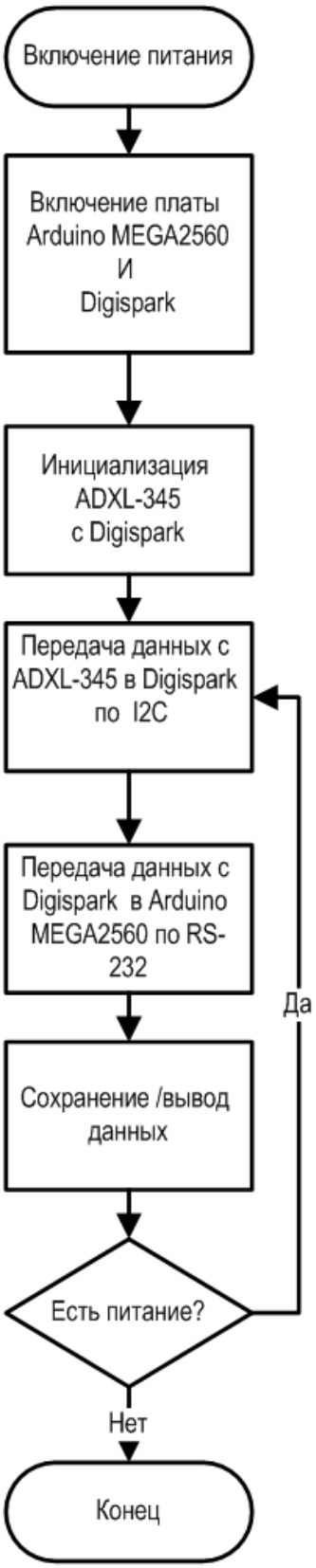


Рис. 4. Алгоритм работы измерительной системы с передачей данных посредством платы Digispark Attiny85

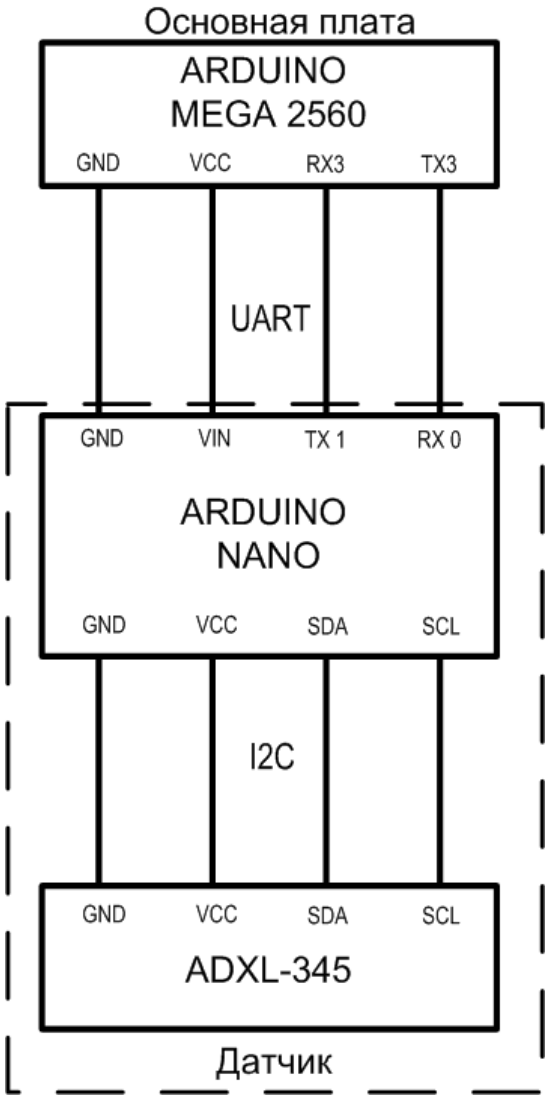


Рис. 5. Схема работы измерительной системы с передачей данных посредством платы Arduino NANO

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм с устройством – посредником Arduino NANO серьезных функциональных отличий от предыдущего алгоритма не имеет. При этом данная замена позволяет не только ускорить процесс передачи данных по каналу связи, но и значительно его упростит, так как Arduino Nano намного удобней и надежней, чем Digispark.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ющенко А. В. Исследование процесса съёма металла при абразивной галтовке/ А. В. Ющенко М. Б. Флек// *Вестник ДГТУ. 2013. № 3 –с.1-92*.

2. Zotov A.A., Lukyanov A.D. Microprocessor system of registration of the size of spatial vibration acceleration for a rumbling stand / MODERN INFORMATIZATION PROBLEMS IN SIMULATION AND SOCIAL TECHNOLOGIES MIP-2019'SCT. Science Book Publishing House Yelm, WA, USA - 2019. Page 254.

3. UM10204 I2C-bus specification and user manual Rev. 6 — 4 April 2014 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf (Дата обращения: 26.01.2019)

4. Зотов, А.А. Схема и принцип работы помехозащищенной системы мониторинга вибраций/ А.А. Зотов//*Научное обозрение - 2019 -№3 – с. 41-45*

5. Толхэйзен Мария, Эрдманн Божена, Лелькенс Мари. Способ определения рабочего канала в сети связи, устройство с ограничением по энергии и устройство-посредник// Патент России №2 582 056 20.04.2016 Бюл. № 11

6. Arduino Nano [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://arduino.ru/hardware/arduinoboardnano (Дата обращения: 10.07.2019)

7. Datasheet. Digital Accelerometer. ADXL345. Analog Devices [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ Accelerometer/ADXL345.pdf (Дата обращения: 11.08.2019)

Моделирование оптических параметров гетероструктур с квантовыми точками InAs

Блохин Эдуард Евгеньевич
Федеральный исследовательский центр
Южный научный центр
Российской академии наук (ЮНЦ РАН)
344006 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41
holele@mail.ru

Ирха Владимир Александрович
Донской государственный технический
университет (ДГТУ),
344000 Россия, г. Ростов-на-Дону,
пл. Гагарина, 1
irkha.vladimir@gmail.com

Simulation parameters optical heterostructures with InAs quantum dots

Blokhin Eduard Evgenevich
Federal Research Center The Southern Scientific
Centre of The Russian Academy of Sciences (SSC
RAS) 344006, Rostov-on-Don, Chekhova str., 41
holele@mail.ru

Irkha Vladimir Aleksandrovich
Don State Technical University (DSTU)
344000 Russia, Rostov-on-Don,
Gagarina sq. 1
irkha.vladimir@gmail.com

Аннотация. **Разработана математическая модель для проведения имитационного моделирования оптических и функциональных характеристик гетероинтерфейсов InAs/GaAs с одним слоем квантовых точек InAs. Продемонстрировано наличие пика основных оптических переходов в квантовых точках при 1.2 эВ (моделирования) и 1.12 эВ (эксперимент). Экспериментальный пик фотолюминесценции имеет большую ширину (0.13 эВ) на половине максимума излучения основных переходов в квантовых точках, по сравнению с моделируемым (0.06 эВ). Наблюдается смещение экспериментального пика в длинноволновую область приблизительно на 65 мэВ, что говорит о наличие в реальном гетероинтерфейсе дисперсии по размерам квантовых точек. Моделируемое распределение темновой вольтамперной характеристики при температуре 90 К и нулевом смещении показывает значение плотности темнового тока 10^{-7} А/см^2, что на порядок меньше результатов измерения (10^{-6} А/см^2). Наблюдается различие в характере распределения зависимости при отрицательном и положительном смещении, связанное с присутствием квантовых точек большего размера.**

Ключевые слова: **фотодетекторы, квантовые точки, солнечные элементы, ионно-лучевое осаждение, ИК диапазон.**

Abstract. **A mathematical model for simulation of optical and functional characteristics of InAs/GaAs heterointerfaces with one layer of InAs quantum dots has been developed. The presence of the peak of the main optical transitions in quantum dots of 1.2 eV (modeling) and 1.12 eV (experimental) is demonstrated. The experimental photoluminescence peak has a greater width (0.13 eV) at half the maximum radiation of the main transitions in quantum dots compared to the simulated one (0.06 eV). A red shift of the experimental peak by approximately 65 meV is observed, which indicates the presence of a size variance of quantum dots in the real heterointerface. The modeled distribution of the dark current-voltage characteristic at 90 K and zero shift reveals the value of the dark current density of 10^{-7} A/cm^2, which is an order of magnitude less than the measurement results (10^{-6} A/cm^2). The difference in the pattern of dependence distribution at negative and positive bias associated with the presence of quantum dots of larger size is observed.**

Keywords: **photodetectors, quantum dots, solar cells, ion beam deposition, IR**

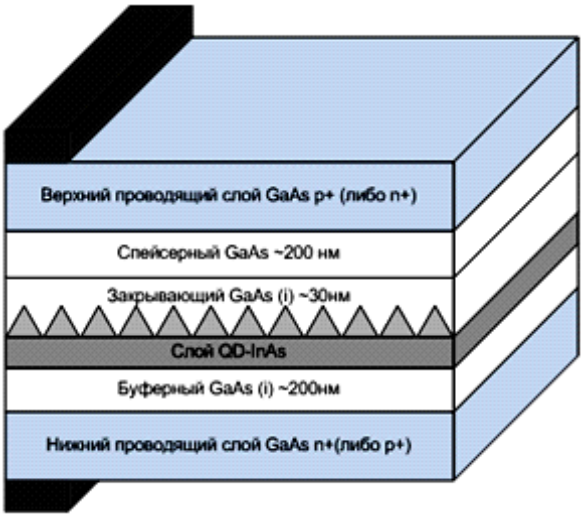
ВВЕДЕНИЕ

Современные устройства детектирования инфракрасного излучения, базирующиеся на соединениях III-V групп, имеют высокие показатели быстродействия, детектирующей способности, соотношения сигнал/шум и рабочей температуры по сравнению с классическими полупроводниками и соединениями II-VI

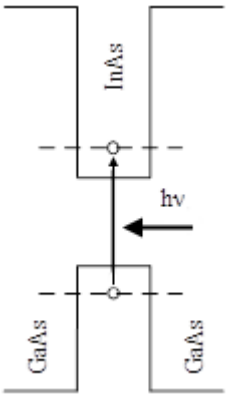
групп. В коротковолновой инфракрасной области (до 2 мкм) подобные структуры применяют для приборов ночного видения, датчиков газов и в волоконно-оптических линиях связи. Авторы работ [1-3] отмечают значение детектирующей способности структур на основе соединения InAs/GaAs порядка $D^* = 10^8$ см·Гц$^{1/2}$ при температурах 90 – 145 К. Данные структуры обладают рядом преимуществ по сравнению с полупроводниковыми детекторами, а именно, за счет введения квантоворазмерных объектов можно добиться высокого значения детектирующей способности $D^* = 10^8 - 10^{10}$ см·Гц$^{1/2}$ при рабочих температурах до 150 К [2-4] и эквивалентной мощности шума 10^{-13} Вт [2, 3]. Чувствительность по току превышает 10 А/Вт. За счет трехмерного ограничения, время жизни носителей заряда в возбужденном состоянии составляет 400 пс, что дает время отклика менее 1 мкс [5].

МОДЕЛЬ ГЕТЕРОИНТЕРФЕЙСА INAS/GAAS С ОДНИМ СЛОЕМ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

В качестве материала подложки использовался нелегированный GaAs с ориентацией (100). Затем следует проводящий слой того же материала толщиной 200 нм, легированный Te с концентрацией $3\cdot10^{17}$ см$^{-3}$ с подвижностью носителей заряда 8500 см^{2}В$^{-1}$с$^{-1}$ (для электронов) и 400 см^{2}В$^{-1}$с$^{-1}$ (для дырок). Далее идет буферный слой нелегированного GaAs (толщина порядка 200 нм). Слой квантовых точек расположен на смачивающем слое InAs толщиной 3 МС. Поверхностная плотность квантовых точек составляет 10^{10} см$^{-2}$ при латеральных размерах до 35 нм. Для упрощения процесса моделирования считаем, что квантовые точки в слое равномерны по размерам (отсутствие наноостровков более 35 нм). После слоя квантовых точек следует барьерный слой толщиной 30 нм. Завершает структуру верхний проводящий слой GaAs, легированный примесью цинка до концентрации $3\cdot10^{17}$ см$^{-3}$.



а)



б)

Рис. 1. а) имитационная модель гетероинтерфейса с одним слоем квантовых точек InAs, б) зонная диаграмма основных оптических переходов в квантовых точках

Прежде чем перейти к описанию основных уравнений модели необходимо сделать ряд допущений, связанных с различными подходами к моделированию структур на квантовых точках. Рассмотрим подробнее данные допущения:

1. Изучив ряд работ по раннему моделированию структур на квантовых точках [6-9], нами была выбрана пирамидальная форма квантовых точек в бесконечной полупроводниковой матрице (внешний покровный слой), так как данная форма легко поддается численному моделированию и не требует дополнительных вычислительных затрат.

2. Для моделирования структур с квантовыми точками необходимо производить расчет влияния деформации, так как силы упругой деформации влияют на структуру зон (в особенности на структуру потенциальной ямы образованной квантовой точкой), приводят к появлению пьезоэффекта и, при энергии сравнимой с энергией ширины запрещенной зоны узкозонного материала, приводят к изменению эффективной массы носителей заряда. Однако можно внести упрощение, приняв, что неоднородность деформации не вносит изменения в энергетический спектр электронных состояний, так как квантовые точки InAs являются центрами захвата электронов (в отличие от квантовых точек Ge в Si). Таким образом, можно считать, что силы упругой деформации распределены равномерно. Данное суждение справедливо только при квантовых точках имеющих плоскую форму (отношение высоты к латеральному размеру порядка 1/8, 1/9).

3. Многие работы по моделированию квантовых точек базируются на одночастичном представлении зонной структуры, для определения электронной структуры в квантовых точках [7, 8]. Существуют несколько методов расчета электронной структуры (метод эффективных масс, четырех, шести и восьми зонный k^xp метод, метод приближения сильной связи, метод псевдопотенциала), которые имеют как положительные, так и отрицательные моменты. Данные методы дают картину дискретных уровней внутри кванто-

вой ямы (для электронного состояния в зоне проводимости и нескольких состояний тяжелых и легких дырок в валентной зоне) и они необходимы для построения модели структуры с внутризонными переходами (средняя и дальняя ИК область). В нашей модели рассматриваются межзонные переходы, поэтому модель электронной структуры можно существенно сократить, приняв что квантовая точка содержит по одному дискретному уровню для каждой из разрешенных зон.

4. Определение разрешенных энергетических состояний сводится к решению уравнений Пуассона и Шредингера. При построении программы симуляции использовалась модель периодического потенциала Кронига-Пенни с учетом вклада влияния упругой деформации на эффективные массы носителей заряда.

5. При расчете спектров люминесценции будет использоваться основное уравнение для генерации носителей заряда с учетом квантования концентрации носителей заряда. Из трех основных механизмов рекомбинации учитываться будет только рекомбинация Шокли-Рида-Холла (поверхностная) и излучательная рекомбинация. Также в модели учитывается вклад туннелирования носителей через потенциальный барьер и термоэлектронной эмиссии.

6. В связи с упрошенной моделью построения зонной структуры, пренебрегаем кулоновским взаимодействием электронов в дискретных зонах и расщеплением валентной зоны на уровни тяжелых и легких дырок.

7. При моделировании взаимодействия температуры на спектр фотолюминесценции не учитывались следующие тепловые составляющие: изменение формы линий спектра фотолюминесценции за счет выброса носителей заряда из квантовой точки в смачивающий слой; уширение спектрального максимума, за счет неравномерности размеров квантовых точек. В нашей модели мы условно считаем, что массив квантовых точек равномерен по размерам и имеет плотность порядка 10^{10} см$^{-2}$

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ МОДЕЛИ ГЕТЕРОИНТЕРФЕЙСА INAS/GAAS

Основополагающими уравнениями фотопреобразовательных структур являются уравнение Пуассона и уравнение непрерывности. Для решения необходимо знание зонной структуры (расположение валентной зоны и зоны проводимости), которое получается решением уравнения Шредингера с участием эффективных масс носителей заряда (ниже выражения для электронов и дырок соответственно):

$$-\frac{h^2}{2}\nabla\frac{1}{m_n^*}\nabla\Psi_i + E_C\Psi_i = E_i\Psi_i \qquad (1)$$

$$-\frac{h^2}{2}\nabla\frac{1}{m_p^*}\nabla\Psi_j + E_V\Psi_j = E_j\Psi_j \qquad (2)$$

Стоит отметить, что уравнение для дырок будет иметь два решения (для тяжелых и легких дырок).

Для моделирования зонной структуры нашего соединения была взята модель периодического прямоугольного потенциала. Модель потенциала представляет собой решение уравнения Шредингера в виде двух трансцендентных уравнений вида:

$$\cos k(a+b) = \frac{Q^2 - K^2}{2QK}\sinh(Qb)\sin(Ka) + \cosh(Qb)\cos(Ka) \qquad (3)$$

$$E < V_0$$

$$\cos k(a+b) = -\frac{\beta^2 - K^2}{2\beta K}\sin(\beta b)\sin(Ka) + \cos(\beta b)\cos(Ka) \qquad (4)$$

$$E > V_0$$

где K, Q, β – локальные волновые векторы:

$$K^2 = \frac{2mE}{h^2} \qquad V = 0\ \forall E \qquad (5)$$

$$Q^2 = \frac{2m(V_0 - E)}{h^2} \qquad V = V_0\ E < V_0 \qquad (6)$$

$$\beta^2 = \frac{2m(E - V_0)}{h^2} \qquad V = V_0\ E > V_0 \qquad (7)$$

Энергия определяется через волновой вектор функции Блоха:

$$E(k) = \frac{h^2k^2}{2m} \qquad (8)$$

Введем параметры m_w и m_b соответствующие значениям эффективной массы в районе ямы и барьера соответственно для учета эффективной массы на изменение массы носителей заряда. Таким образом, выражения для волновых функций перепишутся как:

$$\Psi = Ae^{iKx} + Be^{iKx} \qquad 0 < x < a \qquad (9)$$

$$\Psi = Ce^{Kx} + De^{Kx} \qquad -b < x < 0 \qquad (10)$$

Преобразованные выражения для волновых векторов:

$$K^2 = \frac{2m_wE}{h^2} \qquad (11)$$

$$Q^2 = \frac{2m_b(V_0 - E)}{h^2} \qquad (12)$$

При стандартном граничном условии $x = 0$ получаем равенство коэффициентов $A + B = C + D$. Условие непрерывности волновой функции с учетом эффективной массы запишется как $(m^*)^{-1}\, d\Psi/dx$, что дает:

$$i\frac{KA}{m_w} - i\frac{KB}{m_w} = \frac{QC}{m_b} - \frac{QD}{m_b} \qquad (13)$$

Выражения для волновых функций в интервале $a < x < a + b$ и теорема Блоха дают следующее равенство:

$$\Psi(a < x < a + b) = \Psi(-b < x < 0)e^{ik(a+b)} \qquad (14)$$

Применяя граничное условие $x = a$ получаем:

$$Ae^{iKa} + Be^{-iKa} = Ce^{-Qb}e^{ik(a+b)} + De^{Qb}e^{ik(a+b)} \quad (15)$$

$$i\frac{KA}{m_w}e^{iKa} - i\frac{KB}{m_w}e^{-iKa} = \frac{QC}{m_b}e^{-Qb}e^{ik(a+b)} - \frac{QD}{m_b}e^{Qb}e^{ik(a+b)} \quad (16)$$

Равенство коэффициентов $A + B = C + D$, уравнения (13), (15) и (16) представляют собой четыре уравнения с четырьмя неизвестными. Для решения данной системы уравнений применяется нетривиальный способ, при котором отпадает необходимость определения неизвестных коэффициентов.

$$\cos k(a+b) = \frac{Q^2m_w^2 - K^2m_b^2}{2QKm_wm_b}\sinh(Qb)\sin(Ka) + \cosh(Qb)\cos(Ka) \quad (17)$$

Для условия $E > V_0$, волновые функции из выражений (9) и (10) дополняются выражением для новой волновой функции в регионе потенциала $-b < x < 0$:

$$\Psi = Ce^{i\beta x} + De^{-i\beta x} \qquad -b < x < 0 \quad (18)$$

где β – волновой вектор из модифицированного выражения (7):

$$\beta^2 = \frac{2m_b(E - V_0)}{h^2} \quad (19)$$

Выражение для волновой функции (18) удовлетворяет теореме Блоха и может быть подставлена в выражение (14) при следующих граничных условиях:

$$A + B = C + D$$
$$\frac{KA}{m_w} - \frac{KB}{m_w} = \frac{QC}{m_b} - \frac{QD}{m_b}$$
$$Ae^{iKa} + Be^{-iKa} = Ce^{-i\beta b}e^{ik(a+b)} + De^{i\beta b}e^{ik(a+b)}$$
$$\frac{KA}{m_w}e^{iKa} - \frac{KB}{m_w}e^{-iKa} = \frac{QC}{m_b}e^{-i\beta b}e^{ik(a+b)} - \frac{QD}{m_b}e^{i\beta b}e^{ik(a+b)} \quad (20)$$

При этом решение уже не будет содержать неопределенных коэффициентов и запишется как:

$$\cos k(a+b) = -\frac{\beta^2m_w^2 + K^2m_b^2}{2\beta Km_wm_b}\sinh(\beta b)\sin(Ka) + \cosh(\beta b)\cos(Ka) \quad (21)$$

Для моделирования спектров фотолюминесценции и эффективности преобразования излучения нами были выбраны стандартные выражения для излучательного потока и внешнего квантового выхода [10].

$$EQE = \left(\frac{1/\tau_{es}}{1/\tau_{es} + 1/\tau_{nr} + 1/\tau_r + \tau_{ex}}\right) \quad (22)$$

$$I_{PL} = n(T,x)\left(\frac{1/\tau_r}{1/\tau_{es} + 1/\tau_{nr} + 1/\tau_r + \tau_{ex}}\right) \quad (23)$$

где $1/\tau_{ex}$ - характеризует механизм перехода носителей заряда из зоны проводимости, в нашей модели выражен через туннельный эффект и термоэлектронную эмиссию; $1/\tau_r$ - учитывает вклад излучательной рекомбинации; $1/\tau_{nr}$ - вклад безызлучательной рекомбинации; $1/\tau_{ex}$ - вклад перехода носителей заряда на другие дискретные энергетические уровни в рамках одной потенциальной ямы (в данной модели не учитывается).

Для учета вклада термоэлектронной эмиссии воспользуемся моделью, описанной в [11] с некоторыми модификациями. Выражения для плотностей носителей заряда:

$$J_n = qv_n(1+\delta)\left(n_2 - n_1e^{-\Delta E_C/kT}\right) \quad (24)$$

$$J_p = -qv_p(1+\delta)\left(p_2 - p_1e^{-\Delta E_V/kT}\right) \quad (25)$$

где δ - коэффициент термоэлектронной эмиссии, v_n и v_p - скорости теплового движения электронов и дырок соответственно, ΔE_C и ΔE_V - различия энергий в зоне проводимости и валентной зоне. Тепловые скорости носителей определяются следующими выражениями:

$$v_n = \frac{A_n^*T^2}{qN_C} \qquad v_p = \frac{A_p^*T^2}{qN_V} \quad (26)$$

где A – константа Ричардсона:

$$A_n^* = \frac{4\pi qk^2m_n^*}{h^3} \qquad A_p^* = \frac{4\pi qk^2m_p^*}{h^3} \quad (27)$$

Коэффициент термоэлектронной эмиссии:

$$\delta = \frac{1}{kT}\int_{E_m}^{E_{C(0)}} dE\exp\left(\frac{E_C(0) - E}{kT}\right) * \exp\left(-\frac{2}{\hbar}\int_0^{x_E} dx\sqrt{2m_n^*(E_C(0) - E(x))}\right) \quad (28)$$

где $E_C(0)$ - энергия в начальной точке потенциала, $E_m = \max[E_C(0), E_C(W)]$ - максимальное значение энергии на всей ширине барьера (W).

Рекомбинация по модели Шокли-Рида-Холла учитывает ловушки захвата носителей заряда вблизи разрешенных зон. Обозначим через N_t плотность ловушек захвата, имеющих энергию E_t в пределах ширины запрещенной зоны. В этом случае скорость рекомбинации будет иметь вид:

$$R_{SRH} = \frac{\sigma_n\sigma_pv_nN_t(np - n_i^2)}{\sigma_n(n + n_ie^{(E_t - E_i)/kT}) + \sigma_p(p + n_ie^{(E_i - E_t)/kT})} \quad (29)$$

где сечения захвата заряженных ловушек σ_n и нейтральных ловушек σ_p, n_i - собственная концентрация носителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдается три основных спектральных пика в диапазоне энергии 0.9 – 1.5 эВ. Первый пик соответствует межзонным переходам через основные состояния в зоне проводимости и валентной зоне квантовых точек InAs (1.12 эВ – измеренный пик, 1.17 эВ – моделируемый пик). Видно, что интенсивность измеренного пика фотолюминесценции ниже, полученного моделированием. Кроме рассматриваемых межзонных переходов, на спектр фотолюминесценции реальной гетероструктуры могут оказывать влияние внутризонные переходы (релаксация электронов), что приводит к уменьшению интенсивности пика. Малую интенсивность экспериментального пика можно также объяснить влиянием безызлучательных переходов. Моделируемый пик основных переходов в квантовых точках имеет ширину на половине максимума излучения 0.06 эВ, что меньше соответствующего значения экспериментального пика (приблизительно 0.13 эВ). Имеется смещение экспериментального пика в длинноволновую область спектра на 65 мэВ, что говорит о вкладе квантовых точек большего размера (дисперсия размеров). В модели же весь массив точек принимался равномерным по размерам (35 нм).

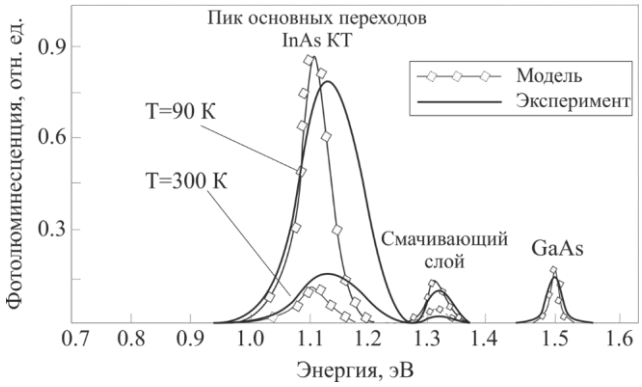


Рис. 2. Спектр фотолюминесценции гетероинтерфейса InAs/GaAs с одним слоем квантовых точек

С возрастанием по энергии наблюдается пик смачивающего слоя (1.35 эВ). Для моделирования пика смачивающего слоя был взят раствор $Ga_xIn_{1-x}As$ с массовой долей In 35%. Как видно из рис. 2 экспериментальный и моделируемый пики смачивающего слоя имеют хорошее согласование по энергии, расхождение составляет приблизительно 30 мэВ. Последний пик графика (1.5 эВ) соответствует краю собственного поглощения в слое GaAs.

На рис. 3 представлены графики темновых вольтамперных характеристик (ВАХ) структуры от напряжения смещения в диапазоне -1.5 – 1.5 В. Измерения ВАХ проводились при помощи измерителя иммитанса Е7-20, соединенного с ртутным зондом MDC 802B-150 при температуре 90 К. Значения плотности темнового тока при минимальной температуре и нулевом смещении составили 10^{-6} А/см^2 для измеренной характеристики, и 10^{-7} А/см^2 для моделируемой. В модели темновой ток ограничивался только механизмом туннелирования носителей заряда через барьер и вкладом термоэлектронной эмиссии. Из полученных результатов видно, что у реальной структуры значение темнового тока на порядок выше.

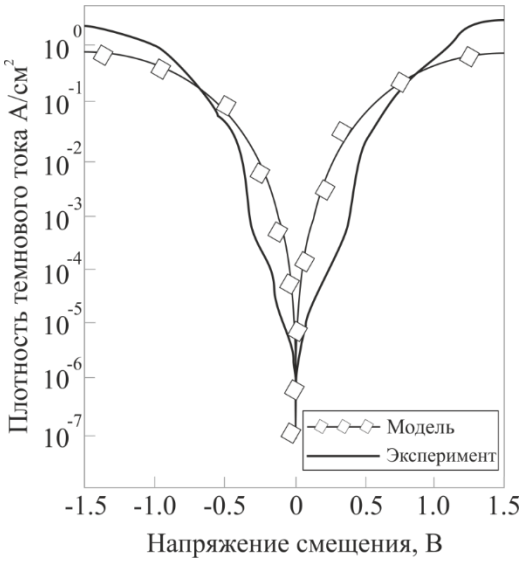


Рис. 3. Темновые вольтамперные характеристики гетероинтерфейса InAs/GaAs с одним слоем квантовых точек при температуре 90 К

Это может быть связано с влиянием напряженных дефектов в слое квантовых точек и внешнего электрического поля (например, приложенного во время измерения характеристики). При увеличении смещения, как в прямую, так и в обратную сторону, наблюдается резкое увеличение плотности темнового тока, что говорит об уменьшении потенциального барьера для заполненных квантовых состояний в КТ. При увеличении температуры характеристика существенно деградирует, так как к туннельному эффекту добавляется вклад термоэлектронной эмиссии. Измеренная характеристика имеет существенную асимметрию по положительному и отрицательному смещению, в отличие от результатов численного моделирования. Это может быть объяснено наличием квантовых точек большего размера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

В работе представлены результаты расчетов и измерений спектров фотолюминесценции и темновых вольтамперных характеристик гетероструктуры InAs/GaAs с одиночным слоем квантовых точек InAs, полученной методом ионно-лучевого осаждения, для фотодетекторов ближнего ИК диапазона. Разработанная модель межзонных переходов позволила исследовать фотолюминесценцию и провести сравнение с экспериментальными данными. Показано отклонение измеренного пика основных переходов в квантовых точках в длинноволновую область спектра на 65 мэВ (1.17 эВ). Измеренное значение плотности темнового тока (10^{-6} А/см^2) на порядок выше рассчитанного (10^{-7} А/см^2), что связанно с наличием напряженных дефектов на границе с барьерным слоем, и влиянием внешнего воздействия (электрическое поле при изме-

рении, тепловые флуктуации). Наблюдается асимметрия экспериментальных кривых темнового тока при положительном и отрицательном смещении.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках научной задачи № СП-1046.2019.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brandon, S. Room Temperature Near-Infrared Photoresponse Based on Interband Transitions in In0.35Ga0.65As Multiple Quantum Dot Photodetector / S. Brandon, Jiang Wu, M. O. Manasreh, Vasyl P. Kunets, P. M. Lytvyn, G. J. Salamo // IEEE Electron device letters. – 2008. – Vol. 29. – № 3. – P. 224-227.

2. Jiang, Wu. Intersubband Transitions in Quantum Wells Infrared Photodetector / Wu Jiang, P. Brandon, M. Omar // IEEE Region 5 Technical Conference. – 2007. – Vol. 7. – P. 49-52.

3. Антонов, А.В. Фотопроводимость структур InAs/GaAs с нанокластерами InAs в ближнем инфракрасном диапазоне / А.В. Антонов, Н.В. Востоков, М.Н. Дроздов, Л.Д. Молдавская В.И. Шашкин, О.И. Хрыкин, А.Н. Яблонский // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44. – Вып. 11. – С. 1511-1513.

4. Карпович, И.А. Управление энергетическим спектром квантовых точек InAs/GaAs изменением толщины и состава тонкого двойного покровного слоя GaAs/InGaAs / И.А. Карпович, Б.Н.Звонков, С.Б.Левичев, Н.В.Байдусь, С.В.Тихов, Д.О. Филатов, А.П. Горшков, С.Ю. Ермаков // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38. – Вып. 4. – С. 448-454.

5. S.Y. Wang. High performance InAs/GaAs quantum dot infrared photodetectors with AlGaAs current blocking layer / S.D. Lin, H.W.Wu, C.P.Lee // Infrared Physics & Technology. – 2001. – Vol. 42. – P. 473-477.

6. Zhengmao, Y. High-Performance InAs/GaAs Quantum Dots Infrared Photodetector With/Without $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ Blocking Layers / Zhengmao Ye, C. Campbell Joe // Materials Research Society. – 2002. – Vol. 692. – P. 461-466.

7. Wang, S. Y. Low dark current quantum-dot infrared photodetectors with an AlGaAs current blocking layer / S. Y. Wang, S. D. Lin, H. W. Wu, and C. P. Lee // Applied physics letters. – 2001. – Vol. 78. – № 8. – P. 1023-1025.

8. Malyshev, S. InGaAs/InP p–i–n photodiodes as efficient microwave generators / S. Malyshev, A. Chizh, Y. Vasileuski // Proceedings of EuMA. – 2007. – Vol. 3, №3. – P. 235-241.

9. Malyshev, S. High-power InGaAs/InP partially depleted absorber photodiodes for microwave generation / S. Malyshev, A. Chizh, Y. Vasileuski // Journal of Lightwave Technology. – 2008. – Vol. 26, №15. – P. 2732-2739.

10. Nozik, A. J. Quantum dot solar cells / A. J. Nozik // Physica E. – 2002. – Vol. 14. – № 1–2. – P. 115–120.

11. Gambaryan, K.M. E.P.O' Reilly Proc. / K.M. Gambaryan, V.M. Aroutiounian, V.G. Harutyunyan, O. Marquardt // Villa Conference on Energy, Materials and Nanotechnology (VCEMN-2011). – 2011. – P. 260.

Исследование оптических свойств гетероструктур с квантовыми точками InAs, полученных ионно-лучевым напылением

Блохин Эдуард Евгеньевич
Федеральный исследовательский центр
Южный научный центр
Российской академии наук (ЮНЦ РАН)
344006 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41
holele@mail.ru

Ирха Владимир Александрович
Донской государственный технический
университет (ДГТУ),
344000 Россия, г. Ростов-на-Дону,
пл. Гагарина, 1
irkha.vladimir@gmail.com

Investigation of the optical properties of hetero structures with InAs quantum dots obtained by ion-beam sputtering

Blokhin Eduard Evgenevich
Federal Research Center The Southern Scientific
Centre of The Russian Academy of Sciences (SSC
RAS) 344006, Rostov-on-Don, Chekhova str., 41
holele@mail.ru

Irkha Vladimir Aleksandrovich
Don State Technical University (DSTU)
344000 Russia, Rostov-on-Don,
Gagarina sq. 1
irkha.vladimir@gmail.com

Аннотация. **Методом ионно-лучевой эпитаксии получены гетероструктуры с массивом квантовых точек InAs заключенных барьерными слоями GaAs. Толщина барьерных слоев не превышала 30 нм. Показано, что метод позволяет получать квантовые точки с латеральными размерами до 50 нм. при высоте 10 нм. Получен массив квантовых точек плотностью 10^9 см$^{-2}$. Исследования фотолюминесценции показали пики основных переходов для квантовых точек в диапазоне 1.1 эВ (1150 нм) для образцов с GaAs барьером. Данные области соответствуют ближнему ИК-диапазону. Ширина основного пика образцов составила порядка 0.2-0.25 эВ, что, вероятно, связано с дисперсией размеров квантовых точек. Темновые вольтамперные характеристики структур показали значение плотности темнового тока порядка 10^{-6} А/см^2 при температуре 90 К. Отмечалась асимметрия кривых темнового тока при положительном и отрицательном смещении. Для образцов наблюдалась деградация характеристик с ростом температуры. При увеличении рабочей температуры до комнатной, значение плотности темнового тока колебалось от 10^{-1} А/см^2 до 10^{-2} А/см^2.**

Ключевые слова: **фотодетекторы, квантовые точки, солнечные элементы, ионно-лучевое осаждение, ИК диапазон.**

Abstract. **In this paper, we investigate heterostructures with an array of InAs quantum dots encapsulated by GaAs barrier layers obtained by ion-beam epitaxy. The thickness of the layers was less than 30 nm. It is shown that this technique allows to obtain quantum dots with lateral dimensions up to 50 nm with a height of 10 nm. The density of the obtained array of quantum dots was 10^9 cm^{-2}. The studies performed using photoluminescence methods revealed the peaks of the main transitions for quantum dots at 1.1 eV (1150 nm) for samples with GaAs barrier, which corresponds to the near-infrared. The width of the main peak of the samples was about 0.2-0.25 eV, which is associated with the dispersion of quantum dots sizes. Dark current-voltage characteristics of the structures proved that the value of dark current density at 90 K is about 10^{-6} A/cm^2. The asymmetry of the dark current curves at positive and negative shifts is determined. The samples also showed that an increase of temperature leads to degradation of characteristics. When the operating temperature rises to 300 K, the density of the dark current changes in the range from 0.1 to 0.01 A/cm^2**

Keywords**: photodetectors, quantum dots, solar cells, ion beam deposition, IR**

ВВЕДЕНИЕ

К современным фотодетекторам предъявляется ряд требований, а именно, быстродействие, минимальные внутренние шумы, высокие рабочие температуры, хорошая детектирующая способность. На данный момент перспективными и отвечающими требованиям являются фотодетекторы QDIP (с квантовыми точками) и QWIP (с квантовыми ямами) на основе многокомпонентных твердых растворов A3B5 [1]. Локализация фотогенерированных электронов в квантовой точке по трем направлениям способствует уменьшению термоэлектронной генерации и темнового тока [1]. Создание наногетероструктур A3B5 с квантовыми точками дало толчок развитию высокоэффективных инжекционных полупроводниковых лазеров [2], солнечных элементов [3] и фотодиодов [4]. Выращивание самоорганизованных КТ происходит в режиме Странского-Крастанова, когда нижний смачивающий подложку слой является упруго-напряженным. Для таких условий роста гетеропара InAs/GaAs является идеальной. Однако, с точки зрения технологии, имеет ограничения при использовании в фотодетекторах инфракрасного излучения. Наиболее часто используемыми методами выращивания фотодетектирующих структур являются молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) и газофазная эпитаксия (MOCVD) [2-8]. Недостатки этих методов в высокой стоимости и технологической сложности оборудования. Предметом данной работы является получение гетероструктур с массивом квантовых точек InAs методом ионно-лучевого осаждения (ИЛО). Данный метод позволяет получать эпитаксиальные слои [9-10] и квантовые точки [11-13] сложных полупроводниковых соединений высокого качества и плотности. К преимуществам данного метода можно отнести простоту аппаратного оформления и отсутствие дорогостоящего оборудования по сравнение с МЛЭ и MOCVD. Дополнительно метод ИЛО позволяет проводить процессы ионного травления перед кристаллизацией полупроводниковых гетерострутктур, что положительно сказывается на их качестве.

ЭКСПЕРИМЕНТ

При получении гетероструктур с квантовыми точками использовались мишени монокристаллического GaAs и InAs. Мишени нижнего n^+ проводящего материала содержали примесь теллура с концентрацией $3\cdot10^{17}$ см$^{-3}$. Для верхнего проводящего слоя мишени были легированы примесью цинка до концентрации $3\cdot10^{17}$ см$^{-3}$. Мишени закрывающих слоев и матриц для массива квантовых точек не содержали легирующие примеси. Толщина нижнего проводящего слоя составляла 200 нм, спейсерного слоя – 180 нм, верхнего проводящего слоя – 200 нм, барьерного слоя – 30 нм и 50 нм. Температура подложки перед очисткой составляла 450 °С. Отжиг образцов проводился при температуре 550 °С. Для выращивания гетероинтерфейсов с квантовыми точками требуется постоянный контроль роста слоев, малые скорости роста и малый коэффициент распыления. Добиться малого коэффициента распыления возможно, уменьшая энергию ионного пучка. Однако, при этом стоит брать во внимание изменение геометрии системы «пучок-мишень-подложка». Установлено, что при энергии ионного пучка E_{Ar} = 180 эВ (коэффициенты распыления составили 0,4 для GaAs и 0,5 для InAs), ток ионного пучка I_{Ar} = 140 мкА. При данных параметрах ионного пучка, минимальный коэффициент потери ростового вещества достигался при угле наклона источника к мишени – 55 градусов. Напряжение на блоке управления катодом составляло 190 В, на блоке ионного пучка 110 В. Параметры блока управления разрядом: U = 60 В, I = 0,5 А. Данные условия позволили достигнуть нижнего предела управления скоростью роста – 0,7 нм/с.

При нанесении проводящего и буферного слоев температура подложки составляла 500 °С. Перед нанесением слоя InAs температура понижалась до 480 °С. При выбранной скорости роста, смачивающий слой InAs сформировался за 40 секунд (по механизму Странского-Крастанова). Смачивающий слой, как правило, содержит ранние центры образования точек. Дальнейшее напыления InAs в течение 125 с позволяет сформировать островки квантовых точек необходимой плотности по механизму Странского—Крастанова.

На финальной стадии формирования островков, полученный слой необходимо «закрыть» барьерным слоем для получения поля упругих деформаций. Для осаждения барьерного слоя использовались монокристаллические мишени нелигированного GaAs. Осаждение барьера происходило при следующих технологических параметрах: энергия ионного пучка E_{Ar} = 280 эВ, ток ионного пучка I_{Ar} = 500 мкА, угол наклона мишени к источнику – 65°, температура подложки – 490 °С, скорость роста – 2 нм/с.

Исследования морфологии и элементного состава, полученных гетероструктур с квантовыми точками, проводились на сканирующем высоковакуумном атомно-силовом микроскопе NT-MDT Solver HV (Россия) и растровом двухлучевом электронном микроскопе высокого разрешения с катодом Шоттки Zeiss CrossBeam 340 (Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что при напылении InAs в течение 40с (рис. 1a) наблюдается появление первых наноостровков малых размеров и с большим разбросом по поверхности образца. Дальнейшее напыление активного материала (рис. 1b) приводит к образованию трехмерных островков нанометровой величины (квантовые точки). Образование квантовых точек происходит благодаря появлению поля сил упругой деформации. За счет разницы постоянной решетки активного материала и материала подложки возникают упругие напряжения, повышающие внутреннюю энергию системы. Для достижения равновесия системе энергетически выгодно перейти к механизму островкового роста с увеличением толщины смачивающего слоя.

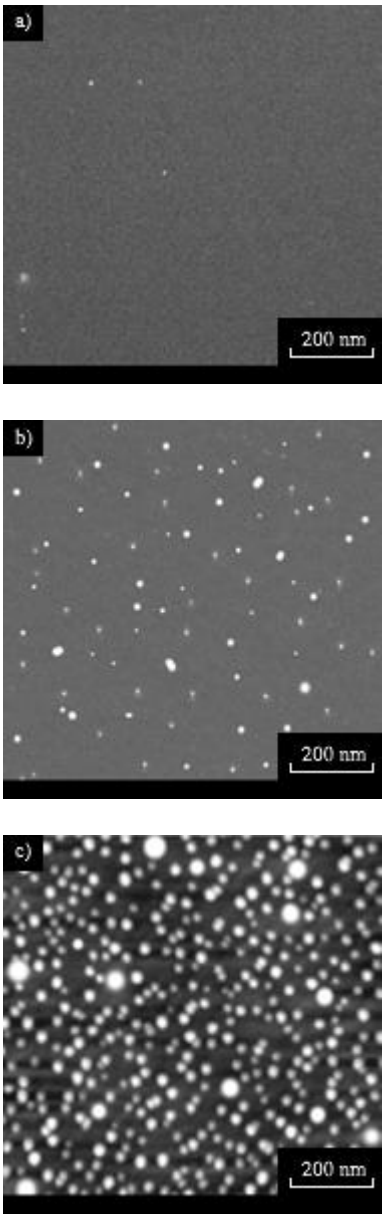


Рис. 1. Результаты АСМ исследований при времени осаждения InAs a) 40 сек., b) 70 сек., c) 125 сек.

При напылении InAs в течение 70 с плотность квантовых точек остается недостаточной для технологического применения. Для достижения большей плотности квантовых точек было увеличено время осаждение InAs (рис. 1c). Двухминутное напыление приводит к развитию формы точек и получению массива плотностью ~10^{10} см$^{-2}$. Дальнейшее напыление активного материала сопровождается развитием формы точек и возникновению высокой дисперсии по размерам. Проведенные АСМ исследования показывают, что наилучшими условиями для роста квантовых точек InAs являются: температура подложки 480 ^{o}C, время осаждения InAs – 125 секунд.

Анализ статистических данных по поверхности позволил определить, что большая часть нанокластеров InAs имеют размеры менее 50 нм, однако на поверхности также присутствуют островки большего размера (более 50 нм), что говорит о некоторой неоднородности. Ниже на рис. 2 представлен график распределения плотности квантовых точек по латеральным размерам на рассматриваемом участке 10x10 мкм. Как видно из гистограммы, плотность квантовых точек на исследуемом участке составила порядка 10^3 штук/мкм^2, что соответствует плотности порядка 10^9 см$^{-2}$.

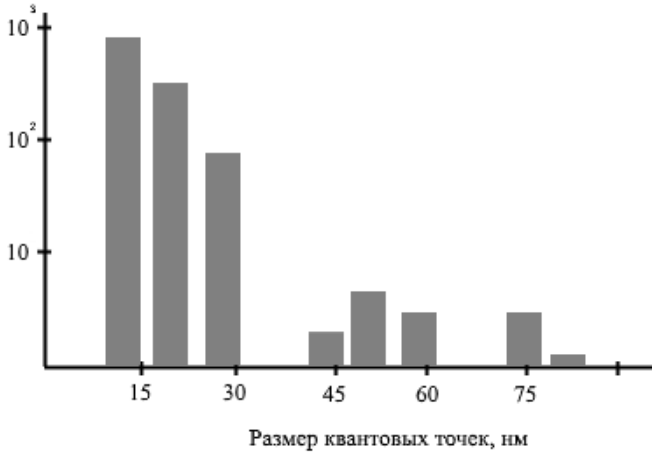


Рис. 2. Гистограмма размерности квантовых точек InAs

Полученные результаты морфологии поверхности образцов совпадают с работами сторонних исследований по данной тематике [18-20].

На рис. 3 изображены спектры фотолюминесценции, полученные для образцов с барьерными слоями GaAs. Образцы дают пик основных переходов в КТ при 1.12 эВ, что соответствует λ = 1.2 мкм. Большая ширина основного пика связана с дисперсией размеров квантовых точек. При толщине барьерного слоя 30 нм, все квантовые точки находятся в электростатическом поле этого барьера, которое обеспечивает эмиссию возбужденных электронов с уровней КТ в матрицу гетероструктуры по двум основным механизмам: надбарьерная тепловая эмиссия и туннелирование. При уменьшении толщины барьера можно наблюдать смещение основного пика в длинноволновую область спектра. Однако, при нанесении тонкого покровного слоя, длинноволновое смещение пропадает, что, скорее всего, связано с вкладом сил упругой деформации в массиве квантовых точек.

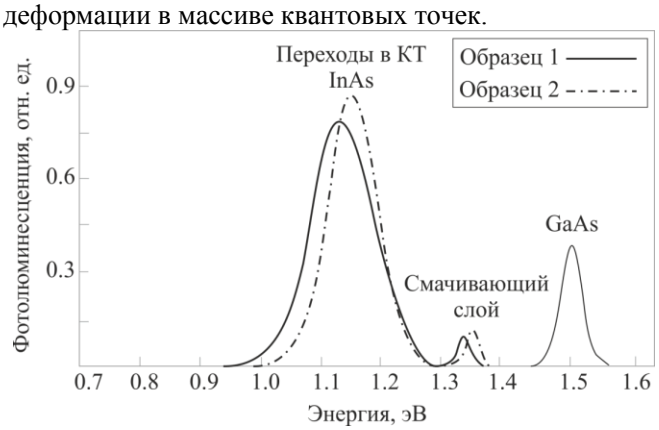


Рис. 3. Фотолюминесценция образцов с квантовыми точками InAs и барьерными слоями GaAs при различном технологическом режиме

Второй по интенсивности пик смещен в коротковолновую область спектра 1.3 эВ (λ = 953 нм). Данный пик характеризует излучательные переходы в смачивающем слое. После нанесения барьерного слоя на массив квантовых точек, смачивающий слой меняет свой состав и представляет собой раствор $Ga_xIn_{1-x}As$. Данный пик с длиной волны 953 нм соответствует 35% содержанию индия в растворе

Последний пик графика (1,5 эВ, 890 нм) соответствует краю собственного поглощения в слое GaAs. Данный пик не имеет высокой интенсивности, так как довольно малая часть излучения доходит до этой области структуры.

На рис. 4 представлена зависимости плотности темнового тока для образцов с барьерами GaAs. Характерна асимметрия кривых темнового тока при положительном и отрицательном смещении. Это связано в первую очередь с асимметрией размеров квантовых точек. При малом смещении возрастает число заполненных электронами состояний в квантовых точках. Когда большая часть состояний заняты, увеличение темнового тока не наблюдается.

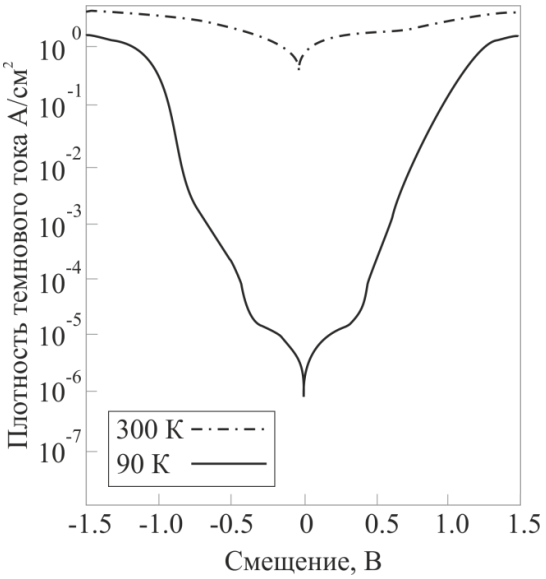


Рис. 4. Плотность темнового тока образцов с GaAs барьерным слоем

Дальнейшее увеличение смещения приводит к уменьшению барьера и к экспоненциальному увеличению темнового тока. При нулевом смещении плотность темнового тока структуры с GaAs барьером составляет 10^{-6} А/см^2 (при температуре 90 К). При увеличении смещения до 0.8 В, значение темнового тока возрастает на три порядка (10^{-3} А/см^2). Дальнейшее смещение приводит к увеличению темнового тока до 10^0 А/см^2, после чего внешнее напряжение не влияет на характеристику. При температуре 90 К, вклад в темновой ток вносит только туннельный эффект. При увеличении температуры, значение темнового тока возрастает, за счет вклада термоэлектронной эмиссии. Из графика видно, что при комнатной температуре (300 К) значение темнового тока порядка 10^{-1} А/см^2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

В работе продемонстрирована возможность получения фотодетектирующих гетероструктур InAs/GaAs с квантовыми точками методом ионно-лучевого осаждения. Проведенные исследования морфологии поверхности образцов с помощью АСМ и РЭМ, показали наличие квантовых точек InAs с латеральными размерами до 50 нм, высотой порядка 10 нм с плотностью 10^9 см$^{-2}$.

Выполненные исследования темновых ВАХ показали, что в структурах с барьерным слоем GaAs величина плотности темнового тока 10^{-6} А/см^2 при температуре 90 К. Замечено резкое увеличение плотности темнового тока до значений 10^{-1} А/см^2 при температуре 300 К. Обнаружены пики фотолюминесценции для основных переходов в массиве квантовых точек InAs 1.1 эВ (для барьера GaAs). Установлено, что для смещения спектра в длинноволновую область необходимо использовать барьеры меньшей толщины. Полученные результаты фотолюминесценции и зависимостей плотности темнового тока, показывают возможность применения используемых гетероструктур для фотодетекторов ближнего ИК-диапазона.

Выявлено, что для достижения плотностей темнового тока менее 10^{-8} А/см^2 следует увеличивать количество слоев КТ InAs, и уменьшать толщины барьерных и покровных слоев, выращиваемых гетероструктур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках научной задачи № СП-1046.2019.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sanchez, T.G. Electron Transport in InP under High Electric Field Conditions / T.G. Sanchez, J.E.V. Perez // Semiconductor Science and Technology. – 1992. – Vol. 7. – № 1. – P. 31-36.

2. Lin, C.F. Optical components for communications principles and applications / C.F. Lin. – Berlin: Springer, 2004. – 278 p.

3. Jifeng, Liu. High-performance, tensile-strained Ge *p-i-n* photodetectors on a Si platform / Liu Jifeng, Jurgen Michel, Wojciech Giziewicz, Dong Pan, Kazumi Wada, D. Cannon Douglas, Samerkhae Jongthammanurak, T. Danielson David, C. Kimerling Lionel // Applied physics letters. – 2005. – № 87. – P. 103501 (1-3).

4. Samavedam, S. B. High-quality germanium photodiodes integrated on silicon substrates using optimized relaxed graded buffers / S. B. Samavedam, M. T. Currie, T. A. Langdo, and E. A. Fitzgerald // Appl. Phys. Lett. – 1998. – Vol. 73. – № 15. – P. 2125-2127.

5. Koester, S. J. Germanium-on-SOI infrared detectors for integrated photonic applications / S. J. Koester, J. D. Schaub, G. Dehlinger, and J. O. Chu // IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron. – 2006. – Vol. 12. – № 6. – P. 1489.

6. Fama, S. High performance germanium-on-silicon detectors for optical communications / S. Fama, L. Colace,

G. Masini, G. Assanto, and H. C. Luan // Appl. Phys. Lett. – 2002. – Vol. 81. – P. 586-588.

7. Ang, K. Novel silicon-carbon (Si: C) Schottky barrier enhancement layer for dark-current suppression in Ge-on-SOI MSM photodetectors / K. Ang, S. Zhu, J. Wang, K. Chua, M. Yu, G. Lo, D. Kwong // IEEE Electron. Dev. Lett. – 2008. – Vol. 29. – P. 704-707.

8. Liu, J. High-performance, tensile-strained Ge *p-i-n* photodetectors on a Si platform / J. Liu, J. Michel, W. Giziewicz, D. Pan, K. Wada, D. D. Cannon, S. Jongthammanurak, D. T. Danielson, L. C. Kimerling, J. Chen, F. O. Ilday, F. X. Kartner, J. Yasaitis // Appl. Phys. Lett. – 2005. – Vol. 87. – P. 103501.

9. Oehme, M. High bandwidth Ge *p-i-n* photodetector integrated on Si / M. Oehme, J. Werner, E. Kasper, M. Jutzi, M. Berroth // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol. 89. – P. 071117.

10. Morse, M. Performance of Ge-on-Si *p-i-n* photodetectors for standard receiver modules / M. Morse, O. Dosunmu, G. Sarid, and Y. Chetrit // IEEE Photon. Tech. Lett. – 2006. – Vol. 18. – P. 2442-2444.

11. Huang, Z. 21-GHz-bandwidth germanium-on-silicon photodiode using thin SiGe buffer layers / Z. Huang, N. Kong, X. Guo, M. Liu, N. Duan, A. L. Beck, S. K. Banerjee, and J. C. Campbell // IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron. – 2006. – Vol. 12. – P. 1450-1454.

12. Colace, L. Ge on Si *p-i-n* photodiodes operating at 10 Gbit/s / L. Colace, M. Balbi, G. Masini, G. Assanto, H. C. Luan, L. C. Kimerling // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol. 88. – № 10. – P. 101111.

13. Loh, T. H. Selective epitaxial germanium on silicon-on-insulator high speed photodetectors using low-temperature ultrathin Si0.8Ge0.2 buffer / T. H. Loh, H. S. Nguyen, R. Murthy, M. B. Yu, W. Y. Loh, G. Q. Lo, N. Balasubramanian, D. L. Kwong, J. Wang and S. J. Lee // Appl. Phys. Lett. – 2007. – Vol. 91. – P. 073503.

14. Klinger, S. Ge-on-Si *p-i-n* photodiodes with a 3-dB bandwidth of 49 GHz / S. Klinger, M. Berroth, M. Kaschel, M. Oehme, and E. Kasper // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2009. – Vol. 21. – № 13. – P. 920-922.

15. Suh, D. 36-GHz high-responsivity Ge photodetectors grown by RPCVD / D. Suh, S. Kim, J. Joo, and G. Kim // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2009. – Vol. 21. – № 13. – P. 672-674.

16. Bazalevsky, M.A. Photosensitive AlGaAs/GaAs Structures Grown by Molecular Beam Epitaxy / M.A. Bazalevsky, G.I. Koltsov, S.I. Didenko // Journal of nano- and electronic physics. – 2014. – Vol. 6. – № 3. – P. 03019.

17. Bora, M. Onat. Ultra-Low Dark Current InGaAs Technology for Focal Plane Arrays for Low-Light Level Visible-Shortwave Infrared Imaging / M. Bora, Wei Huang, Navneet Masaun, Michael Lange, Martin H. Ettenberg, and Christopher Dries // International Society for Optical Engineering. – 2007. – Vol. 6542. – № 65420L-1. – P. 1-9.

18. Boisvert, J. Performance of very low dark current SWIR PIN arrays / J. Boisvert, T. Isshiki, R. Sudharsanan, P. Yuan, P. Mc Donald // Proceedings of SPIE. – 2008. – Vol. 6940. – P. 1-9.

19. Wen-qin, Cheng. Photoluminescence from InAs quantum dots on GaAs (100) / Wen-qin Cheng, Xiao-gang Xie, Zhen Yang Zhong, Li-hong Cai, Qi Huang, Jun-ming Zhou // Published by Elsevier. – 1996. – Vol. 312. – № 1–2. – P. 287-290.

20. Xu, S. J. Characteristics of InGaAs quantum dot infrared photodetectors / S. J. Xu, S. J. Chua, T. Mei, X. C. Wang, X. H. Zhang, and G. Karunasiri // Applied physics letters. – 1998. – Vol. 73. – № 21. – P. 3153-3155.

Функции податливости термоупругой полуплоскости с функционально-градиентным покрытием при неидеальном сцеплении покрытия и полуплоскости

Волков С.С., Васильев А.С., Садырин Е.В.
Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, Россия
fenix_rsu@mail.ru

Compliance functions of a thermoelastic half-plane with an imperfectely bonded functionally graded coating

Volkov S.S., Vasiliev A.S., Sadyrin E.V.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
fenix_rsu@mail.ru

Аннотация. **При построении решений контактных задач для упругих или термоупругих тел используется метод интегральных преобразований. В результате их использования решение задачи сводится к решению интегральных уравнений. Важную роль при разработке методов решения таких интегральных уравнений играет анализ свойств их ядер. В работе предложена схема построения трансформант Фурье ядер интегральных уравнений контактных задач для термоупругой полуплоскости с функционально градиентным покрытием. Предполагается, что термоупругие свойства изменяются по глубине покрытия в соответствии с некоторыми произвольными непрерывно-дифференцируемыми независящими друг от друга законами. Покрытие и подложка сцеплены друг с другом неидеально. Изучена зависимость свойств трансформант ядер от коэффициента упругих связей покрытия и подложки и от параметров, характеризующих соотношение термоупругих свойств на поверхности покрытия и в подложке.**

Ключевые слова: **термоупругость, неоднородность, функции податливости, упругие связи, покрытие, полуплоскость, неидеальное сцепление.**

Abstract. **The integral transformation method is often used to construct solutions to contact problems for elastic or thermoelastic bodies. As a result of the integral transform application, the problem solution is reduced to the solution of integral equations. Analysis of the integral equation kernel properties play an important role in the development of methods for their solution. The present paper proposes a scheme for constructing the Fourier transforms of the kernels of the integral equations of contact problems for a thermoelastic half-plane with a functionally graded coating. We assume that the thermoelastic properties vary by depth of the coating in accordance with some arbitrary continuously differentiable laws independently of each other. The coating and substrate are imperfectly bonded to each other. The dependence of the properties of kernel transforms on the coefficient of elastic bonds of the coating and the substrate and on the parameters characterizing the ratio of thermoelastic properties on the coating surface and in the substrate is studied.**

Keywords: **thermoelasticity, inhomogeneity, compliance functions, elastic bonds, coating, half-plane, imperfect bonding.**

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время растет интерес к математическому моделированию неоднородных материалов и покрытий, связанный с увеличением использования таких материалов в промышлености. При моделировании работы деталей машин и элементов конструкций, подверженных воздействию высоких температур, необходимо учитывать неоднородность термомехани-

ческих свойств материалов, из которых состоят данные детали и элементы конструкций. Для подобного рода моделирования возникает необходимость решения задач термоупругости о термомеханическом воздействии. В отечественной и зарубежной научной литературе наблюдается растущий интерес к решению задач термоупругости для неоднородных материалов. Контактные задачи для термоупругих однородных тел рассматривал J.R. Barber. В работе [1] описаны аналитические и численные методы решения задачи термоупругой устойчивости, а также приведены результаты, иллюстрирующие особенности термоупругих деформаций. Для отдельных законов неоднородности покрытия (экспоненциальный, линейный), решение задачи теплопроводности приведены в работе [2]. Методы решения смешанных задач для экспоненциального закона неоднородности покрытия развивает N. Noda [3-4]. Решение плоской задачи для термоупругого взаимодействия в присутствии трения рассматривали также Liu, Ke, Wang [5]. В работе [6] использованы аналитические методы при решении плоской задачи контактного взаимодействия жёсткого теплопроводного штампа кругового поперечного сечения с упругим слоем.

Настоящая работа посвящена построению функций податливости для термоупругой полуплоскости с функционально-градиентным покрытием при статическом термомеханическом воздействии. В работе предложена схема численного построения функций податливости, учитывающая возможность изменения термомеханических характеристик в покрытии по различным законам. Изучено влияние коэффициента упругих связей покрытия и подложки и параметров, характеризующих соотношение термоупругих свойств на поверхности покрытия и в подложке, на свойства функций податливости. Исследование свойств функций податливости является важным при выборе метода решения термоупругих контактных задач.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим термоупругую полуплоскость с функционально-градиентным покрытием толщины H. Декартова система координат (x,z) расположена так, что ось z нормальна к поверхности покрытия. Термоупругие характеристики изменяются с глубиной по следующим законам

$$\{\Lambda, \mathrm{M}, \lambda_T, \alpha_T\} = \begin{cases} \{\Lambda_c(z), \mathrm{M}_c(z), \lambda_T^c(z), \alpha_T^c(z)\}, \\ -H \le z \le 0, \\ \{\Lambda_s, \mathrm{M}_s, \lambda_T^s, \alpha_T^s = \mathrm{const}\}, \\ -\infty < z < -H. \end{cases}$$

где $\Lambda, \mathrm{M}, \lambda_T, \alpha_T$ коэффициенты Ламе, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплового расширения соответственно.

Связь коэффициентов Ламе с модулем Юнга и коэффициентом Пуассона имеет вид

$$E = \frac{\mathrm{M}(2\mathrm{M} + 3\Lambda)}{\mathrm{M} + \Lambda}, \ \nu = \frac{\Lambda}{2(\mathrm{M} + \Lambda)}$$

На границе сопряжения покрытия и полуплоскости выполнены следующие граничные условия

$$\begin{gathered} z = -H : \sigma_z^{(c)} = \sigma_z^{(s)}, \ w^{(c)} = w^{(s)}, \\ T^{(c)} = T^{(s)}, \lambda_T^c(z) T'^{(c)} = \lambda_T^s T'^{(s)}, \\ \tau_{zx}^{(c)} = \tau_{zx}^{(s)} = \frac{1}{\varepsilon}\left(u^{(c)} - u^{(s)} \right) \end{gathered} \tag{1}$$

В (1) u и w – компоненты вектора перемещений, σ_z и τ_{zx} – компоненты тензора напряжений, T – разность температур до и после деформации. Последнее соотношение в (1) описывает наличие упругих связей между покрытием и подложкой, ε – коэффициент упругих связей [7]. Случай $\varepsilon=0$ соответствует идеальному сцеплению покрытия и подложки, $\varepsilon=\infty$ соответствует полному проскальзыванию покрытия и подложки (покрытие лежит без трения на подложке). При промежуточном значении ε уравнение описывает трение между покрытием и подложкой по закону Кулона.

Пусть в области $z=0, x \in [-a, a]$ действует распределенная нормальная и касательная нагрузка и задан тепловой поток. Вне этой области поверхность свободна от нагрузок, и тепловой поток отсутствует:

$$\{\sigma_z^{(c)}, \tau_{zx}^{(c)}, \lambda_T^{(c)} \mathrm{T}'^{(c)}\}\big|_{z=0} = \begin{cases} \{-p_a(x), \tau_a(x), -q_a(x)\}, & |x| \le a \\ 0, & |x| > a \end{cases} \tag{2}$$

Равновесие термоупругой полуплоскости описывается следующими уравнениями

$$\begin{gathered} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0, \\ \lambda_T \Delta T + \lambda_T' \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \end{gathered} \tag{3}$$

Определяющие соотношения линейной термоупругой среды (соотношения Дюамеля-Неймона) имеют вид:

$$\begin{gathered} \sigma_x = \Lambda \frac{\partial w}{\partial z} + (2M + \Lambda) \frac{\partial u}{\partial x} - kT, \\ \sigma_z = \Lambda \frac{\partial u}{\partial x} + (2M + \Lambda) \frac{\partial w}{\partial z} - kT, \\ \tau_{xz} = M\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \\ k(z) = 3K(z)\alpha_T(z), \quad K(z) = \Lambda(z) + \frac{2}{3}\mathrm{M}(z). \end{gathered} \tag{4}$$

Считаем, что смещения и разность температур затухают на бесконечности

$$u, w, T \to 0, \text{ при } z \to \infty$$

ФУНКЦИИ ПОДАТЛИВОСТИ

Перейдя к образам Фурье:

$$f(x,z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(\alpha, z) e^{-i\alpha x} d\alpha \tag{5}$$

в (4) и (3), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{gathered}\mathrm{M}\bar{u}_0'' + \alpha(\Lambda + \mathrm{M})\bar{w}' + \alpha\mathrm{M}'\bar{w} + \mathrm{M}'\bar{u}_0' - \\ - \alpha^2(\Lambda + 2\mathrm{M})\bar{u}_0 - \alpha k\bar{T} = 0 \\ (\Lambda + 2\mathrm{M})\bar{w}'' + (\Lambda' + 2\mathrm{M}')\bar{w}' - \alpha^2\mathrm{M}\bar{w} - \\ - \alpha(\mathrm{M} + \Lambda)\bar{u}_0' - \alpha\Lambda'\bar{u}_0 - k\bar{T}' - k'\bar{T} = 0 \\ \lambda_T\bar{T}'' + \lambda_T'\bar{T}' - \alpha^2\lambda_T\bar{T} = 0\end{gathered} \tag{6}$$

В (6) использовано обозначение $\bar{u}_0 = i\bar{u}$.

Представим образы Фурье перемещений и температуры в следующем виде

$$\begin{gathered}\bar{u}_0(\alpha, z) = -a_{11}(\alpha, z)\bar{\tau}_a(\alpha) - a_{12}(\alpha, z)\bar{p}_a(\alpha) - \\ - a_{13}(\alpha, z)\bar{q}_a(\alpha), \\ \bar{w}(\alpha, z) = -a_{21}(\alpha, z)\bar{\tau}_a(\alpha) - a_{22}(\alpha, z)\bar{p}_a(\alpha) - \\ - a_{23}(\alpha, z)\bar{q}_a(\alpha), \\ \bar{T}(\alpha, z) = -a_{33}(\alpha, z)\bar{q}_a(\alpha),\end{gathered} \tag{7}$$

В (7) функции a_{ij} являются решением системы дифференциальных уравнении (6) и удовлетворяют граничным условиям:

$$\begin{gathered}z = -H : a_{2j}^{(c)} = b_{2j}^{(s)}, a_{33}^{(c)} = b_{33}^{(s)}, \\ \lambda_T^{(c)}(-H)a_{33}'^{(c)} = \lambda_T^{(s)}b_{33}'^{(s)} \\ \left((\Lambda + 2\mathrm{M})a_{2j}'^{(c)} - \alpha\Lambda a_{1j}^{(c)} - ka_{3j}^{(c)}\right)_{z=-H+0} = \\ = \left((\Lambda + 2\mathrm{M})b_{2j}'^{(s)} - \alpha\Lambda b_{1j}^{(s)} - kb_{3j}^{(s)}\right)_{z=-H-0} \\ \left(\mathrm{M}\left(a_{1j}'^{(c)} + \alpha a_{2j}^{(c)}\right)\right)_{z=-H+0} = \\ = \left(\mathrm{M}\left(b_{1j}'^{(s)} + \alpha b_{2j}^{(s)}\right)\right)_{z=-H-0} = \frac{1}{\varepsilon}\left(a_{1j}^{(c)} - b_{1j}^{(s)}\right),\end{gathered} \tag{8}$$

$$\begin{gathered}\mathrm{M}\left(a_{1j}'^{(c)} + \alpha a_{2j}^{(c)}\right)_{z=0} = \delta_{1j}; \quad a_{3j}'^{(c)} = \delta_{3j} \\ \left((\Lambda + 2\mathrm{M})a_{2j}'^{(c)} - \alpha\Lambda a_{1j}^{(c)} - ka_{3j}^{(c)}\right)_{z=0} = \delta_{2j}.\end{gathered} \tag{9}$$

здесь δ_{ij} – символ Кронекера.

Функции $b_{ij}^{(s)}$ являются решением системы дифференциальных уравнений (6) с постоянными коэффициентами, соответствующими однородной полуплоскости (подложке) и имеют вид:

$$\begin{gathered}b_{1j}^{(s)}(\alpha, z) = (d_{1j} + d_{2j}z)e^{\alpha z}, \quad b_{3j}^{(s)}(\alpha, z) = d_{3j}e^{\alpha z} \\ b_{2j}^{(s)}(\alpha, z) = (d_{1j} + d_{2j}z)e^{\alpha z} + \\ + \frac{k^{(s)}d_{3j} - \left(3\mathrm{M}^{(s)} + \Lambda^{(s)}\right)d_{2j}}{\alpha\left(\mathrm{M}^{(s)} + \Lambda^{(s)}\right)}e^{\alpha z}\end{gathered} \tag{10}$$

Введем следующие функции

$$\begin{gathered}L_{ij}^*(\alpha) = \alpha a_{ij}(\alpha, 0)\big/\Theta_{ij}^{(c)}, \; ij = \{11, 12, 21, 22, 33\} \\ L_{ij}^*(\alpha) = \alpha^2 a_{ij}(\alpha, 0)\big/\Theta_{ij}^{(c)}, \; ij = \{23, 13\} \\ L_{ij}(\alpha) = L_{ij}^*(\alpha/H)\end{gathered} \tag{11}$$

где

$$\Theta_{11}^{(c)} = \Theta_{22}^{(c)} = \frac{E(0)}{2\left(1 - \nu^2(0)\right)}, \Theta_{33}^{(c)} = \lambda_T(0)$$

$$\Theta_{23}^{(c)} = -\Theta_{13}^{(c)} = \frac{\lambda_T(0)}{(1 + \nu(0))\alpha_T(0)}$$

$$\Theta_{12}^{(c)} = \Theta_{21}^{(c)} = \frac{2E(0)}{(1 + \nu(0))(1 - 2\nu(0))}$$

Аналогично терминологии работ [8,9], функции $L_{ij}(\alpha)$ будем называть функциями податливости термоупругой полуплоскости. Аналитический вид функций податливости может быть найден для ограниченного числа законов неоднородности покрытия (например: кусочно-постоянный, экспоненциальный и показательный).

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим неоднородное покрытие, поверхность которого соответствует термоупругим свойствам нитрида титана ($E_c(0) = 256$ Gpa, $\nu_c(0) = 0.23$, $\lambda_T^c(0)$=41.8 Вт/(м·К), $\alpha_T^c(0)$= 9.35*10^(-6)K^{-1}), а подложка состоит из кремния($E_s = 131$ Gpa, $\nu_s = 0.266$, λ_T^s=162.3 Вт/(м·К), α_T^s= 4.15*10^(-6)K^{-1}). Термоупругие характеристики в покрытии изменяются с глубиной по следующему закону

$$x_{ij}(z) = x_{ij}^c - (x_{ij}^c - x_{ij}^s)(z/H)^2 \tag{12}$$

В (12), x_{ij}^c, x_{ij}^s — значения термоупругих свойств поверхности покрытия и подложки соответственно. Оценим влияние параметра $\mu = \mathrm{M}_s\varepsilon$ на поведение функций податливости. Для $\mu \in [0..\infty)$ функции податливости $L_{ij}(\alpha)$ обладают следующими асимптотическими свойствами

$$\begin{gathered}L_{ij}(\alpha) = \beta^{-1} + B|\alpha| + O(|\alpha|^2), \quad \alpha \to 0 \\ L_{ij}(\alpha) = 1 + D|\alpha|^{-1} + O(|\alpha|^{-2}), \quad \alpha \to \pm\infty\end{gathered} \tag{13}$$

где $\beta = \Theta_{ij}^{(s)}\big/\Theta_{ij}^{(c)}$. $\Theta_{ij}^{(s)}$ вводится аналогично, как и $\Theta_{ij}^{(c)}$, только с термоупругими модулями подложки.

На рис. 1 проиллюстрирован график функции $L_{11}(\alpha)$ в зависимости от значений параметра μ. Как видно из графиков, максимальное значение функции $L_{11}(\alpha)$ увеличиваются при росте значений параметра μ.

Было установлено, что в случае μ=∞, $L_{11}(\alpha)\big|_{\alpha\to 0} \to \infty$. При этом, для однородного покрытия, аналитически были получены следующие асимптотические свойства при μ=∞:

$$L_{11}(\alpha) = (2\alpha)^{-1} + O(\alpha), \quad \alpha \to 0.$$

На рисунке 2 изображен график функции $L_{12}(\alpha)$ для различных значений параметра μ Как видно из графиков при μ=∞, асимптотические свойства в 0 отличаются от свойств (13).

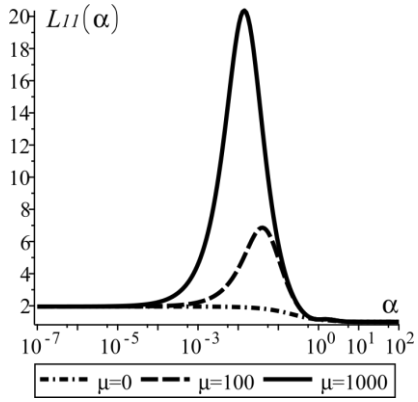


Рис. 1. График функций податливости $L_{11}(\alpha)$

При увеличении значения параметра μ, начиная с некоторого значения μ, функция $L_{12}(\alpha)$ становится знакопеременной. Это свойство оказывается существенным, например, при построении решения контактных задач с использованием двусторонне асимптотического метода[10].

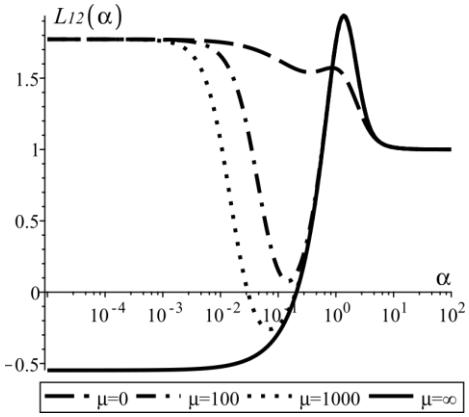


Рис. 2. График функций податливости $L_{12}(\alpha)$

При $\mu=\infty$ L_{12}, L_{21} и L_{13} обладают следующими асимптотическими свойствами

$$L_{ij}(\alpha) = A_{ij} + O(\alpha), \quad \alpha \to 0, ij = 12,21,13$$

где константы A_{ij} зависят не только от свойств поверхности покрытия и подложки (как это было при $\mu<\infty$), но и от характера изменения свойств внутри покрытия. В частности, для однородного покрытия

$$A_{12} = A_{21} = \nu^{(c)}\left(2\nu^{(c)} - 1\right)^{-1}, A_{13} = \lambda_T^c\left(\lambda_T^s\right)^{-1}$$

Выполнено: $L_{31}(\alpha) = L_{32}(\alpha) = 0, \forall\alpha, \forall\mu$. Функции $L_{22}(\alpha), L_{23}(\alpha)$ и $L_{33}(\alpha)$ обладают свойствами (13). Такие функции были подробно изучены ранее [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена схема построения функций податливости для термоупругой полуплоскости с функционально-градиентным покрытием с учетом неидеального сцепления покрытия с подложкой. В осесимметричном случае схема построения функций податливости не меняется, так как сводится к необходимости решения аналогичной (6) системы дифференциальных уравнений. Функции податливости для термоупругого полупространства с функционально градиентным покрытием при осесимметричной термомеханической нагрузке полностью совпадают с полученными в настоящей работе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (госзадание 9.1481.2017/4.6) и РФФИ (гранты 18-07-01177-а, 18-07-01397-а).

Волков С.С. поддержан Стипендией Президента РФ № СП-3615.2018.1.

Садырин Е.В. поддержан Стипендией Президента РФ № СП-3672.2018.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barber, J. R. Thermoelasticity and contact / J. R. Barber. // Journal of Thermal Stresses. – 1999. – Т. 22, № 4. – С. 513–525.

2. Карташов, Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твёрдых тел / Э. М. Карташов. — Москва : Высшая школа, 2001. — 550 с.

3. Noda, N. On a general treatise of three-dimensional thermoelastic problems in transverselyisotropic bodies / N. Noda, Y. Takeuti, Y. Sugano. // ZAMM Z. angew. Math. Mech. – 1985. – Т. 65, № 10. – С. 509–512.

4. Jin, Z. H. Transient thermal stress intensity factors for a crack in semi-infinite plate of a functionallygradient material / Z. H. Jin, N. Noda. // International Journal of Solids and Structures. –1994. – Т. 31, вып. 2. – С. 203-218.

5. Liu, J. Thermoelastic contact analysis of functionally graded materials with properties varyingexponentially / J. Liu, L. L. Ke, Y. S. Wang // Advanced Materials Research. – 2011. – Т. 189–193. – С. 988–992.

6. Краснюк, П. П. Плоская контактная задача взаимодействия жёсткого теплопроводногоцилиндрического штампа и упругого слоя при нестационарном фрикционном тепловыделении /П. П. Краснюк. // Трение и износ. – 2009. – Т. 30, № 2. – С. 152–162.

7. Антоненко Н.Н. Контактная задача о кручении многослойного основания с упругими связями между слоями/ Н.Н. Антонченко, И.Г. Величко // Вестник СамГТУ–2014. – № 3 (36). – С. 66–78.

8. Айзикович С.М. О свойствах функции податливости, соответствующих слоистому и неприрывно-неоднородному полупространству/С.М. Айзикович, В.М. Александров // Доклады АН СССР. – 1982. – Т.266, №1. – С.40-43.

9. Ильман В.М. Действие системы штампов на упругое многослойное основание/ В.М. Ильман, А.К. Приварнирков// Прикладная механика – 1971. – Т.7, №6 – С. 25-30.

10. Vasiliev A.S.Approximated analytical solution of a problem on indentation of an electro-elastic half-space with inhomogeneous coating by a conductive punch/ A.S. Vasiliev, S.S. Volkov, S.M. Aizikovich, / Dokl. Phys. – 2018. – Т. 63, № 1 –С. 18–22.

11. Aizikovich S.M. Plane contact of two elastic solids with functionally graded coatings joined by an imperfect interface/ S.M. Aizikovich,, S.S. Volkov, A.S. Vasiliev // 24rd International Conference ENGINEERING MECHANICS. – 2018: – С. 13–16. – doi: 10.21495/91-8-13

Упрощенное аналитическое решение задачи о внедрении индентора с плоским основанием в полупространство с покрытием

Васильев А.С., Садырин Е.В., Волков С.С., Кисляков Е.А.
Донской государственный технический университет,
Научно-образовательный центр «Материалы»,
Ростов-на-Дону, Россия
ghostwoode@gmail.com

Simplified analytical solution of the contact problem on indentation of a coated half-space by a flat circular punch

Vasiliev A.S., Sadyrin E.V., Volkov S.S., Kislyakov E.A.
Research and Education Center “Materials”,
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
ghostwoode@gmail.com

Аннотация. **Построено приближенное решение контактной задачи о вдавливании кругового штампа с плоским основанием в упругое изотропное полупространство с покрытием. Покрытие может быть однородным (упругие модули постоянны) или функционально градиентным (упругие модули изменяются с глубиной). Решение задачи поучено с помощью двухстороннего асимптотического метода. При этом использована однопараметрическая аппроксимация трансформанты ядра интегрального уравнения, что позволило получить явные аналитические выражения для распределения контактных напряжений и зависимости сила-осадка в упрощенном виде, удобном для инженерных расчетов. Проведен анализ точности полученного решения на примере серии однородных и функционально градиентных покрытий. Проанализировано влияние параметра, характеризующего относительный модуль Юнга покрытия и закона изменения модуля Юнга по глубине на точность упрощенных формул.**

Ключевые слова**: контактная задача, упругость, индентирование, покрытие, аналитические методы**

Abstract. **An approximated solution for the contact problem of indentation of an elastic isotropic half-space with a coating by a flat-ended circular punch is constructed. The coating is assumed to be either homogeneous (elastic moduli are constant) or functionally graded (elastic moduli vary with depth). The solution of the problem is constructed using the bilateral asymptotic method. One-parametric approximation of the kernel transform of the integral equation is used to get explicit analytical expressions for the distribution of the contact stresses and the load-displacement dependence in a simplified form, convenient for engineering calculations. The accuracy analysis of the obtained solution is carried out on example of a series of homogeneous and functionally graded coatings. The influence of a parameter characterizing the relative Young's modulus of the coating and the law of variation of Young's modulus in depth on the accuracy of the simplified is analyzed.**

Keywords**: contact, elasticity, indentation, coatings, analytical methods**

ВВЕДЕНИЕ

Одним из эффективных способов увеличить срок эксплуатации изделий является придание рабочей поверхности дополнительных свойств путем нанесения на неё покрытий. В зависимости от условий эксплуатации покрытия могут быть выполнены из различных материалов, а также могут различаться по своей структуре.

Контактным задачам для тел с покрытиями посвящено большое количество исследований. Обычно

решения таких задач сводится к решению сингулярных интегральных уравнений. Среди методов решения таких уравнений наиболее востребованными и эффективными являются: регулярный [1] и сингулярный [2] асимптотический методы, метод ортогональных многочленов [3], метод коллокации [4-6] и двухсторонний асимптотический метод [7]. Каждый из этих методов обладает рядом достоинств и недостатков. В частности, регулярный и сингулярный асимптотический метод эффективны лишь для покрытий большой и малой толщины соответственно, метод коллокации и метод ортогональных многочленов – для покрытий средней толщины. Для анализа механических характеристик во всем диапазоне значений относительной толщины ранее использовалось несколько методов и приходилось производить стыковку решений [8]. В зарубежной литературе в подавляющем большинстве работ решения сингулярных интегральных уравнений строятся численно с использованием метода коллокации [4-6]. В отличие от вышеперечисленных методов, двухсторонний асимптотический метол позволяет получить решение эффективное для покрытий любой толщины в аналитическом виде. Однако, его применение на практике требует проведения затратных численных расчетов и постоянного контроля точности расчетов, что может вызывать трудности при проведении инженерных исследований.

В основе двухстороннего асимптотического метода лежит идея многопараметрической аппроксимации трансформанты ядра интегрального уравнения отношением двух полиномов четных степеней. В данной работе исследуется возможность построения решения контактной задачи о вдавливании штампа с плоским основанием с помощью двухстороннего асимптотического метода с использованием однопараметрической аппроксимации. Это позволяет получить приближенное решение задачи в явном аналитическом виде и максимально упростить схему численных вычислений. Очевидно, что уменьшение числа параметров аппроксимации приводит к снижению ее точности, что сказывается на точности полученного решения. В работе подробно исследована точность полученных решений и выявлены диапазоны значений исходных параметров, при которых упрощенные формулы обладают достаточно высокой точностью.

Результаты работы, наряду с полученными ранее результатами для контактной задачи о внедрении параболического штампа, могут быть применены для описания эксперимента по наноиндентированию материалов с покрытиями. Обычно, обработка и интерпретация экспериментальных данных, полученных в ходе микро- и наноиндентирования производится на основе математических моделей, использующих решения классических контактных задач для изотропных однородных материалов. Широко применяемым методом определения модуля Юнга является метод Оливера-Фарра [9], основанный на решении Снеддона [10] для однородного полупространства. При этом не учитывается наличие покрытия, что в ряде случаев оказывается принципиальным. Так, для определения модуля Юнга покрытия рекомендуется проводить индентирование на глубину, не превышающую 10% от толщины покрытия [11]. Однако, данный подход может дать некорректные результаты при достаточно большом различии модулей упругости покрытия и подложки [12-14] и при исследовании тонких покрытий, когда глубина внедрения оказывается сравнимой с высотой дефектов или шероховатости и погрешности измерения оказываются чрезмерно высокими.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим однородное упругое полупространство с нанесенным на него покрытием толщины H. В полупространство вдавливается круговой в плане штамп радиуса a. С полупространством связана цилиндрическая система координат (r, φ, z), ось z направлена по нормали к поверхности полупространства и проходит через центр штампа. Под действием центрально приложенной силы P, его центр сместится в направлении обратном оси z на величину δ. Считаем силы трения между основанием штампа и упругим слоем пренебрежимо малыми. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона полупространства изменяются с глубиной по непрерывно дифференцируемым независимым друг от друга законам:

$$\{E,\nu\}=\begin{cases}\{E_{(c)}(z),\nu_{(c)}(z)\},\ -H\le z\le 0;\\ \{E_{(s)},\nu_{(s)}=\text{const}\},\ -\infty<z<-H.\end{cases} \quad (1)$$

Здесь и далее индекс (c) соответствует покрытию, индекс (s) – подложке.

Пусть координата r отнесена к радиусу зоны контакта a. Тогда граничные условия на поверхности полупространства имеют вид:

$$z=0:\ \tau_{zr}=0,\ \begin{cases}\sigma_z=0, & r>1;\\ w=-\delta, & r\le 1.\end{cases} \quad (2)$$

Считаем, что на границе между покрытием и подложкой (z=–H) выполнены условия полного сцепления:

$$\tau_{zr}^{(c)}=\tau_{zr}^{(s)},\ \sigma_z^{(c)}=\sigma_z^{(s)},\ w^{(c)}=w^{(s)},\ u^{(c)}=u^{(s)}. \quad (3)$$

Требуется найти распределение контактных давлений под штампом:

$$\sigma_z\big|_{z=0}=-p(r),\ \ r\le 1 \quad (4)$$

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Задача сводится к решению следующего сингулярного интегрального уравнения [15]:

$$\int_0^1 p(\rho)\rho\int_0^\infty L(u)\,\mathrm{J}_0\left(\frac{ur}{\lambda}\right)\mathrm{J}_0\left(\frac{u\rho}{\lambda}\right)du\,d\rho=\lambda\,\Theta_{(c)}\,\frac{\delta}{a}. \quad (5)$$

Выше были использованы обозначения: $\lambda=H/a$ – относительная толщина покрытия, $L(u)$ – трансформанта ядра интегрального уравнения, которая определяется численно из решения задачи Коши для системы обык-

новенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами [16],

$$\Theta_{(c)} = \frac{E_{(c)}(0)}{2(1-\nu_{(c)}^2(0))}, \quad \Theta_{(s)} = \frac{E_{(s)}}{2(1-\nu_{(s)}^2)} \tag{6}$$

Аппроксимируем функцию $L(u)$ выражением:

$$L(u) \approx L_N(u) = \prod_{i=1}^{N} \frac{u^2 + A_i^2}{u^2 + B_i^2}, \; A_i, B_i \in C. \tag{7}$$

Тогда распределение контактных давлений и зависимость сила-осадка имеют вид [7]:

$$p(r) = \frac{2\Theta_{(s)}\delta}{\pi a\sqrt{1-r^2}}\left[1 + \sum_{i=1}^{N} C_i\left(1 - Z\left(r, \frac{A_i}{\lambda}\right)\right)\right] \tag{8}$$

$$Z\left(r, \frac{A_i}{\lambda}\right) = \frac{A_i\sqrt{1-r^2}}{\lambda\cosh(A_i\lambda^{-1})}\int_r^1 \frac{\sinh(A_i\lambda^{-1}t)dt}{\sqrt{t^2-r^2}} \tag{9}$$

$$P = 4\Theta_{(s)}\delta a\left[1 + \lambda\sum_{i=1}^{N}\frac{C_i}{A_i}\tanh\left(\frac{A_i}{\lambda}\right)\right]. \tag{10}$$

Константы C_i (i=1..,N) определяются из системы линейных алгебраических уравнений (k=1,…,N):

$$\sum_{i=1}^{N} C_i \frac{A_i + B_k\tanh(A_i\lambda^{-1})}{A_i^2 - B_k^2} = \frac{1}{B_k}. \tag{11}$$

Решение (8), (10) является асимптотически точным для больших и малых значений геометрического параметра задачи λ [7]. Также установлено, что погрешность решения для средних значений параметра λ является величиной того же порядка малости что и погрешность аппроксимации трансформанты ядра [17].

Для однородного полупространства вдавливающая сила и распределение контактных напряжений имеют вид:

$$P_{\text{hom}} = 4\Theta_{(s)}\delta a, \quad p_{\text{hom}}(r) = \frac{2\Theta_{(s)}\delta}{\pi a\sqrt{1-r^2}}. \tag{12}$$

Для того, чтобы проанализировать как отличаются сила и контактные напряжения для тел с покрытиями и без них, удобно ввести относительные безразмерные величины:

$$P_0 = \frac{P}{P_{\text{hom}}}, \; p_0(r) = \frac{p(r)}{p_{\text{hom}}(r)}, \; \beta = \frac{\Theta_{(s)}}{\Theta_{(c)}} \tag{13}$$

Упростим полученные решения, положив N=1. Важно отметить, что аппроксимация трансформанты ядра строится таким образом, чтобы выполнялось $L_N(0)=L(0)$. Учитывая, что $L(0)=\beta^{-1}$, получим $B=\sqrt{\beta}\,A$. Тогда из (8)-(13) получим упрощенные выражения:

$$p_0(r) = 1 + \frac{(1-\beta)\left(1 - Z\left(r, A\lambda^{-1}\right)\right)}{\sqrt{\beta}\left(1 + \sqrt{\beta}\tanh\left(A\lambda^{-1}\right)\right)} \tag{14}$$

$$P_0 = 1 + \frac{(1-\beta)\lambda}{\sqrt{\beta}\left(\sqrt{\beta} + \text{cth}\left(A\lambda^{-1}\right)\right)A}. \tag{15}$$

На рисунке 1 изображен график значения коэффициента аппроксимации A для однородного покрытия в зависимости от β. При минимизации погрешности использовалась следующая формула:

$$\Delta_L = \left|1 - \frac{L_N(u)}{L(u)}\right| 100\% \tag{16}$$

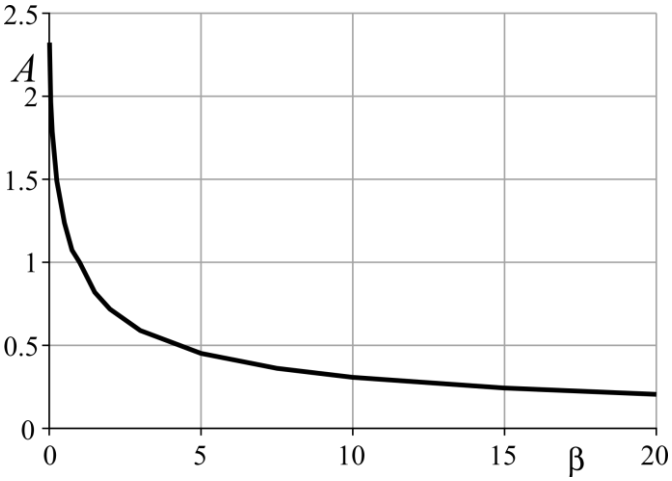


Рис. 1. Коэффициент аппроксимации *A* для однородного покрытия

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ

Пусть модуль Юнга подложки равен некоторому значению E_0, а коэффициент Пуассона покрытия и подложки равен 0.33. Для анализа точности полученных упрощенных формул рассмотрим набор однородных покрытий, для которых β=0.1, 0.2, 0.5, 2, 5 и 10 (будем называть их покрытиями 1–6 соответственно) и четыре функционально-градиентных покрытия с линейным и экспоненциальным изменением свойств по глубине:

покрытия 7 (β=0.5) и 8 (β=2):

$$E_{(c)}^{\text{lin}}(z) = E_0\left(\beta - (1-\beta)\frac{z}{H}\right), \tag{17}$$

покрытия 9 (β=0.5) и 10 (β=2), k=–3:

$$E_{(c)}^{\exp}(z) = E_0\left(\frac{\beta e^k - 1 - (\beta-1)\exp(-kz/H)}{e^k - 1}\right), \tag{18}$$

Для однородных покрытий 1–6 построены однопараметрические аппроксимации с погрешностью 18.4, 11.8, 3.8, 4.3, 12.6 и 20.7% соответственно. Для функционально-градиентных покрытий 7–10 погрешности составляют 3.8, 6.8, 6.8 и 9.3%. Как видно, чем больше значение β отличается от единицы, тем выше погрешность однопараметрической аппроксимации. Погрешность многопараметрической аппроксимации

для всех рассмотренных покрытий не превышает 0.2%, число членов аппроксимации лежит в диапазоне $17 \le N \le 21$. На рисунках 2 и 3 изображены графики безразмерной силы для покрытий 1–10 при N=1 (сплошная линия) и N>>1 (пунктирная линия). На графиках использована логарифмическая шкала.

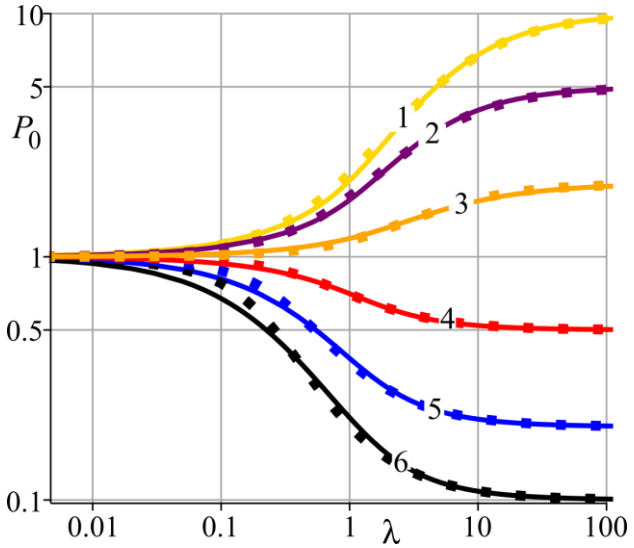


Рис. 2. Вдавливающая сила для однородных покрытий

На рисунке 4 изображена погрешность упрощенной формулы (15), вычисленной по формуле: $\Delta_P = \left|1 - P_{N=1}\left(P_{N>1}\right)^{-1}\right| \cdot 100\%$. Максимальная погрешность $\max\limits_{\lambda} \Delta_P$ для однородных покрытий 1–6 составляет: 6.8, 3.3, 2.3, 2.7, 8.5, 15.4 %, для функционально-градиентных покрытий 7–10: 2.3, 4.3, 3.7, 5.8.

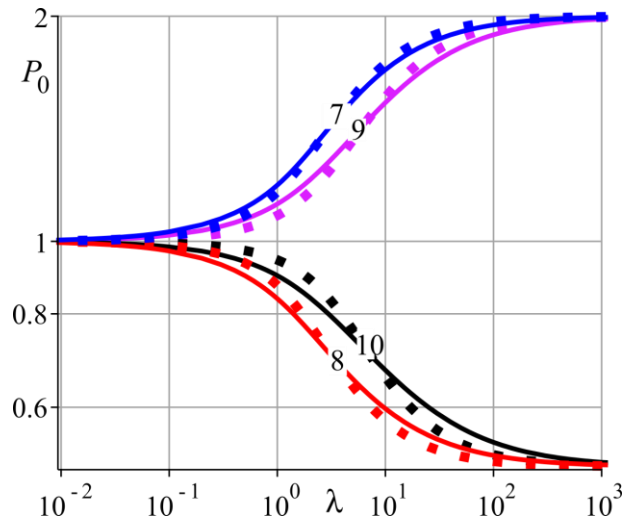


Рис. 3. Вдавливающая сила для неоднородных покрытий

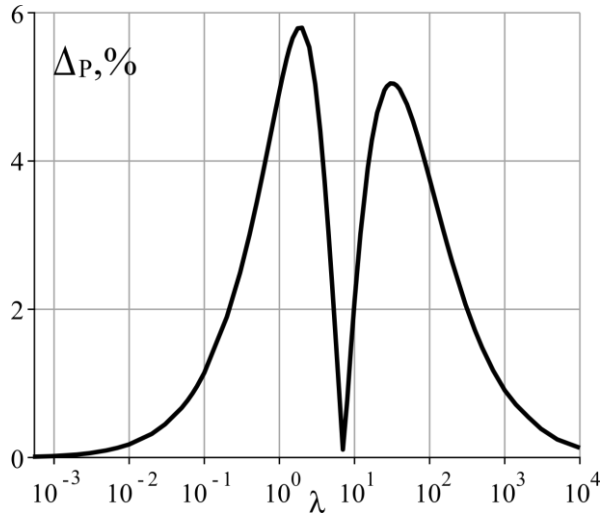


Рис. 4. Погрешность упрощенного выражения для вдавливающей силы, покрытие 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Как видно, упрощенное выражение для вдавливающей силы (15) обладает достаточно высокой точностью. Погрешность этого выражения для рассмотренных покрытий меньше, чем погрешность аппроксимации трансформанты ядра в 1.34-3.5 раза. Для однородных покрытий построена наглядная зависимость единственного коэффициента аппроксимации трансформанты ядра A от отношения модулей Юнга покрытия и подложки. Результаты работы позволяют существенно упростить расчеты с использованием двухстороннего асимптотического метода и при этом оценить их точность.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ 14.Z50.31.0046.

Волков С.С. поддержан Стипендией Президента РФ СП-3615.2018.1.

Садырин Е.В. поддержан Стипендией Президента РФ СП-3672.2018.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворович И.И. О давлении штампа на слой конечной толщины / И.И. Ворович, Ю.А. Устинов // ПММ. – 1959. – Т. 23. Вып. 3. – С, 445-455.

2. Александров В.М. Асимптотическое решение контактной задачи для тонкого упругого слоя / В.М. Александров // ПММ. – 1969. – Т. 33, Вып. 1. – С. 61-73.

3. Попов Г.Я. О методе ортогональных многочленов в контактных задачах теории упругости / Попов Г.Я. // ПММ. – 1969. – Т. 33, Вып. 3. С. – 518-531.

4. Guler M.A. Contact mechanics of graded coatings / M.A. Guler, F. Erdogan // Int. J. Solids Struct. – 2004. – Vol. 41, P. – 3865–3889.

5. Ke L. L. Two-dimensional contact mechanics of functionally graded materials with arbitrary spatial variations of material properties / L. L. Ke, Y. S. Wang // Inter-

national Journal of Solids and Structures. – 2006. – Vol. 43, – P. 5779–5798.

6. Liu T.J. Axisymmetric frictionless contact of functionally graded materials / T.J. Liu, Y. S. Wang, C. Zhang // Arch Appl. Mech. – 2008. – Vol. 78, – 267–282.

7. Айзикович С.М. Асимптотические решения контактных задач теории упругости для неоднородных по глубине сред / С. М. Айзикович // ПММ. – 1982. – Т.46, Вып.1. – С. 148–158.

8. Александров В.М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел / В.М. Александров, Д.А. Пожарский – М.: изд-во «Факториал», 1998. – 288 с.

9. Oliver W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology /W.C. Oliver, G. M. Pharr // Journal of Materials Research. – 2004. – Vol. 19. No. 1. – P. 3-20.

10. Sneddon I.N. The relation between load and penetration in the axisymmetric Boussinesq problem for a punch of arbitrary profile / I. N. Sneddon // International Journal of Engineering Science. –1965. – Vol. 3, No 1. – P. 47-57.

11. Buckle H. The science of hardness testing and its research applications. American Society for Metals / H. Buckle // Ohio. – 1973. – P. 453-494.

12. Chen J. On the factors affecting the critical indenter penetration for measurement of coating hardness / J. Chen, Bull S.J. // Vacuum. – 2009. – Vol. 83. No 6. – P. 911-920.

13. Veprek-Heijman M.G.J. The deformation of the substrate during indentation into superhard coatings: Buckle's rule revised / M.G.J. Veprek-Heijman, S. Veprek // Surface and Coatings Technology. – 2015. – Vol. 284. – P. 206-214.

14. Panich N. Effect of penetration depth on indentation response of soft coatings on hard substrates: a finite element analysis / N. Panich, Y. Sun // Surface and Coatings Technology. – 2004. – Vol. 182. No 2-3. – P. 342-350.

15. Kudish, I. I. Lubricated Point Heavily Loaded Contacts of Functionally Graded Materials. Part 1. Dry Contacts / I.I. Kudish, S.S. Volkov, A.S. Vasiliev S.M. Aizikovich // Mathematics and Mechanics of Solids. – 2018. – Vol. 23. №. 7. – P. 1061-1080

16. Vasiliev A.S. Indentation of an axisymmetric punch into an elastic transversely-isotropic half-space with functionally graded transversely-isotropic coating / S.S. Volkov, S.M. Aizikovich. // Materials Physics and Mechanics. – 2016. – Vol. 28. – P. 11-15.

17. Sadyrin E.V. Simplified analytical solution of the contact problem on indentation of a coated half-space by a spherical punch / A.S. Vasiliev, S.S. Volkov, B.I. Mitrin, S.M. Aizikovich // *WIT Transactions on Engineering Sciences* .– 2019.– Vol. 122 .– 209-221.

Идентификация цифробуквенной информации с багажной бирки на основе нейронной сети

Обухов П. С., Ивлиев Е. А., Ивлиев В.А.
Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия
123ivliev123@mail.ru

Identification of alphanumeric information from baggage tag based on neural network a baggage

Obukhov P.S., Ivliev Y.A., Ivliev V.A.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
123ivliev123@mail.ru

Аннотация. **Статья посвящена разработке алгоритма, способного выполнять быструю локализацию и распознавание цифробуквенной информации с багажной бирки, а именно информации о рейсе и номере багажа. Рассмотрен алгоритм поиска баркодов и правильного позиционирования багажной бирки, используя методы и функции библиотеки OpenCV. Рассмотрена реализация модель нейронной сети для распознавания символов на технологии TensorFlow. Обучающая выборка составляет 76159 монохромных изображений цифр и букв. По завершению обучения точность распознавания цифробуквенной информации составляет 95,88%.**

Ключевые слова: **компьютерное зрение, штрих-код, нейронная сеть,TensorFlow, OpenCV, Python.**

Abstract. **The article is devoted to the development of an algorithm capable of performing fast localization and recognition of alphanumeric information from the luggage tag, namely information about the flight and the number of luggage. The algorithm for searching bar codes and correct positioning of a luggage tag using the methods and functions of the OpenCV library is considered. The implementation of the neural network model for recognition of symbols on the TensorFlow technology is considered. The training sample is 76159 monochrome images of numbers and letters. On completion of training, the recognition accuracy of alphanumeric information is 95.88%.a**

Keywords: **computer vision, barcod, neural network, TensorFlow, OpenCV, Python.**

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возникает потребность в разработке новых эффективных методов быстрого извлечения и индексирования текстовой информации из видеопотоков. Задаче распознавания текста посвящено много научных работ, однако они сконцентрированы на распознавании документов, содержащих чёрный текст на белом фоне, и не решают задачу локализации текста в полном объёме[1].

Данная работа направлена на упрощение работы персонала в аэропорту, а именно разработка программы, способной выполнять быструю локализацию и распознавание информации о рейсе и номере багажа с багажной бирки на видео, используя алгоритмы компьютерного зрения.

Решение данной проблемы актуально, так как основными проблемами в аэропорту являются проблемы в сортировочных центрах и в точках выдачи багажа, а метод автоматизации с помощью сканеров штрих-кодов является бесполезными, так как база данных багажных бирок является недоступной для аэропортов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе для детектирования цифробуквенной информации на багажных бирках используется высокоуровневый язык программирования Python. Для реализации алгоритмов использовались функции библиотеки «OpenCV».

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library) — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Может свободно использоваться в академических и коммерческих целях [2].

Одной из важнейших задач для поиска информации о номере рейса, является поиск штрих-кода, к которому привязывается эта информация. Зачатую информация о рейсе располагается над или под штрих кодом. Поиск штрих-кода осуществляется согласно следующей методологии:

1. Захват видеопотока с камеры, рис. 1.а.
2. Преобразование изображения в оттенки серого функцией, рис. 1.б.
3. Используя оператор Собеля, вычисляем величину градиента по осям X и Y.
4. Вычитание y-градиента из x-градиента, рис. 1.в.
5. Приводим изображение в 8-битному используя функцию *convertScaleAbs(),* рис. 1.г.
6. Размытие изображения функцией *blur(),* рис. 1.д.
7. Бинаризация изображения используя функцию *threshold().* Каждый пиксель изображения со значением меньше 225 обращается в 0 (чёрный), а остальные — в 255 (белый), рис. 1.е.
8. Полученное изображение является неприемлемым, так как в области штрих-кодов имеется пространство, которое нужно перекрыть для точного определения области штрих-кода. Используя функцию *getStructuringElement()* создаем прямоугольное ядро для морфологической функции *morphologyEx()*, которая использует это ядро для перекрытия черных пробелов, рисунок 1.ё.
9. Применяем функцию *erode()* для удаления белых точек, рис. 1.ж.
10. Применяем функцию *dilate(),* так как после функции *erode()* уменьшились крупные белые области, рис. 1.з.

Второй немаловажной задачей для распознавания цифробуквенной информации является правильное позиционирование бирки, которое осуществляется следующим образом:

1. На исходном изображении ищем все контуры, используя функцию *findContours*()
2. Зная, что на одной бирке может быть максимум 3 штрих-кода, выполняем сортировку по площади контура и размечаем прямоугольной областью первые 3 контура, рис. 2.а.
3. Выполняем поиск наименьшей прямоугольной области, в которую можно заключить область штрих-кода используя функцию *minAreaRect(),* рис. 2.б.
4. Вычисляем угол между полученными прямоугольными областями.
5. Выполняем афинское преобразование используя функцию *warpAffine(),* рис. 2.в.

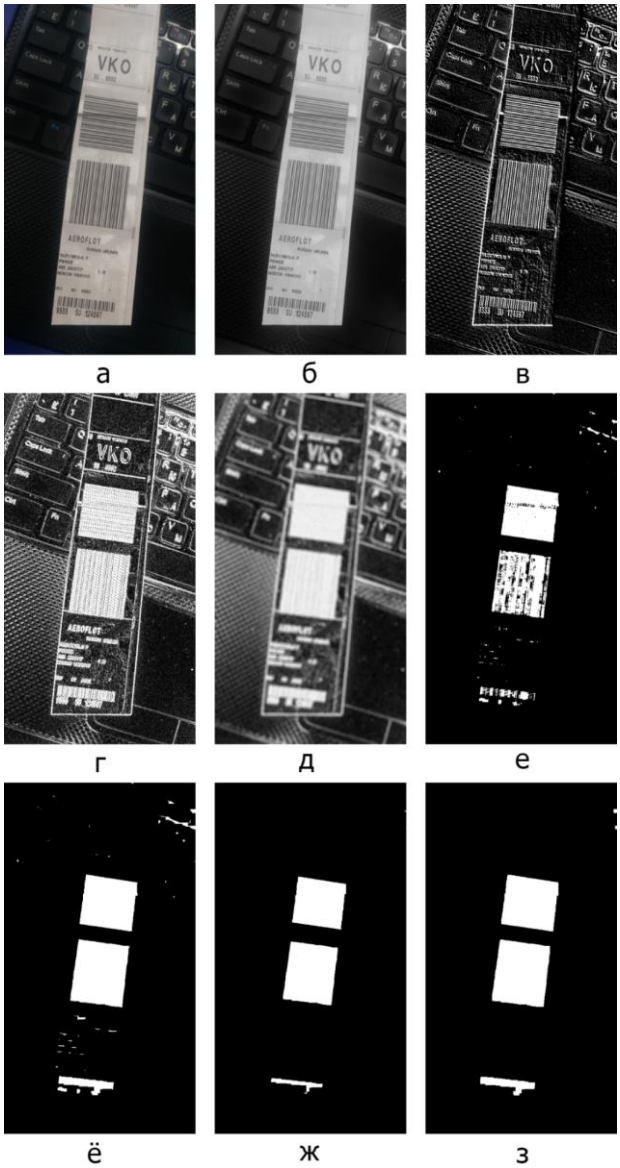


Рис. 1. Поиск местоположения штрих-кодов

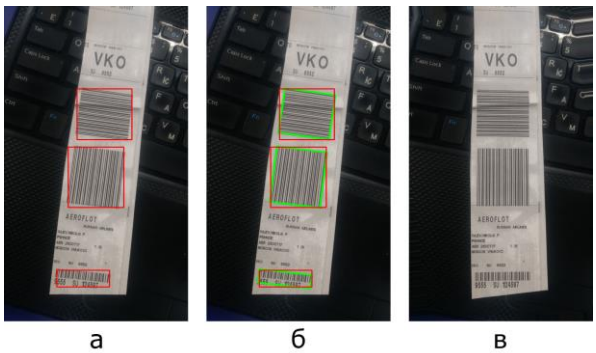


Рис. 2. Этапы правильного позиционирования

После правильного позиционирования выполняется работа по поиску цифробуквенной информации.

1. Получив область местоположения штрих-кода, выполняется захват области расположенной над штрих-кодом.
2. Нахождение контуров, используя функцию *findContours*(), рис. 3.а

3. Чтобы исключить ложное распознавание, выполняется фильтрация по размерам контуров, т.е. ширина и высота контура должны пропорционально равны размерам буквы или цифры, рис. 3.б.

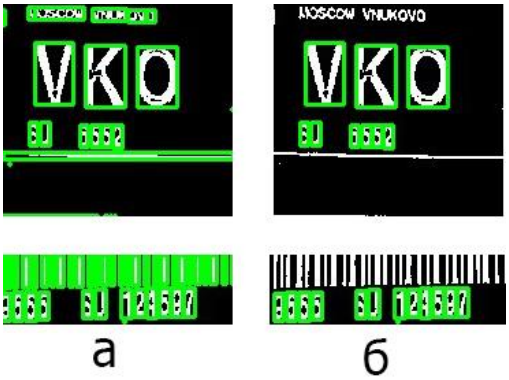


Рис. 3. а) Поиск всех контуров;
б) Отсортированные контуры

Распознавание информации в отсортированных контурах осуществляется нейронной сетью. Для разработки нейронной сети использовался фреймворк TensorFlow, а именно встроенная библиотека Keras. Keras - это высокоуровневый API для создания моделей глубокого обучения. Он используется для быстрого создания прототипов, сложных исследований, а также для создания приложений [3].

Для обучения нейронной сети была создана база из 76159 монохромных изображений цифр и букв разных шрифтов, рис. 4.

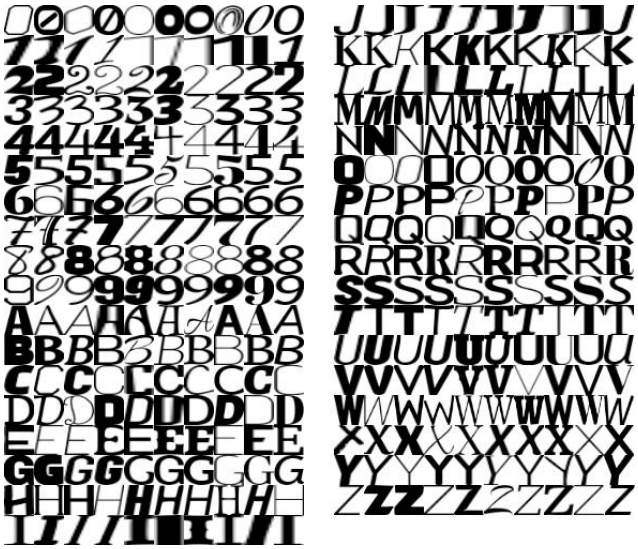


Рис. 4. Обучающая выборка букв и цифр
для нейронной сети

Так как нейросеть работает с числами в диапазоне от 0 до 1, требуется нормализация, т.е. цвет пикселей монохромного изображения масштабировать с диапазона [0; 255] в [0; 1].

Архитектура нейронной сети обладает следующими параметрами:

- Входной слой - 784 нейрона, так как размер входных изображений 28x28 пикселей;
- 3 скрытых слоя по 512 нейронов;
- Выходной слой - 35 нейронов, где каждый нейрон отвечает за прогнозирование того или иного символа.

В результате обучения нейронной сети на 10 эпохах точность составила 95,88%.

Для получения информации о символе заключенном в контур следуем следующему алгоритму:

1. Обрезаем изображение по контуру;
2. Приводим изображение к размеру 28x28;
3. Пропускаем через нейросеть;
4. На выходе получаем массив из вероятностей;
5. Поиск номера нейрона с наибольшей вероятностью и простановка символа над контуром соответствующего этому номеру, рис. 5.

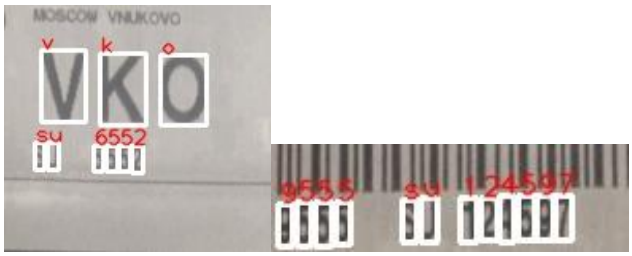


Рис. 5. Результат работы итогового алгоритма

Так как требуется не только разметить символы на изображении, а получить сформированные строки с правильной расстановкой символов, выполняем следующие действия:

1. Формирование строк согласно их расположению по оси Y.
2. Сортировка элементов каждой строки по оси X.

Финальным результатом работы программы является вывод правильно сформированных строк с информацией о рейсе и номере багажа, рис. 6.

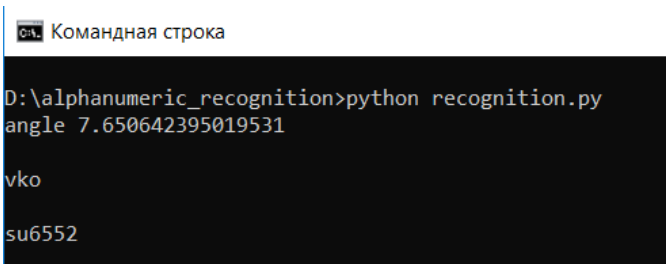


Рис. 6. Результат работы программы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы были разработаны алгоритмы: быстрой локализации штрих-кодов, правильного позиционирования багажной бирки, локализации и распознавания цифробуквенной информации на языке Python с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Создана нейронная

сеть классификации цифробуквенной информации с точностью 95,88%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нанавова Т. А. Алгоритм извлечения текста из видео с использование библиотеки компьютерного зрения OpenCV / Т. А. Нанавова // Ростовский научный журнал — 2016. — № 7. — 21 с.

2. Сайт библиотеки OpenCV. URL: http://opencv.org (дата обращения: 27.07.2018).

3. Tensorflow documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа - https://www.tensorflow.org/guide/keras?hl=ru

Анализ возможностей формирования рациональной структуры многослойной искусственной нейронной сети

Веремеев Д.Н., Кислов К.В., Обухов П.С.
Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия
danvert1990@google.com

Exploring opportunities of synthesising artificial neuronal network's rational structure

Veremeev D.N., Kislov K.V., Obuhov P.S.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
danvert1990@google.com

Аннотация. **Оптимальная структура ИНС позволяет с использованием наименьшего числа ресурсов обеспечить необходимое качество работы ИНС. В статье рассматривается проблема идентификации оптимального числа нейронов скрытых слоев многослойной ИНС. Предложен и рассмотрен оптимизационный алгоритм, позволяющий определить наилучшее число нейронов скрытых слоев многослойной ИНС.**

Ключевые слова: **Многослойная искусственная нейронная сеть, оптимизация структуры искусственной нейронной сети, алгоритм.**

Abstract. **The optimal structure of the ANN allows using the least number of resources to ensure the necessary quality of the ANN. The article considers the problem of identifying the optimal number of neurons in the hidden layers of a multilayer ANN. An optimization algorithm is proposed and considered that allows one to determine the best number of neurons in the hidden layers of a multilayer ANN.**

Keywords**: Multilayer artificial neural network, structure optimization of an artificial neural network, algorithm.**

ВВЕДЕНИЕ

Одним из широко применяемых инструментов машинного обучения при решении разного рода задач является многослойная искусственная нейронная сеть (далее по тексту ИНС). Широкая применяемость и высокая эффективность многослойной ИНС обуславливают актуальность вызовов, связанных с данным инструментом [1-5].

Проблематика одного из основных неразрешенных вопросов, относящихся к многослойной ИНС, заключается в идентификации ее оптимальной структуры [6,7]. В данной статье этот вопрос рассматривается в плоскости определения оптимального числа персептронов каждого скрытого слоя ИНС.

ОПИСАНИЕ ГИПОТЕЗЫ

В основе, представленной в последующем параграфе методики, лежит идея, согласно которой оптимальная структура многослойной ИНС может быть определена исходя из анализа загруженности персептронов ИНС, во время ее динамики.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНОЙ ИНС

Методика определения оптимальной структуры многослойной ИНС будет представлена пошагово, на конкретном примере. Исходя из рассматриваемого вопроса, писанного в введен ии, под оптимальной структурой многослойной ИНС будем понимать такую структуру увеличения числа персептронов в скрытых слоях которой, не приведет к значимому повышению точности аппроксимации, а уменьшение числа персептронов скрытых слоев которой приведет к значительному повышению ошибки.

Для применения данной методики необходимо обеспечить выполнения ряда требований. Первое – наличие обучающей выборки, объем и качественный состав которой потенциально будет достаточен для обеспечения для выбранной концептуальной модели многослойной ИНС требуемого значения ошибки. Второе – необходимо иметь граничные значения диа-

пазона входящих параметров. В качестве примера будет аппроксимирована зависимость вида:

$$y = \frac{x_1}{2} - x_2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)}{10} \quad (1)$$

Для аппроксимирования зависимости будет использована многослойна ИНС прямого распространения, концепция которой подробно представлена в [8,9]. Обучение данной ИНС будет осуществляться с использованием алгоритма “обратного распространения ошибки”, который подробно описан в [10].

Работа с ИНС будет осуществляться с использованием среды Matlab и пакета Neural Neuron Tool Box.

Шаг 1. Произвольным образом задаем число слоев и количество нейронов каждого слоя. После чего проводим обучение ИНС. Если работа обученной ИНС не удовлетворительна по степени ошибки, тогда произвольно наращиваем в каждом слое число нейронов, после чего повторяем процесс обучения и проверки ИНС. Если наращивание числа слоев и числа нейронов в каждом слое не позволяет достичь требуемого показателя ошибки, то следует изменить исходные данные или требования, предъявляемые к системе. Если ИНС обеспечила аппроксимацию некоторой зависимости с удовлетворительным показателем ошибки, то следует переходить к следующему шагу.

Для рассматриваемого примера зададим для ИНС 4 слоя, 1 входной 1 выходной и 2 скрытых слоя. Каждый скрытый слой содержит по 10 персептронов, количество нейронов во входном и выходном слое соответствует количеству входные и выходных параметров соответственно. Проведя ее обучение, средняя ошибка аппроксимации при работе ИНС составила 0,5%.

Итог шага 1 – обученная ИНС имеющая избыточное число нейронов в скрытых слоях.

Шаг 2. Количество входных и выходных нейронов совпадает с числом входных и выходных параметров ИНС соответственно. Из чего можно заключить, что количество нейронов внешних слоев ИНС определяется числом вход-выходными параметрами.

Таким образом, вопрос определения рациональной структуры многослойной ИНС сводится к задаче определения оптимального числа нейронов скрытых слоев ИНС. На данном шаге проводится идентификация оптимального числа нейронов слоя.

Каждый слой рассматривается независимо. Рассмотрим процесс определение оптимального числа нейронов для i-го скрытого слоя ИНС. Каждый слой, характеризуется массивом пар $\{x, \alpha\}_k$, число пар определяется удвоенным произведением числа входных сигналов на число нейронов рассматриваемого слоя.

Процесс определения данных пар чисел удобно продемонстрировать на конкретном нейроне слоя. Пусть будет рассмотрен j-й персептрон i-го слоя. Данный персептрон имеет m входов. Каждый из входов характеризуется двумя парами. Рассмотрим вход под номером r. Как и любой другой вход персептрона, он характеризуется двумя парами $\{x, \alpha\}$. Значение α в двух парах одинаково и зависит от коэффициента пропорциональности сигнала k.

$$\alpha = arctg(k) \quad (2)$$

Расчет параметра x будет производиться по формуле:

$$x = \frac{b_{ji} + U_{ijr}}{k_{ijr}} \quad (3)$$

В формуле (3) k_{ijr} – коэффициента важности r-го входного сигнала j-ого персептрона в i-ом слое, b_{ij} – коэффициент предубеждения j-ого персептрона в i-ом слое, U_{ijr} – величина рассчитываемая как сумма произведений оставшихся (m-1) коэффициентов на их экстремальные значения.

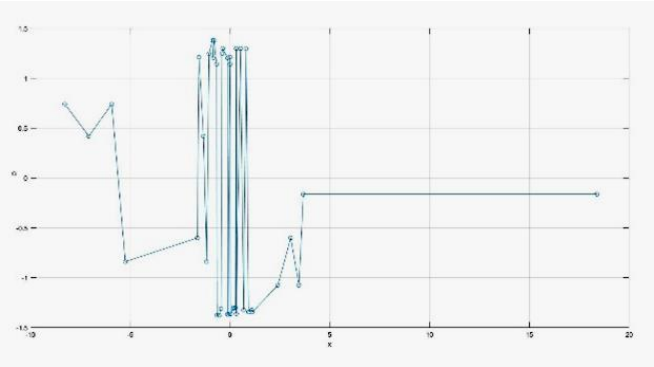
$$U_{ijr}^{max} = k_1 \cdot In_1^{max} + \cdots + k_{r-1} \cdot In_{r-1}^{max} + k_{r-1} \cdot In_{r+1}^{max} \cdots + k_m \cdot In_m^{max} \quad (4)$$

$$U_{ijr}^{min} = k_1 \cdot In_1^{min} + \cdots + k_{r-1} \cdot In_{r-1}^{min} + k_{r-1} \cdot In_{r+1}^{min} \cdots + k_m \cdot In_m^{min} \quad (5)$$

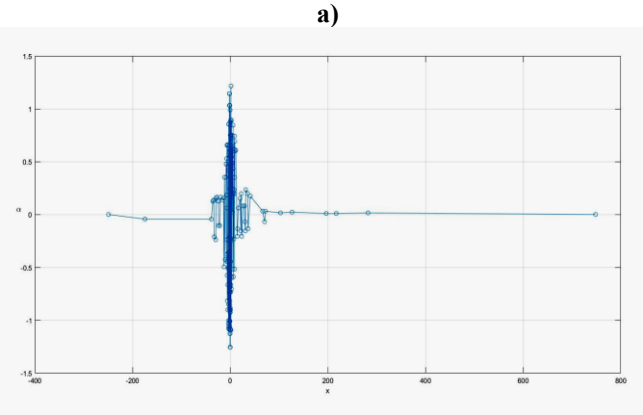
Нахождения максимальных и минимальных значений осуществляется подачей случайных значений на вход ИНС, с последующим анализом динамики, благодаря которому и выделяются экстремальные значения. После того как были проведены расчеты с применение формул (2)-(5), получаем две пары параметров характеризующий вход под номером r. Данная процедура совершается для каждого входа всех нейронов слоя.

Итог шага 2 – массивы значений $\{x, \alpha\}$, характеризующие каждый скрытый слой ИНС.

В качестве формы, удобной для интерпретации, был выбран график в Декартовой системе координат, где ось абсцисс – x, ось ординат – α. Графики для двух скрытых слоев рассматриваемой ИНС приведены ниже.



а)



б)

Рис. 1 Характеристики скрытых слоев ИНС, а) – первого скрытого слоя, б) – второго скрытого слоя

Шаг 3. На данном этапе происходит удаление избыточных вершин и определение оптимального числа нейронов каждого слоя.

Первоначально определяется приоритет удаления точек. Удобно представить механизм определения параметра приоритетности удаления точки графически.

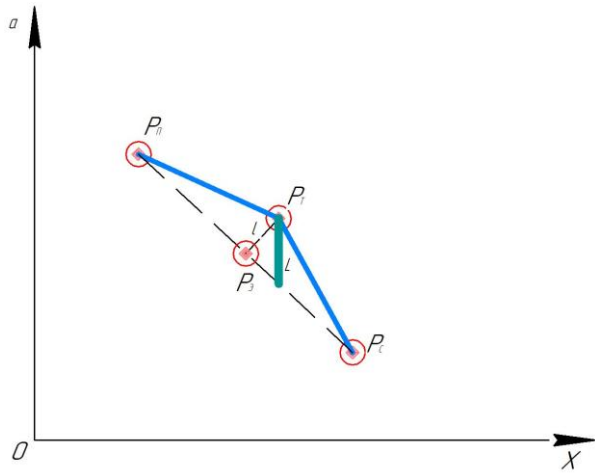


Рис. 2 Геометрическая интерпретация параметра приоритетности удаления точки

Пусть рассматривается некоторая точка Pт, для нее Рп и Рс – ближайшие точки слева и справа соответственно. Чем меньше значение l – тем приоритетнее ее удаление.

$$l = \sqrt{\left(\frac{P_п+P_с}{2} - P_т\right)^2 + \left(\frac{P_п+P_с}{2} - P_т\right)^2} \qquad (6)$$

При удалении точки абсолютное значение α ближайших вершин изменяется с сохранением знака на величину:

$$L = \frac{\alpha_{P_п} - \alpha_{P_с}}{x_{P_п} - x_{P_с}} \cdot \left(x_{P_т} - x_{P_п}\right) + \alpha_{P_п} \qquad (7)$$

Величина L распределяется между соседними вершинами пропорционально их удалённости от Pт. При этом измененное значение $|\alpha|$ для соседних вершин не должно превышать $\frac{\pi}{2}$.

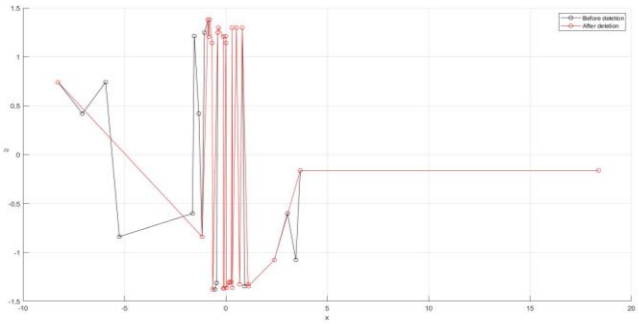
Для рассматриваемого примера отредактированные характеристики представлены на Рис. 3. Из них следует, что для аппроксимации рассматриваемой зависимости (1), будет достаточно в первом скрытом слое шести нейронов, а во втором одного.

Итог шага 3 – определение необходимого числа нейронов скрытых слоев ИНС.

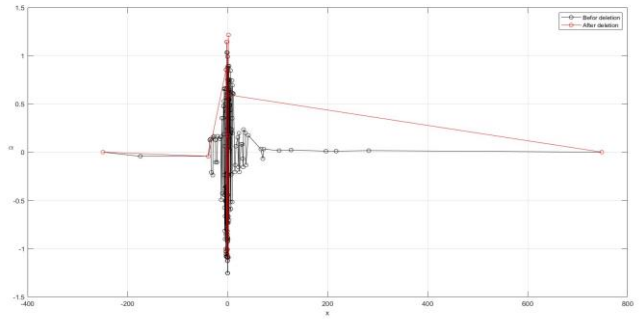
Шаг 4. На данном этапе проводится синтез и обучение новой ИНС, с расчетным числом нейронов каждого слоя. Для рассматриваемого примера ошибка работы, оптимизированной ИНС по сравнению с исходной, не изменилась, ошибка составила: 0,5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа рассматривает метод по оптимизации структуры многослойной ИНС. Очевидно, что ее цель направлена на исключения избыточности нейронов в слоях ИНС. С практической точки зрения, уменьшение числа нейронов приведет к уменьшению совершаемых действий вычислительным устройством необходимых для одной итерации ИНС. Как следствие повыситься быстродействие и уменьшится число потребляемых ресурсов, без ущерба качества функционирования ИНС. Таким образом описанный метод может использоваться для рационализации структуры многослойной ИНС.



а)



б)

Рис. 3 Оптимизированные характеристики скрытых первого (а) и второго (б) скрытых слоев ИНС

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповалова, А.В. Практическое применение искусственных нейронных сетей в обработке графической информации / А.В. Шаповалова // Молодой ученый. – 2017. – №10. – С. 41.-43.

2. Абрагин, А.В. Перспективы развития и применения нейронных сетей / А.В. Абрагин // ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. – 2015. – №12(42). – С. 12.-14.

3. Богославский, С.Н. Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития / С.Н. Богославский // Научный журнал КубГау. – 2007. – №27(3). – С. 2-11.

4. Талалаев, А.А. Анализ эффективности применения искусственных нейронных сетей для решения задач распознавания, сжатия и прогнозирования / А.А. Талаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №2. – С. 24-33.

5. Michelucci, U. Applied Deep Learning / U. Michelucci. – Dübendorf., apress, 2018. – 425 с.

6. Фатхи, Д. В. Методика определения оптимального числа нейронов выходного слоя сети Кохонена при решении задач кластеризации / Д.В. Фатхи, В.В. Галушка // Информационная безопасность регионов. – 2011. – №2(9). – С. 41-44.

7. Царегородцев, В.Г. Определение оптимального размера нейросети обратного распространения через сопоставление средних значений модулей весов синапсов / В.Г. Царегородцев // Материалы XIV Международной конференции по нейрокибернетике. – 2005. – Т.2. – С. 60-64.

8. Форум “QaruSite”. Статья “Экспорт нейронной сети, подготовленной с помощью MATLAB на других языках программирования”.

URL: http://qaru.site/questions/537663/export-a-neural-network-trained-with-matlab-in-other-programming-languages (дата обращения 05.08.2019).

9. Форум “machinelearning”. Статья “Машинное обучение”.

URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/ (дата обращения 06.08.2019).

10. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский, И.Д. Рудинский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

Метод сбора данных для мобильного управления узлом приемника в сетях беспроводных датчиков. Сеть на основе компрессионного зондирования

Быкадорова А.Г.
Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия
anastasia.intel@mail.ru

A data acquisition method for mobile receiver node management in wireless sensor networks. Network based on compressive sensing

Bykadorova A.G.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
anastasia.intel@mail.ru

Аннотация. **В статье предложен способ сбора данных мобильного узла приемника управления в сети беспроводных датчиков на основе компрессионного зондирования. Этот метод с регулярным отслеживанием выбирает оптимальные точки сбора данных в области мониторинга с помощью дискового метода, вычисляет кратчайший путь с использованием квантово-генетического алгоритма и, следовательно, определяет маршрут сбора данных. Результаты моделирования показывают, что этот метод имеет более высокую пропускную способность сети и лучшую энергоэффективность, способную собирать огромный объем данных при сбалансированном потреблении энергии.**

Ключевые слова: **сеть беспроводных датчиков, компрессионное зондирование, мобильный управляющий узел, квантово-генетический алгоритм.**

Abstract. **The article proposes a method of collecting data from a mobile node of a control receiver in a network of wireless sensors based on compression sensing. This method with regular tracking selects the optimal data collection points in the monitoring area using the disk method, calculates the shortest path using the quantum genetic algorithm and, therefore, determines the data collection route. The simulation results show that this method has a higher network bandwidth and better energy efficiency, able to collect a huge amount of data with balanced energy consumption.**

Keywords**: wireless sensor network, compressive sensing, mobile control node, quantum genetic algorithm.**

ВВЕДЕНИЕ

Сеть беспроводных датчиков использует огромное количество случайно развернутых узлов для покрытия области мониторинга, образует многопереходную специальную сетевую систему посредством беспроводной связи и, таким образом, выполняет долгосрочный автоматический мониторинг, сбор и передачу экологических данных. Это недавно разработанная технология, интегрированная и пронизанная встроенными системами, технологиями беспроводной связи, сетевыми технологиями и микроэлектромеханическими системами и т. д.; недорогая, маломощная автономная сетевая система, состоящая из крошечных узлов датчиков с сенсорными, вычислительными и коммуникационными возможностями; и "умная" система, способная самостоятельно выполнять различные задачи мониторинга в соответствии с окружающей средой [1]. Сеть беспроводных датчиков имеет широкий спектр применений, среди которых сбор данных является одним из ее основных приложений. Традиционный подход сбора данных заключается в фиксации положения всех узлов, сборе данных и последующей передаче

данных в узел приемника с помощью протокола маршрутизации. Его основные проблемы включают в себя:

1) ограничение подключения, которое указывает на то, что поскольку сеть не полностью подключена, неизбежно, что данные, собранные с некоторых узлов, не могут быть представлены;

2) эффект воронки, который указывает на то, что узлы ближе к узлу приемника будут потреблять больше энергии, сетевой раздел будет происходить раньше, поэтому реализовывают операцию с огромными данными [2].

Теория компрессионного зондирования предлагает новый режим сбора данных для сетей беспроводных датчиков[3]. Согласно теории компрессионного зондирования, разреженный сигнал может быть точно восстановлен с небольшим количеством выборок, и выборка может быть завершена линейной проекцией тестовых данных, что позволяет узлам датчиков получать данные компрессионным способом, без каких-либо дополнительных вычислительных затрат. Несмотря на много хороших характеристик, таких, как легкая конструкция, сильная приспособляемость и высокая эффективность передачи беспроволочные сети датчиков также потревожены некоторыми ограничениями оперируя понятиями энергоснабжения, жизненного цикла датчика, задержки по времени, ширины полосы частот, искажения сигнала, расхода передачи и так далее. Кроме того, узлы в сети беспроводных датчиков также нуждаются в отдельном энергоснабжении. Поэтому потребление энергии является важным фактором, определяющим жизненный цикл сенсорных узлов. Интеграция теории компрессионного зондирования и беспроводной сети датчиков предлагает эффективное решение этих проблем [4], которое оптимизирует потребление энергии узлами датчиков [5] и позволит точно восстанавливать разреженные сигналы в сети беспроводных датчиков даже с несколькими временами выборки [6]. По существу, такое интегрирование обеспечивает оптимальный метод вычисления, основанный на математическом верхнем пределе, для получения разреженной информации. Из-за своей открытости сеть беспроводных датчиков уязвима к влиянию шума окружающей среды, особенно при использовании сжимающего зондирования для создания недостаточной выборки. Хотя сеть может сократить расходы на сбор данных, такие “неполные” данные с недостаточной выборкой более чувствительны к шуму [7].

Вышеуказанные недостатки частично коренятся в стационарной особенности приемного узла. После предложений RacemoteZ, квадрокоптера и других мобильных узлов некоторые ученые выдвинули схемы сбора данных, основанные на мобильных узлах, которые частично решили вышеупомянутые проблемы и принесли преимущества в сети во всем, в том числе надежность передачи и прочих аспектах. Проблема этих методов заключается в том, что трудно определить маршрут движения узла приемника и существует определенная степень временной задержки. Большинство приложений сбора данных имеют меньшие требования к производительности в реальном времени, управление движением узла приемника становится ключевым. Некоторые результаты исследований были опубликованы в этом аспекте и классические стратегии включают случайное движение, движение вдоль края сети, движение к узлу с наибольшей отправкой данных, движение к узлу с наибольшей оставшейся энергией и т. д. Некоторые из этих методов не учитывают распределение узлов, а некоторые стоят больших вычислительных затрат, ни один из которых не подходит для сети беспроводных датчиков и сжимающего зондирования.

ОБЗОРЫ МОДЕЛЕЙ И ПРЕДПОЛОЖЕНИЙ

В настоящей работе предпринята попытка предложить метод сбора данных с регулярным треком (далее – DCMR). Стратегия перемещения DCMR включает в себя два этапа. Первый шаг состоит в том, чтобы выбрать массив точек сбора данных в соответствии с распределением узлов, а второй шаг – определить самую короткую контурную схему, проходящую через эти точки. Эта схема затем будет служить маршрутом сбора данных узла приемника, который перемещается по схеме для сбора данных. По данным исследования Akkaya et al. [8], оптимальная точка сбора данных в сети является проблемой NP, в то время как расчет кратчайшего контура является проблемой перемещения, которая также может быть классифицирована как проблема NP. Поскольку для этих двух шагов нет чрезвычайно хороших методов обработки, в этой статье делается попытка сделать некоторое упрощение и аппроксимацию. При выборе точек сбора DCMR пытается выбрать как можно меньше точек сбора данных и использует квантово-генетический алгоритм для вычисления самой короткой контурной схемы [9].

Приведенная выше схема делает следующие предположения для сети беспроводных датчиков на основе компрессионного зондирования:

1) Узел датчика. Все узлы датчика в сети имеют одинаковый тип и одинаковую начальную энергию, каждый из которых оснащен некоторым объемом памяти.

2) Сцена мониторинга. Целевая область является плоской областью, поэтому область мониторинга относительно плоская с отсутствием препятствий.

3) Узел приемника. Узел приемника имеет большую энергию батареи, относительно высокую емкость запоминающего устройства и некоторой степенью подвижности. Расстояние связи узла приемника такое же, как и у обычных узлов.

4) Развертывание узла. Узлы развертываются случайным образом и становятся неподвижными после развертывания.

5) Режим передачи данных. Пассивная подача. Узел сохраняет полученные данные в свой кэш и от-

правляет данные только после уведомления от узла приемника.

6) Тип Операции. Периодический сбор данных. Узел периодически собирает данные с датчика. Операция сбора данных не имеет особой потребности в задержке передачи. Среди них узел приемника является ключевым шагом, который реализует мобильность с помощью RacemoteZ, квадрокоптера и других мобильных узлов и обеспечивает энергоснабжение с помощью батарей большой емкости или регулярной зарядки аккумулятора. Кроме того, при расчете маршрута движения узла приемника в настоящей работе не учитываются ограничения дорожных условий на движущемся пути, что означает, что узел приемника может свободно перемещаться. Конечно, если узелом приемника является квадрокоптер и другие узлы датчиков полета, эта проблема больше не будет существовать.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ПРОЦЕДУРЫ

Общие понятия

Схема DCMR использует мобильные узлы приемника для сбора данных, генерируемых в сети. Мобильные тракты оказывают большее влияние на производительность сбора данных в сети. В протоколе DCMR путь перемещения узла приемника определяется следующими двумя этапами:

1) определение точки сбора данных: сначала определяют положение каждого диска и выбирают точку сбора данных на диске;

2) вычисление кратчайшего пути: используют квантовый генетический алгоритм для идентификации кратчайшего цикла через эти точки.

На первом этапе протокол DCMR должен выбрать массив точек сбора данных из области мониторинга. Как определить оптимальные точки сбора данных в сети – это проблема NP, для которой нет хороших методов обработки, поэтому наша цель – обработать как можно меньше точек сбора в сети, что может не только помочь уменьшить объем вычислений на втором шаге, но и выработать кратчайший путь. В сети беспроводных датчиков диапазон связи узла приемника вокруг каждой точки сбора можно рассматривать как диск, центрированный вокруг этой точки сбора данных. Поэтому задача на первом этапе состоит в том, чтобы найти набор координационных точек, удовлетворяющих следующим двум условиям: 1) как можно меньше координатных точек; 2) набор дисков R-радиуса, центрированных на этих координатных точках, способных охватить область мониторинга.

На втором этапе DCMR вычисляет схему с самой короткой петлей, проходящую через эти точки сбора данных, что не только снижает потребление энергии для перемещения узла приемника, но и сокращает временную задержку представления данных. Поскольку схема с кратчайшим циклом также является проблемой NP, DCMR выбирает квантовый генетический алгоритм для расчета. Он основан на традиционном генетическом алгоритме, квантовый генетический алгоритм вносит концепцию квантового вычисления, значительно улучшая его скорость сходимости и способность находить решения.

Процедуры

Процедуры сбора данных иллюстрируются следующим образом:

1) Инициализация. Все узлы сообщают свои позиции узлу приемника.

2) Расчет траектории. Согласно расположению всех узлов, узел приемника обнаруживает все точки сбора данных в сети и разрабатывает схему кратчайшего контура, проходящую через эти точки.

3) Сбор данных. Узел приемника перемещается по вычисленному маршруту и передает уведомление о сборе данных после достижения точки сбора. Соседние узлы передают сохраненные данные после получения уведомления. Чтобы уменьшить конфликты каналов, каждый узел должен ждать случайного промежутка времени перед отправкой данных. Во время сбора данных некоторые узлы могут погибнуть после того, как сеть проработала в течение определенного периода, поэтому DCMR может перезапустить вычисление маршрута перемещения узла приемника чтобы адаптироваться к распределению узлов в сети. Предустановленные условия запуска включают таймер, число погибших и так далее.

ТЕСТОВЫЕ СЦЕНАРИИ И ИНДИКАТОРЫ

Для проверки производительности DCMR в этой статье проводится сравнительный тест между DCMR, стационарным режимом узла приемника, стратегией случайного перемещения и периферийным протоколом в среде NS 2.34. Среди этих четырех стратегий DCMR и Random используют режим пассивной отправки, в котором узлы хранят полученные данные на локальном компьютере и передают их узлу приемника после получения уведомления. Однако стационарный и периферийный подходы принимают режим активной отправки, в котором узлы берут на себя инициативу по отправке собранных данных в узел приемника с помощью протокола маршрутизации. Установленные экспериментально значения параметров приведены в Таблице 1

Таблица 1

Установленные параметры	
Параметры	***Значения***
Размер сцены	100*100 (м^2)
Количество узлов	100, 200, 300, 400
Протокол маршрутизации	Стационарный и периферийный: AODV DCMR и Random: Нет
MAC протокол	802.11
Начальная энергия узла	1,8 Дж
Скорость сбора данных	40 Кб/10 с
Радиус связи узла	10 м
Скорость перемещения узла приемника	Стационарный: 0 (м/с) Другие протоколы: 5,25(м/с)

В ходе экспериментальной проверки в настоящей работе в основном рассматриваются следующие шесть показателей:

1) пропускная способность: отношение количества всех пакетов данных в сети к рабочему времени сети. Пакеты данных в сети включают в себя отправленные пакеты данных, повторные пакеты данных из-за конфликтов, пакеты данных, пересылаемые узлами, пакеты запросов маршрутизации, пакеты управления маршрутизацией и т.д.;

2) объем собранных данных: относится к числу действительных пакетов данных, которые достигли узла приемника. Так называемые действительные пакеты данных относятся к пакетам, содержащим требуемые данные;

3) остаточная энергия: относится к остаточной энергии всех узлов в сети, когда сеть не работает должным образом, а также в то время, когда узел приемника не собирает никаких данных;

4) эффективность: относится к отношению общего числа действительных пакетов данных, полученных узлом приемника к общему количеству всех пакетов данных в сети;

5) средняя задержка: относится к среднему значению временной задержки всех действительных пакетов данных, которые достигли узла приемника;

6) коэффициент энергоэффективности: относится к соотношению энергопотребления пакетов данных, полученных узлом приемника, к общему энергопотреблению во всей сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Экспериментальные результаты показывают, что метод DCMR имеет лучшую производительность с точки зрения пропускной способности сети, энергоэффективности и других аспектов, а также собирает больше данных. Использование мобильного узла приемника может улучшить пропускную способность сети, сбалансировать энергопотребление узлов, повысить эффективность сбора данных и нормально работать даже в случае раздела сети. Метод DCMR, предложенный в этой статье, показывает все эти преимущества. Из-за ограничения скорости перемещения узла приемника, будет некоторая степень задержки во времени сбора данных. Таким образом, метод DCMR имеет многообещающие перспективы применения для задач сбора данных, которые содержат огромный объем данных и не имеют жестких требований по срокам. Если мы сможем внедрить объединение данных, планирование узлов, параллельную передачу и другие технологии в узлы датчиков и интегрировать их с методом DCMR, производительность сети будет улучшена еще больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stankovic J.A., Abdelzaher F. Real-Time Communication and Coordination in Embedded Sensor Networks / J.A. Stankovic, F. Abdelzaher, C.Y. Lu, L. Sha, J.C. Hou // Proceedings of the IEEE – 2003.– 91(7). – P. 1002-1022.

2. Jian Guo. Research on Several Key Technologies of Data Processing in Wireless Sensor Networks. Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2012. – P. 39-40.

3. Chen Shan-Xiong, Xiong Hai-Ling. Intrusion detection based on compressed sensing / Chen Shan-Xiong, Xiong Hai-Ling Peng Xi-Hua, Wu Sheng. ICIC Express Letters, 2013 – 7(10). – P. 3169- 3176.

4. Aeron S., Saligrama V. Information theoretic bounds for compressed sensing / S/ Aeron, V. Saligrama, Zhao Manqi // IEEE Transactions on Information Theory – 2010. – 56(10). – P. 5111-5130.

5. Zhuang Xiaoyan. Wireless sensor networks based on compressed sensing / Zhuang Xiaoyan, Wang Houjun, Dai Zhijian // Proceedings of the 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology(ICCSIT) – China: Chendu, 2010. – P. 90-92.

6. Pepe A. Collaboration in sensor network research. An in-depth longitudinal analysis of assortative mixing patterns / Pepe A., Rodriguez M A. – Scientometrics, 2010. – 84(3). – P. 687-701.

7. Chen Shanxiong. A Reconstruction Algorithm of Wireless Sensor Signal Based on Compressed Sensing / Chen Shanxiong, He Zhongshi, Xiong Hailing, Liao Jianwei // Chinese Journal of Computers. – 2015. – 38(3). – P. 614-622.

8. Akkaya K. Sink repositioning for enhanced performance in wireless sensor networks / Akkaya K., Younis M., Bangad M. // Computer Networks. – 2005. – 49(4). – P. 512-534.

9. Yang J.A. Research of Quantum Genetic Algorithm and Its Application in Blind Source Separation / Yang J.A., Zhuang Z.Q. // Journal of Electronics. – 2003. – 20(1). – P. 62-68.

Учет высших форм колебаний при оценке сейсмостойскости систем нелинейным статическим методом

Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю.
ФГАОУ ВО «УрФУ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Российская Федерация, Екатеринбург
zubrickiy_maksim@mail.ru

Сабитов Л.С.
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Российская Федерация, Казань
sabitov-kgasu@mail.ru

Account for the contribution of higher modes under system seismic resistance estimation by nonlinear static method

Zubritskiy M.A., Ushakov O.Y.
The Institute of Civil Engineering and Architecture
Ural Federal University, UrFu
Ekaterinburg, Russian Federation
zubrickiy_maksim@mail.ru

Sabitov L.S.
Institute of Engineering
Kazan Federal University, KFU
Kazan, Russian Federation
sabitov-kgasu@mail.ru

Аннотация. **В статье предложена методика учета высших форм колебаний при оценке сейсмостойкий систем на воздействия уровня МРЗ. В рамках исследования выполнен комплекс динамических и статических расчетов нелинейной постановке с целью верификации предложенной методики нахождения модифицированной системы сил. Установлено, что расчет на воздействия уровня МРЗ с учетом высших форм колебаний позволяет значительно снизить дефицит сейсмостойкости систем.**

Ключевые слова: **сейсмостойкость, расчет на максимальное расчетное землетрясение, ККСК, Pushover-анализ.**

Abstract. **The article presents higher modes accounting method under estimation of system seismic resistance by nonlinear static method. As part of the study, in order to verify the proposed method for finding the inertial forces modified system a complex of dynamic and static calculations was performed. It is established that proposed inertial forces modified system can significantly reduce system seismic resistance lack.**

Keywords**: seismic resistance, SRSS, Pushover-analisys.**

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день для нахождения наиболее неблагоприятного отклика системы нелинейным статическим методом необходимо выполнить как минимум два расчета с различным распределением инерционных горизонтальных сил по высоте системы [1-3]:

– Система инерционных сил, соответствующая главной форме собственных колебаний системы. Оценку сейсмостойкости системы с заданным распределением возможно выполнить только если модальная масса рассматриваемой формы не менее 75%;

– Система инерционных сил, полученная на основании суперпозиции инерционных сил нескольких форм колебаний. При этом суммарная модальная масса рассматриваемых колебаний не должна быть меньше 90%;

– Универсальное распределение системы сил пропорционально сосредоточенным массам в узлах системы;

– Адаптивная система инерционных сил, изменяющаяся в зависимости от перемещения узлов системы в процессе нагружения.

Дальнейший поиск характеристической точки на графике несущей способности системы, посредством

которой оценивается сейсмостойкость системы – процесс трудоемкий и требующий построения громоздких графиков и нетривиальных вычислений. В современных программных комплексах реализован нелинейный статический метод только на основании системы инерционных сил, соответствующей только одной из форм колебаний. Кроме того, отклик конструкции при заданном воздействии значительно меньше результатов, полученных на основании прямого динамического метода [4], на основании которого возможно наиболее точно оценить отклик конструкции на заданное сейсмическое воздействие.

МЕТОДИКА УЧЕТА ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ

Для определения отклика системы с учетом влияния высших форм колебаний рассмотрим следующий метод, для чего введем понятие модифицированной системы инерционных сил.

Под модифицированной системой инерционных сил будем понимать систему сил, полученную на основании суперпозиции сил методом «Корень Квадратный Суммы Квадратов» [5], при которой перемещение верха рассматриваемой расчетной модели будет соответствовать суммарным перемещениям, полученным на основании линейно-спектрального анализа.

Согласно [6, 7] для разрушения материала, независимо от того, какая будет приложена нагрузка (т.е. статическое медленное загружение, динамическое – быстрое загружение, однократное или многократное), необходимо затратить одно и то же количество энергии. Таким образом, энергия деформации линейной системы с модифицированной системой инерционных сил тождественна энергии деформации системы с учетом пластических деформаций.

Следующим этапом оценки сейсмостойкости является построение на основании нелинейного статического расчета системы с одной степенью свободы при действии модифицированной системы инерционных сил графика зависимости «Усилие в основании V_b – Смещение верха системы Δ» – график несущей способности. Учитывая, что энергии упругой и упругопластической деформации равны, полученное значение перемещения верха системы Δ является целевым значением для оценки сейсмостойкости всей системы в целом, на основании которого возможно определить междуэтажные смещения, внутренние усилия в элементах системы, а также проанализировать заупругую работы узлов и элементов системы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ

В качестве расчетной динамической модели принят вертикальный стержень с тремя равномерно распределенными по высоте сосредоточенными массами (рис. 1).

Для описания нелинейной работы элементов системы принята модель изотропного упрочнения стали (Bilinear Kinematic Hardening). Общие характеристики системы приведены в табл. 1.

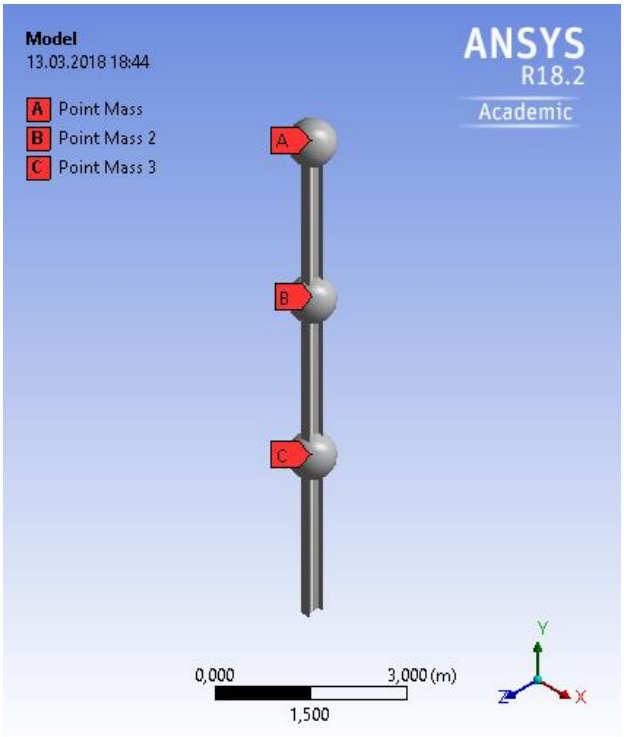


Рис. 1. Общий вид расчетной динамической модели

Таблица 1

Общие характеристики системы

Наименование	Значение		
	Erthq.1	***Erthq.2***	***Erthq.3***
Сечение, мм	Двутавр 300(h)x200(b)x15(b_f)x8(b_w)		
Высота, мм	9000		
Модуль деформации, Па	$2e^{11}$		
Предел упругости, МПа	270		
Тангенциальный модуль деформации, МПа	$5{,}361e^3$		
Сосредоточенные массы $m_a = m_b = m_c$, кг	3000	10000	7000
Первая частота собственных колебаний f_1, Гц	0,853	0,45094	0,5637
Вторая частота собственных колебаний f_2, Гц	5,397	2,8677	3,5813

Сейсмические воздействия заданы следующими однокомпонентными акселерограммами, действующими в плоскости YoZ:

1. Iran, 1978 г. (Erthq. 1);
2. El Centro, USA (California), 1979 г. (Erthq. 2);
3. Duzce, Turkey, 1999 г. (Erthq. 3).

Записи акселерограмм взяты из базы данных PEER Ground Motion Data Base [8].

Для вычисления системы сил для выполнения анализа сейсмостойкости системы мультимодальным

нелиненйым статическим методом исходными данными являются инерционные силы первых трех форм колебаний, суммарная модальная масса которых менее 90 % от общей [9].

Распределение инерционных сил и результирующая система сил для сейсмического воздействия Iran, 1978 г. (Erthq1) получены на основании линейно-спектрального анализа.

Для вычисления коэффициента редуцирования инерционных сил выполним статический расчет системы. Полученное значение коэффициента представлено в табл. 2. Также определяется энергоемкость системы.

Следующим этапом оценки сейсмостойкости системы является выполнение нелинейного статического расчета при действии модифицированной системы инерционных сил, на основании которого строится кривая несущей способности в координатах «сдвигающая сила в основании – перемещение верха системы».

Поиск характеристической точки является итерационным: необходимо найти такую точку на графике несущей способности, чтобы площадь образованной под графиком фигуры соответствовала целевой энергоемкости системы.

Полученные результаты для сейсмических воздействий Erthq1..3 сведены в табл. 2.

Для оценки погрешности откликов, полученных мультимодальным нелинейным статическим методом, сравним результаты с откликами, полученными на основании прямого динамического метода с использованием записей ускорений Erthq1-3 [4].

Для оценки качества полученных данным выполним их статистическую обработку:

– Среднее значение погрешности горизонтальных смещений узлов системы составило 2,16%; среднеквадратичное отклонение – 5,59 %;

– Среднее значения погрешности изгибающих моментов в элементах системы составило 5,58%; среднеквадратичное отклонение – 1,03 %;

– Среднее значения погрешности поперечных сил в элементах системы составило 11,58%; среднеквадратичное отклонение – 3,13 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Для учета влияния высших форм колебаний при оценке сейсмостойкости систем предложена методика поиска начальных инерционных сил для последующего нахождения характеристической точки на графике несущей способности системы – мультимодальный нелинейный статический метод. По результатам выполненного комплекса расчетов можно сделать вывод о целесообразности применения предложенной методики. Разница в результатах, полученных прямым динамическим методом, с результатами на основе мультимодального нелинейного статического метода по всем критериям отклика конструкции не превышает 12%.

Разработанная методика позволяет производить оценку сейсмостойкости высотных конструкций, а также нерегулярных по высоте зданий и сооружений.

Таблица 2

Результаты расчета мультимодальным нелинейным статическим методом

Наименование	**Значение**		
	Erthq.1	***Erthq.2***	***Erthq.3***
Инерционная сила в уровне верхнего узла после сложения модальных откликов, кг	4585,5	3492,1	3755,7
Инерционная сила в уровне среднего узла после сложения модальных откликов, кг	5995,0	4310,1	4529,5
Инерционная сила в уровне нижнего узла после сложения модальных откликов, кг	5281,7	4112,7	3913,2
Максимальные перемещения верхнего узла по результам расчета линейно-спекральной теорией, мм	271,11	264,35	267,79
Максимальные перемещения верхнего узла при действии модифицированной системы инерционных сил, мм	717,78	536,55	565,96
Коэффициент редуцирования α	0,3777	0,49268	0,47316
Максимальная поперечная сила в заделке системы при действии редуцированной системы инерционных сил, кН	58,754	57,57	56,602
Потенциальная энергия деформации системы / Энергоемкость системы, Дж	796,41	760,93	757,87
Максимальные перемещения верхнего узла системы по результатам расчета мультимодальным нелинейным статическим методом (МНСМ), мм	282,0	270,85	274,0
Максимальные перемещения среднего узла системы по результатам расчета МНСМ, мм	159,66	153,08	154,2
Максимальные перемещения нижнего узла системы по результатам расчета МНСМ, мм	54,69	51,75	51,95
Максимальный изгибающий момент в заделке системы по результатам расчета МНСМ, кН·м	287,56	284,76	284,78
Максимальная поперечная сила в заделке системы по результатам расчета МНСМ, кН	49,0	48,73	47,77

Неоспоримым преимуществом предложенной методики является простота алгоритма поиска характеристической точки и возможность внедрения в любой программный комплекс с интерфейсом прикладного программирования (Лира 10.X [10], ANSYS [11] и др.)

Стоит отметить, что при меньших затратах машинного времени мультимодальный нелинейный статический метод может быть достойной альтернативной прямому динамическому методу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Applied Technology Council (ATC-40). (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Redwood, CA

2. Eurocode 8: Seismic Design of Buildings. EUR 25204 EN – 2012

3. FEMA-356. (2000). Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA

4. Zubritskiy, M.A., Ushakov, O.Y., Sabitov, L.S. (2019). Performance-based seismic evaluation methods for the estimation of inelastic deformation demands, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

5. Kalkan, E., and Kunnath, S. K. (2004). “Method of modal combinations for pushover analysis of buildings.” Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, 2004, Vancouver, BC, Canada.

6. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. унив-т. – М.: МГСУ, 2010. – 152 с.

7. О.В. Мкртычев. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения) : монография / О.В. Мкртычев, Г.А. Джинчвелашвили ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва : МГСУ, 2012. – 192 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ).

8. PEER Ground Motion Database // https://ngawest2.berkeley.edu/ (дата обращения 20.05.2019)

9. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах.М.:2014

10. https://lira-soft.com/ (дата обращения 05.09.2019)

11. https://www.ansys.com/ (дата обращения 05.09.2019)

Модель объединения изображений, полученных с датчиков различной природы

Жданова М.М., Воронин В.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ),
344000, пл. Гагарина 1, Ростов-на-Дону, Россия;

Московский государственный технологический университет СТАНКИН,
127055, Вадковский пер. 3а, Москва, Россия.
mpismenskova@mail.ru

Сизякин Р.А., Гапон Н.В., Балабаева О.С.
Донской государственный технический университет (ДГТУ),
344000, пл. Гагарина 1, Ростов-на-Дону, Россия

A model for combining images obtained from sensors of various nature

Zhdanova M.M., Voronin V.V.
Don State Technical University (DSTU),
Rostov-on-Don, Russia;

MSTU STANKIN, Moscow, Russia
mpismenskova@mail.ru

Sizyakin R.A., Gapon N.V., Balabaeva O.C.
Don State Technical University (DSTU)
Rostov-on-Don, Russia

Аннотация. **Задачи распознавания действий и классификации объектов является основополагающими в системах компьютерного зрения. Даже мелкие подзадачи, такие как распознавание атомарных движений и отдельных предметов формируют основу для понимания ситуации, происходящей в рабочей области и сцены в общем. Особенно это важно в системах видеонаблюдения, предназначенных для обеспечения безопасности. Таким образом, эффективность методов распознавания и классификации является одной из первостепенных задач компьютерного зрения. Но методы, ориентированные на работу с данными видимого спектра, сталкиваются с некоторыми трудностями, такими как: неоднородный фон, неконтролируемая рабочая среда, неравномерность освещения и др. Для устранения этих недостатков в работе представлена модель объединения изображений видимого диапазона и карты глубины. Эта модель позволяет улучшить качество распознаваемых изображений, обеспечивает построение более информативного дескриптора, что так же положительно влияет на эффективность распознавания. Подход был протестирован на нескольких базах данных и показал высокие результаты в сравнении с использованием лишь одного потока данных: видимого диапазона или карты глубины.**

Ключевые слова: **распознавание изображений, карта глубины, модель комплексирования данных, image fusion model, RGBD, multi-view image.**

Abstract. **The tasks of recognizing actions and classifying objects are fundamental in computer vision systems. Even small subtasks, such as recognition of atomic movements and individual objects form the basis for understanding the situation occurring in the workspace and the scene in general. This is especially important in video surveillance systems designed to ensure security. Thus, the effectiveness of recognition and classification methods is one of the primary tasks of computer vision. But methods focused on working with visible spectrum data encounter some difficulties, such as: heterogeneous background, uncontrolled work environment, uneven lighting, etc. To eliminate these shortcomings, a model for combining visible range images and depth maps is presented. This model allows to improve the quality of recognized images, provides the construction of a more informative descriptor, which also positively affects the recognition efficiency. The approach was tested on several databases and showed good results in comparison with using only one data stream: visible range or depth map.**

Keywords: **image recognition, depth map, data integration model, image fusion model, RGBD, multi-view image.**

ВВЕДЕНИЕ

Со стремительным техническим развитием современного общества, автоматизацией и информатизацией всех сфер жизни, компьютерное зрение внедряется во многие окружающие нас системы, такие как обеспечение безопасности, системы мониторинга и управления, системы аутентификации, автоматизации различных производственных процессов, системы контроля качества и инспектирования и др. Распознавание объектов и классификация действия имеют фундаментальное значение для решения почти всех вышеперечисленных задач. Автоматизированные системы распознавания объектов и действий сталкиваются с рядом трудностей при реализации в реальных условиях, это неоднородный фон, неконтролируемая рабочая среда, нерегулярное освещение и т.д. В этой связи актуальной задачей является объединение информации с камер видимого диапазона и датчики глубины для получения информативных признаков объектов, расположенных в кадре.

В ряде ранее опубликованных работ [1–4] было показано, что слияние данных с камер видимого диапазона и сенсоров глубины, или данных инфракрасных датчиков, повышает точность распознавания. Основное внимание уделяется сенсорам глубины и инерциальным датчикам, поскольку эти два типа датчиков являются экономически эффективными, коммерчески выгодными, и, что более важно, они оба предоставляют трехмерные данные о действиях человека и структуре сцены.

В работе [1] представлены данные, полученные с инфракрасных датчиков и сенсоров глубины, объединенные для распознавания лиц. Технология распознавания лиц на основе данных, полученных с инфракрасных датчиков, получила широкое распространение в научных кругах за счет инвариантности к изменению освещения [4]. Инфракрасное изображение лица впервые было использовано в качестве получения надежной сигнатуры лица в [5], поскольку такое изображение описывает температурную картину лица и отражает венозную систему. Таким образом, методы на основе инфракрасных изображений считаются надежным, а дескрипторы, полученные на их основе, – обладающими различимыми физиологическими биометрическими параметрами [1].

В [2, 3, 6] представлены методы распознавания действий человека на основе последовательностей изображений глубины. Было показано, что объединение информации о глубине и данных видимого диапазона приводит к более надежному распознаванию.

В работе [7] представлен новый метод распознавания объектов по данным видимого спектра и информации о глубине (RGB-D). В частности, авторы сосредоточили внимание на том, чтобы сделать распознавание устойчивым к несовершенным данным датчика. Предлагаемая архитектура состоит из двух сверточных нейронных сетей, работающих с информацией о цвете и глубине. Сеть автоматически учится объединять эти два потока информации.

Как показывает литературный обзор, инфракрасные изображения представляют тепловую картину человеческого тела или сцены, на которую влияют температура окружающей среды, условия воздушного потока, физические упражнения, болезни и многое другое [2]. В свою очередь, технология датчиков глубины демонстрирует меньшую чувствительность к изменениям освещения и фоновым помехам.

В данной работе представлена модель объединения изображений видимого диапазона и изображений глубины.

МОДЕЛЬ ОБЪЕДИНЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Наиболее важным преимуществом совместного использования датчиков глубины и камер видимого диапазона является взаимодополняющий характер различных модальностей, которые обеспечивают информацию о глубине и видимом спектре сцены. Взаимодополняемость информации, получаемой различными способами, позволяет повысить надежность и устойчивость распознавания [8]. В качестве прототипа нашей модели, представленной в этой статье, предложена технология слияния изображений с несколькими изображениями похожая на устройство системы видения человека (HVS), в которой используется модель параметрической логарифмической обработки изображений (PLIP) [1]. Модель PLIP [9], обобщенная версия модели LIP, рассматривает изображения в градациях серого и обрабатывает их, используя новые арифметические операторы, заменяющие стандартные арифметические операторы. Функция серого тона для данного изображения генерируется с использованием:

$$\Psi = \alpha - 1 \qquad (1)$$

где α – параметр модели. Значение α зависит от изображения и является максимальным значением интенсивности I.

Объединение изображений осуществляется по следующей формуле:

$$fusedImage = \widehat{\Psi}_1 \widetilde{\oplus} \widehat{\Psi}_2 \widetilde{\oplus} \widehat{\Psi}_3 \qquad (2)$$

где Ψ_1 – изображение видимого спектра; Ψ_2 – изображение глубины; Ψ_3 максимум комбинированного изображения, полученного путем выбора максимального значения интенсивности глубины или видимого изображения в каждом местоположении пикселя; $\widetilde{\oplus}$ – оператор сложения PLIP, $\widehat{\Psi}_i$ – результат скалярного умножения PLIP, как представлено ниже:

$$\Psi_1 \widetilde{\oplus} \Psi_2 = \Psi_1 + \Psi_2 - \left(\frac{\Psi_1 \Psi_2}{\max(\Psi_1, \Psi_2)}\right) \qquad (3)$$

$$\widehat{\Psi}_i = \left(\Omega_i \widetilde{\otimes} \Psi_i\right) = \max(\Psi_i) - \max(\Psi_i)\left(1 - \frac{\Psi_i}{\max(\Psi_i)}\right)^{\Omega_i} \qquad (4)$$

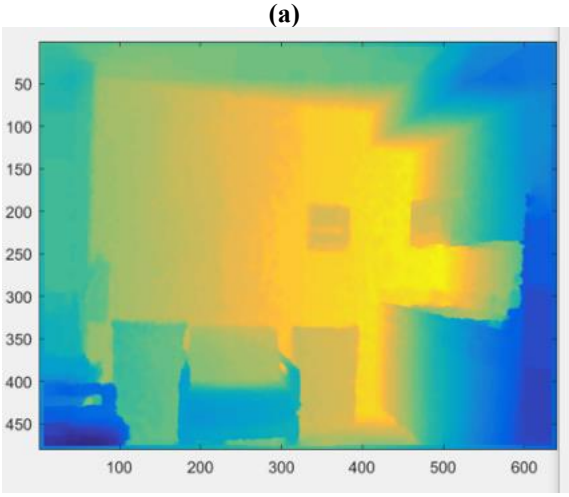
Константы Ω_i, представленные в [1] имеют следующие значения $\sum \Omega_i = 1$, $\Omega_1 = 0.2989$, $\Omega_2 = 0.5870$ и $\Omega_3 = 0.1141$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

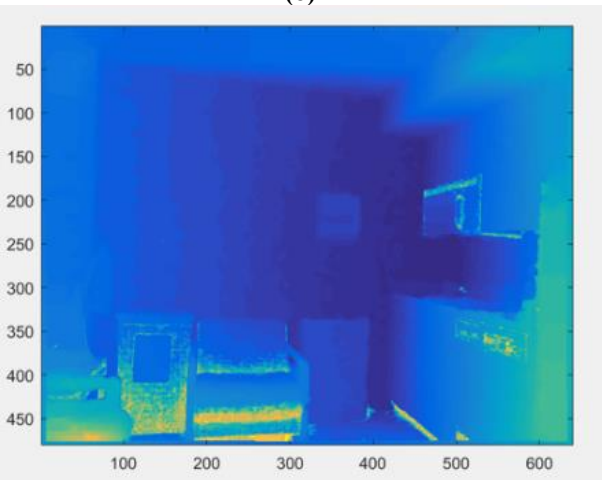
Для разработки и проведения экспериментальных исследований был использован набор данных NYU-Depth V2 [10]. Этот набор данных состоит из 1449 пар изображений RGB и глубины.

Результат объединений изображений глубины и видимого спектра предложенным методом представлены на рис. 1-3.

(а)



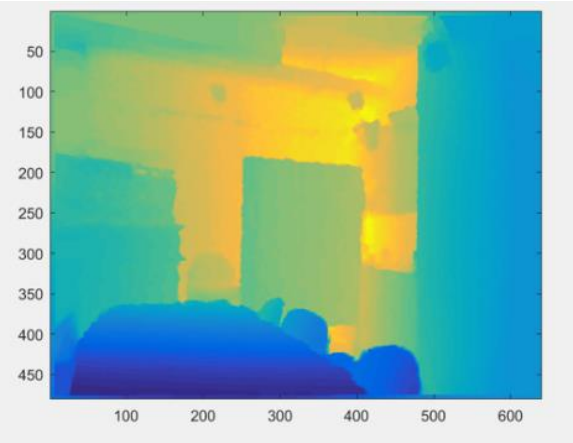
(б)



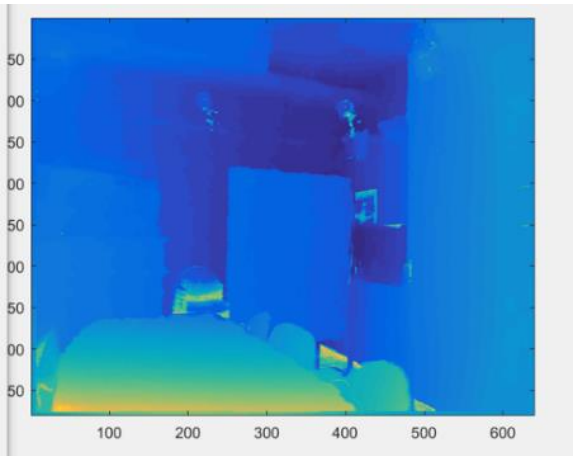
(в)

Рис. 1. Объединение изображений видимого спектра и глубины: (а) изображение видимого спектра; (б) изображение глубины; (в) объединенное изображение

(а)



(б)

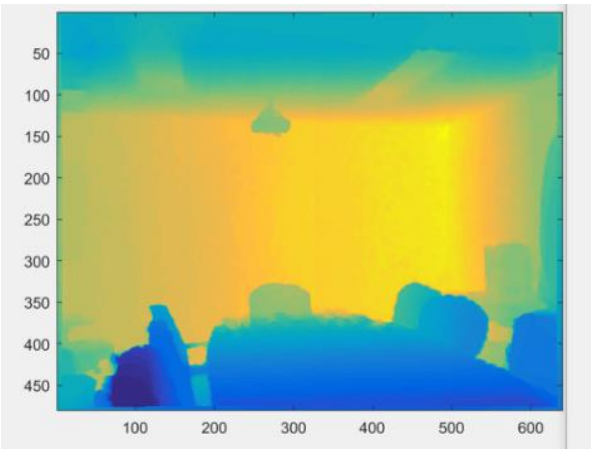


(в)

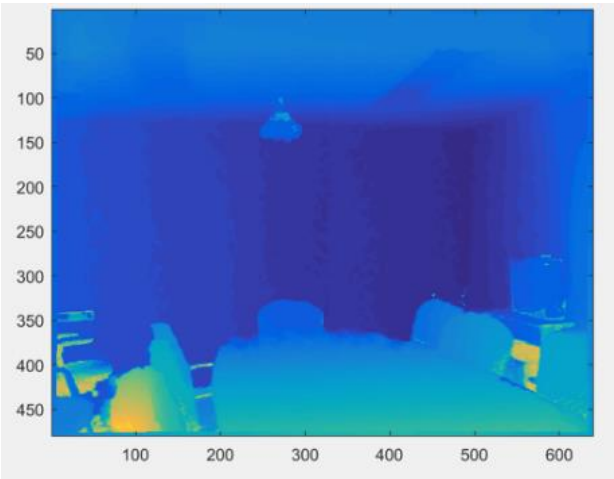
Рис. 2. Объединение изображений видимого спектра и глубины: (а) изображение видимого спектра; (б) изображение глубины; (в) объединенное изображение

Успешное объединение изображений является важным шагом для повышения точности систем распознавания. Объединенное изображение содержит характеристики как видимого, так и глубинного изображений, совмещая в себе преимущества обеих модальностей. Эту модель планируется использовать в дальнейших исследованиях для распознавания объектов и классификации действий человека.

(а)



(б)



(в)

Рис. 3. Объединение изображений видимого спектра и глубины: (а) изображение видимого спектра; (б) изображение глубины; (в) объединенное изображение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Была предложена модель для объединения изображений видимого диапазона и изображений глубины. Эта модель позволяет улучшить качество распознавания изображений, обеспечивает построение более информативного дескриптора, что также положительно влияет на эффективность распознавания. Подход объединения был опробован на нескольких базах данных и показал хорошие результаты при использовании данных видимого диапазона и глубины.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-313-00090.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wan Q. et al. Face description using anisotropic gradient: thermal infrared to visible face recognition //Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2018. – International Society for Optics and Photonics, 2018. – Т. 10668. – С. 106680V.
2. Chen C., Jafari R., Kehtarnavaz N. Improving human action recognition using fusion of depth camera and inertial sensors //IEEE Transactions on Human-Machine Systems. – 2014. – Т. 45. – №. 1. – С. 51-61.
3. Chen C., Jafari R., Kehtarnavaz N. A real-time human action recognition system using depth and inertial sensor fusion //IEEE Sensors Journal. – 2015. – Т. 16. – №. 3. – С. 773-781.
4. Mostafa E. et al. Face recognition in low resolution thermal images //Computer Vision and Image Understanding. – 2013. – Т. 117. – №. 12. – С. 1689-1694.
5. Prokoski F. J., Riedel R. B., Coffin J. S. Identification of individuals by means of facial thermography //Proceedings 1992 International Carnahan Conference on Security Technology: Crime Countermeasures. – IEEE, 1992. – С. 120-125.
6. Yang X., Zhang C., Tian Y. L. Recognizing actions using depth motion maps-based histograms of oriented gradients //Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia. – ACM, 2012. – С. 1057-1060.
7. Eitel A. et al. Multimodal deep learning for robust RGB-D object recognition //2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – IEEE, 2015. – С. 681-687.
8. Serrano-Cuerda J., Fernández-Caballero A., López M. Selection of a visible-light vs. thermal infrared sensor in dynamic environments based on confidence measures //Applied Sciences. – 2014. – Т. 4. – №. 3. – С. 331-350.
9. Panetta K., Wharton E., Agaian S. Parameterization of logarithmic image processing models //IEEE Tran. Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. – 2007.
10. Silberman N. et al. Indoor segmentation and support inference from rgbd images //European Conference on Computer Vision. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. – С. 746-760.

Реконструкция медицинских изображений с использованием многомасштабных блоков и работы нейронной сети

Гапон Н.В.,[1] Воронин В.В.,[1,2] Сизякин Р.А.,[1] Жданова М.М.,[1,2] БалабаеваО.С.[1]
[1]Лаб. «Математические методы обработки изображений
и интеллектуальные системы компьютерного зрения»
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Московский государственный технологический
университет СТАНКИН, Москва, Россия
gapon.nv@gmail.com

Reconstruction of medical images using multiscale blocks and neural network operation

Gapon N.,[1] Voronin V.,[1,2] Sizyakin R.,[1] Zhdanova M.,[1,2] Balabaeva O.[1]
[1]Lab. "Mathematical methods of image processing and intelligent computer vision systems"
Don State Technical University , Rostov-on-Don, Russia
[2]Moscow State Technological University “STANKIN”, Moscow, Russia
gapon.nv@gmail.com

Аннотация. **В этой статье мы рассмотрим проблему реконструкции изображений, целью которой является восстановление отсутствующих или поврежденных частей изображения. Предложенный метод используется для восстановления медицинских изображений, а именно восстановление сосудов, удаление зеркальных отражений для эндоскопических изображений, удаление артефактов МРТ и т. д. Новый метод сочетает в себе поиск участков различных размеров и работу предварительно обученной нейронной сети. Большие участки используются для восстановления однородных областей, а затем небольшие участки используются для восстановления деталей изображения структуры. В результате предлагаемый способ дает правдоподобное отображение медицинских изображений. Результаты эксперимента демонстрируют эффективность предложенного способа в задачах реконструкции медицинских изображений.**

Ключевые слова**: реконструкция изображений, МРТ изображения, нейронная сеть, медицинские изображения, артефакты.**

Abstract. **In this paper, we consider the problem of medical images inpainting, where the goal is to reconstruct missing or damaged parts of the image. This is a good tool for medical applications such as vascular restoration, removal of specular reflections for endoscopic images, removal of MRI artifacts, etc. The new method combines the search for patches of various sizes and the operation of a pre-trained neural network. The large patches are used to reconstruct homogeneous areas, and then small patches are used to reconstruct structure image details. As a result, the proposed method provides a plausible of medical images inpainting. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed method in the tasks of medical images inpainting.**

Keywords: **inpainting, MRI images, neural network, medical images, artifacts.**

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция изображения - это процесс удаления нежелательного или заполнение недостающего (исправления поврежденного) участка на изображении, путем копирования из известной части изображения или класса изображений, с использованием некоторого критерия «оптимальности». Большинство методов реконструкции изображений можно разделить на следующие группы: методы, основанные на решении уравнений в частных производных (PDE); методы, основанные на ортогональных преобразованиях; методы, основанные на синтезе текстур; методы, основанные на работе нейронной сети. У каждого из них есть свои преимущества и недостатки.

В этой статье мы рассматриваем проблему реконструкции изображений при медицинском анализе изображений, где целью является восстановление отсутствующих или поврежденных частей изображения. Это хороший инструмент для таких медицинских применений, как восстановление сосудов, удаление зеркальных отражений для эндоскопических изображений, удаление артефактов МРТ и т. д. Такими примерами являются:

- Восстановление металл-артефактов на МРТ и КТ снимках (рис. 1).

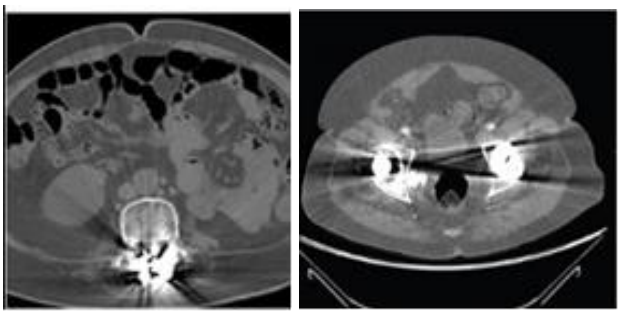


Рис.1. МРТ и КТ изображения

- Подавление зеркального отражения для эндоскопических и кардиологических изображений (рис. 2).

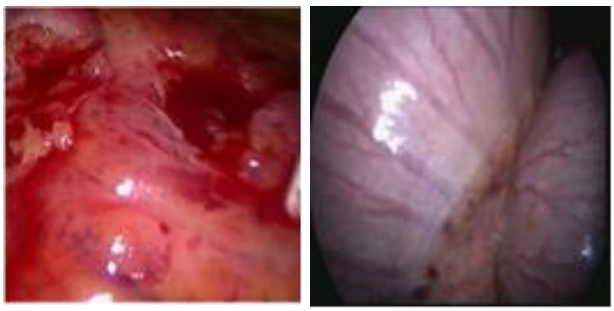


Рис.2. Эндоскопические и кардиологические изображения

- Обнаружение сосудов на изображениях сетчатки (рис. 3).

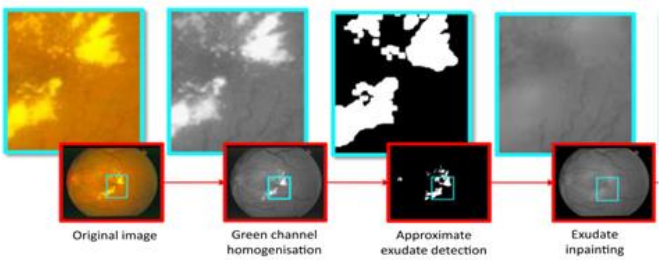


Рис.3. Сосуды на изображениях сетчатки

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

2.1. Метод реконструкции

На первом шаге, для каждого пикселя границы $\delta S_{i,j}$ с помощью метода инверсий адаптивно определяется форма области для поиска подобия, которая формируется путем объединения двух смежных однородных подобластей в направлении максимума градиента.[2,5,6]

На втором шаге вычисляется значение приоритета $P(\delta S)$ для каждого значения пикселя границы, который состоит из двух множителей:

$$P(\delta S) = C(\delta S) \cdot D(\delta S), \quad (1)$$

$$C(\delta S) = \frac{\sum_{l \in \Psi_{\delta S}} C(l)}{|\Psi_{\delta S}|}, D(\delta S) = \frac{\left|\nabla I_{\delta S}^{\perp} \cdot n_{\delta S}\right|}{\alpha}, \quad (2)$$

где: $\delta S_{i,j}$ - текущий пиксель на границе доступных пикселей; $C(\delta S)$ - коэффициент доверия; $D(\delta S)$ - коэффициент градиента; $\Psi_{\delta S}$ - адаптивный блок пикселей с центром в пикселе $\delta S_{i,j}$; $|\Psi_{\delta S}|$ - количество пикселей адаптивного блока, $\nabla I_{\delta S}^{\perp}$ - вектор, ортогональный градиенту в точке $\delta S_{i,j}$; $n_{\delta S}$ - вектор, ортогональный границе δS в точке $\delta S_{i,j}$; α - нормированный множитель, который для восьми битных изображений равен 255. [3,5]

Используя метод, продолженный в работе [1], все изображение предварительно делится на участки, $3\times3, 5\times5, ..., 21\times21$, где большие участки используются для восстановления однородных областей, а затем небольшие участки используются для восстановления деталей изображения структуры (рис. 4).

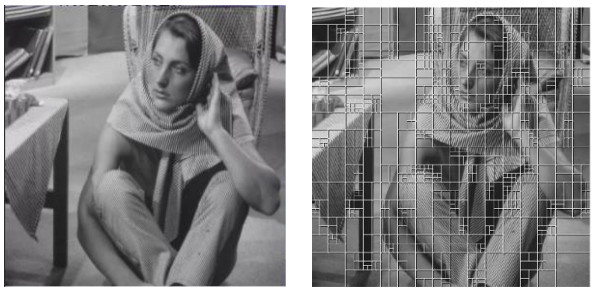


Рис.4. Пример разбиения изображения на блоки

На третьем шаге, находятся блоки $\psi_{q^{(h)}}$, $h = \overline{1,R}$ в области доступных пикселей S для которых евклидова метрика минимальна [4,6,8]:

$$\sqrt{\sum (\Psi_p - \Psi_q)^2} \longrightarrow \min. \quad (3)$$

Значения пикселей в области η смежные к пикселю с максимальным приоритетом p восстанавливаются путем усреднения соответствующих пикселей из найденных областей $\psi_{q^{(h)}}$ в области доступных пикселей S с помощью нейронной сети, в качестве нейронной сети был выбран многослойный персептрон. Коэффициент доверия C для восстановленных пикселей присваивается равным текущему значению

$C(p)$. После чего процедура пересчета приоритета и поиска похожих областей с последующей заменой повторяется.

2.2. Нейронная сеть

В данной работе была создана нейронная сеть прямого распространения сигнала, обученная с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Функция активации, которая используется в данной сети, является сигмоидальная нелинейная функция (sigmoidal nonlinearity), а именно функция гиперболического тангенса.

$$f(x) = \tanh\left(\frac{ax}{2}\right) = \frac{1-e^{-ax}}{1+e^{-ax}} \qquad (4)$$

где a - параметр наклона сигмоидальной функции активации.

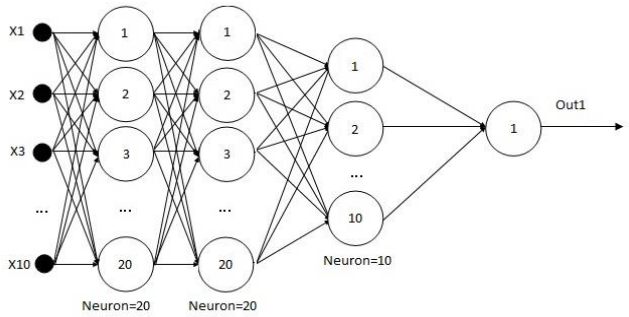


Рис. 5. Архитектура нейронной сети

На этапе обучения нейронной сети на вход подавались заранее подготовленные данные: на изображении выделялся блок со случайными координатами, размером 3×3, 5×5,…,21×21, далее в нем удалялся центральный пиксель и находили 5 наиболее похожих блоков на всем изображении сравнивая их по MSE.

Далее процедура повторялась на 35 изображениях и было получено 100 000 блоков, они использовались как обучающая последовательность для данной сети.

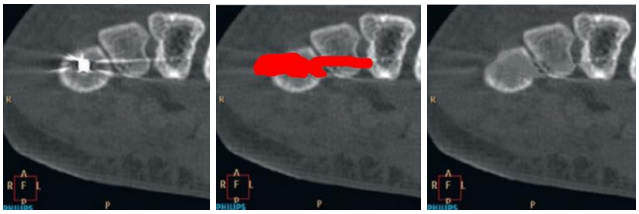
Данная сеть содержит 3 слоя [9]: первый слой содержит 20 нейронов, второй слой содержит так же 20 нейронов, третий слой содержит 10 нейронов (Рис. 5). В сети создано 10 входов, на 5 из них подавались только центральные пиксели в найденных блоках, а на 5 других входов подавались MSE этих блоков. В качестве выхода были центральные пиксели оригинальных блоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

Для проверки эффективности предложенного метода реконструкции при удалении объектов на изображении были выбраны четыре тестовых изображения.

Особенность этих тестовых изображений заключается в том, что области отсутствующих пикселей расположены на пересечении нескольких границ.

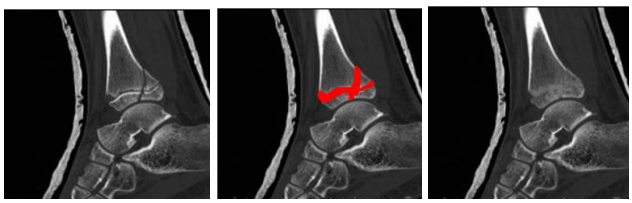
Рис. 6-9 показывают примеры восстановления изображения. а) исходного изображения, б) изображение с маской искаженных пикселей, в) изображение, восстановленное предлагаемым способом.



a) b) c)

Рис.6. Пример изображения
а) исходное изображение, б) изображение с отсутствующим блоками пикселей, в) изображение, восстановленное предложенным методом

Следует отметить, что предлагаемый способ не размывает текстуру и структуру при восстановлении больших областей с потерянными пикселями. Предлагаемый способ позволяет правильно восстановить детали на изображении, а также отсутствуют артефакты при восстановлении потерянных блоков.



a) b) c)

Рис. 7. Пример изображения
а) исходное изображение, б) изображение с отсутствующим блоками пикселей, в) изображение, восстановленное предложенным методом

a) b) c)

Рис. 8. Пример изображения
а) исходное изображение, б) изображение с отсутствующим блоками пикселей, в) изображение, восстановленное предложенным методом

На рис. 9 показан пример восстановления изображения а) исходного изображения, б) изображения с маской искаженных пикселей, в) изображения, восстановленного предлагаемым способом. Особенностью этого изображения является то, что область для реставрации находится на пересечении нескольких границ. Предлагаемый способ позволяет правильно восстановить границы объектов.

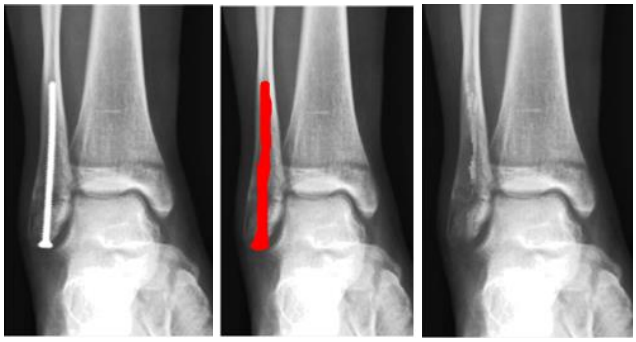


Рис. 9. Пример изображения а) исходное изображение, б) изображение с отсутствующим блоками пикселей, в) изображение, восстановленное предложенным методом

В таблице 1 показаны значения ошибок об-работки для предложенного метода, EBM, Navier Stokes и Telea Следует отметить, что количественные ошибки вычисляются в восстановленных областях При использовании разработанного метода восстановления изображения значения ошибок в среднем на 10–15% меньше, чем при обработке EBM, Navier Stokes и Telea.

Таблица 1

Сравнительный анализ погрешностей восстановления

Figure	**6**				**7**			
Metod	***PP***	***EBM***	***NS***	***Telea***	***PP***	***EBM***	***NS***	***Telea***
PSNR	31.63	28.27	26.88	25.52	27.36	26.64	27.42	25.52
RMSE	9.61	11.75	14.73	15.85	15.97	15.24	16.46	14.82
MAE	3.75	4.92	5.54	7.98	8.11	8.8	8.68	8.93
SNR	25.53	22.13	21.46	19.78	26.68	16.27	23.55	24.33
MAX	34	49	66	70	58	117	60	62
Figure	**8**				**9**			
Metod	***PP***	***EBM***	***NS***	***Telea***	***PP***	***EBM***	***NS***	***Telea***
PSNR	46.3	43.91	21.24	25.56	27.22	25.65	24.95	25.35
RMSE	2.56	6.36	7.67	11.92	16.18	16.98	17.54	16.33
MAE	1.7	2.55	3.97	4.88	7.18	7.95	7.25	6.95
SNR	41.18	36.79	33.26	31.54	28.58	28.27	32.18	31.88
MAX	37	96	86	95	48	127	70	72

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье был разработан метод реконструкции МРТ и КТ изображений на основе поиска похожих блоков и работы нейронной сети. Мы использовали метод разделения изображения на фрагменты разных размеров и обученную нейронную сеть, чтобы выбрать «наиболее похожий» блок.

Анализ результатов показывает, что предлагаемый метод корректно восстанавливает как детали, так и фон медицинских изображений, в случае наличия металлических артефактов. При использовании предложенного метода, значения ошибок в среднем на 10–15% меньше, чем при обработке современными методами.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № №18-313-00090).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ponomarenko N.N., Lukin V.V., Egiazaryan K.O., Astola J.T., Modified horizontal vertical partitioning scheme for compressing fractal images // CD-ROM, Transactions of NORSIG 2002, 5th Northern Symposium on Signal Processing on board Hurtigrunen, Tromsø-Trondheim, Norway, October 4-7, 2002.

2. Gapon, N. V., Semenishchev, E. A., Balabaeva, O. S., Skorikova, A. A., Tokareva, O. A., & Nadykto, A. M. (2018). Metal artifact reduction on MRI images. In MATEC Web of Conferences (Vol. 226, p. 04048). EDP Sciences.

4. Gapon, N., Ponamorenko, M., Pismenskova, M., & Tokareva, O. (2017). Image inpainting using a neural network. In MATEC Web of Conferences (Vol. 132, p. 05015). EDP Sciences.

5. A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama, “Object removal by examplar-based image inpainting,” in Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 721–728, 2003.

6. Voronin V.V., Marchuk V.I., Gapon N.V., Sizyakin R.A., Sherstobitov A.I., Egiazarian K.O. Exemplar-based inpainting using local binary patterns, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering Сер. "Proceedings of SPIE-IS and T Electronic Imaging - Image Processing: Algorithms and Systems XII" 2014. С. 901907.

7. Gapon NV, Sizyakin RA, Pismenskova MM Method of spatial image reconstruction based on a geometric model with texture analysis. In the collection: MODERN TRENDS OF DEVELOPMENT OF SCIENCE AND EDUCATION materials of the international (correspondence) scientific and practical conference. Scientific and publishing center "The World of Science." 2016. P. 113-117.

8. Voronin, V.V., Marchuk, V.I., Gapon, N. V., Zhuravlev, A. V., Maslennikov, S., Stradanchenko, S. Inpainting for videos with dynamic objects using texture and structure reconstruction (2015) Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9497, article No. 94970Y, DOI: 10.1117 / 12.2076509

9. Voronin VV, Marchuk VI, Gapon N.V., Sizyakin R.A. Using the method of reconstructing two-dimensional signals during the restoration of archive photographs. Successes of modern radio electronics. 2011. № 9. With. 16-20.

Реконструкция архивных фотографий на основе глубокого обучения

Сизякин Р.А.,[1] Воронин В.В.,[1,2] Гапон Н.В.,[1] Жданова М.М.,[1,2] Зеленский А.А.[2]
[1]Лаб. «Математические методы обработки изображений
и интеллектуальные системы компьютерного зрения»
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Московский государственный технологический
университет СТАНКИН, Москва, Россия
roma_sz@mail.ru

Reconstruction of archival photographs based on deep learning

Sizyakin R.,[1] Voronin V.,[1,2] Gapon N.,[1] Zhdanova M.,[1,2] Zelensky A.[2]
[1]Lab. "Mathematical methods of image processing and intelligent computer vision systems"
Don State Technical University , Rostov-on-Don, Russia
[2]Moscow State Technological University “STANKIN”, Moscow, Russia
roma_sz@mail.ru

Аннотация. **В данной работе предложена система автоматического обнаружения и устранения дефектов изображений. Автоматическое обнаружение дефектов выполняется с помощью нейронной сети с составным дескриптором. Реконструкция поврежденных участков основана на состязательной нейронной сети. Кроме того, мы используем методы быстрой реконструкции поврежденных участков перед использованием основной состязательной нейронной сети. Серия экспериментов подтвердила высокую эффективность предложенного метода по сравнению с традиционными методами обнаружения и устранения дефектов.**

Ключевые слова**: обнаружение дефектов, реконструкция поврежденных участков, нейронная сеть, состязательная нейронная сеть.**

Abstract. **In this paper, a system of automatic detection and reconstruction of image defects is proposed. Automatic defect detection is performed using a neural network with a composite descriptor. Reconstruction of damaged areas is based on an adversarial neural network. In addition, we use methods of rapid reconstruction of damaged areas before using the main adversarial neural network. A series of experiments confirmed the high efficiency of the proposed method in comparison with traditional methods of detection and elimination of defects.**

Keywords: **defect detection, reconstruction of damaged areas, neural network, adversarial neural network.**

ВВЕДЕНИЕ

К дефектам, встречающимся на снимках, относятся различного рода пятна, царапины, трещины и другие посторонние предметы. Их появление может быть связано со старением, физическим воздействием, неправильным хранением или эксплуатацией. Восстановление таких дефектов в настоящее время в большинстве случаев осуществляется путем ручной обработки, что затрудняет восстановление архивированных факсимиле.

В работе [1] для обнаружения дефектов в изображении используется метод, основанный на машинном обучении. Для маски с предполагаемой локализацией дефектов используют морфологические операции верхней и нижней шляпок для обнаружения светлых и темных трещин. Для уменьшения ложных маркированных участков на дефектах предварительно маскируют, используя метод, основанный на обучении. В качестве значений дескриптора выступают оттенок, насыщенность и яркость (HSV-Hue, Saturation, Value (Brightness)). Для построения разделительной гиперплоскости используется машина опорных векторов (SVM) с медианной радиальной базисной функцией в качестве ядра (MRBF).

В работе [2] для выявления дефектов используется тот же подход, что и в работе [1]. Основным отличием данной работы от работы [1] является способ

заполнения поврежденных участков. Реконструкция поврежденных участков в данном исследовании происходит через поисковые блоки, аналогичные поврежденным. В качестве метрики подобия используется сумма квадратов различий (SSD). Если аналогичный блок не был найден, то плохой блок заполняется средними значениями.

В работе [3] для выявления дефектов используется морфологическая операция top hat с последующей бинаризацией с автоматическим подбором порогового значения [4]. Выбор порогового значения зависит от отделимости исходной гистограммы изображения. Для оптимального разделения гистограммы итерационно выбираются пороговые значения, минимизирующие дисперсию внутри класса, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов. В своей работе Оцу показал, что минимизация дисперсии внутри класса эквивалентна максимизации дисперсии между классами.

В работе [5] алгоритм поиска дефектов на фотографиях состоит из трех этапов. Во-первых, это улучшение контрастности изображения перед вводом. Затем он вычисляет свертку модифицированного изображения с разных направлений гауссовских ядер. Второй этап заключается в получении маски дефектов путем применения морфологических операций цилиндров с различными размерами структурообразующего элемента. Третий этап предназначен для предварительного дефекта способ маски с помощью К-СВД. Суть этого шага заключается в обучении алгоритма, на заранее подготовленных шаблонах, с последующей классификацией областей на исходном изображении. Для уменьшения количества ложных срабатываний в данной работе используется метод к-средних. В качестве дескрипторов используется компоненты цвета, длина, ориентация и коэффициент эксцентриситета. После этого три подготовленные маски объединяют в одну путем добавления. В тех областях, где происходит наложение предполагаемых дефектов, результирующая маска принимает единственное значение, или ноль.

Большинство методов реконструкции изображений можно разделить на следующие группы:

- методы, основанные на решении дифференциальных уравнений
- методы, основанные на синтезе текстур
- методы, основанные на машинном обучении

Методы, основанные на решении уравнений в частных производных, используют информацию вокруг поврежденной области, распространяя ее на поврежденную область. В работе [6] предложен метод восстановления значений пикселей изображений с использованием классического уравнения динамики поля – Навье-Стокса. Граничные условия восстановления изображения должны соответствовать интенсивности значений яркости изображения на границе области восстановления, а также направлению контурных линий.

К наиболее популярным методам, основанным на синтезе текстур, относятся методы на основе примеров (EBM) [7]. Основная идея метода заключается в заполнении поврежденного участка блоками из соседних неповрежденных участков. Приоритет в реставрации имеют участки с резкими перепадами яркости, соответствующие различного рода границам и фактурным элементам. Уменьшение приоритета происходит при удалении от границы между поврежденной и неповрежденной областью.

Методы, основанные на машинном обучении, в настоящее время являются наиболее эффективными для восстановления больших поврежденных областей при условии сохранения семантической информации. В работе [8] предложен метод восстановления поврежденных участков изображения на основе нейронных сетей противника. Для этого используются три сверточные нейронные сети: восстанавливающая нейронная сеть, локальная и глобальная критическая нейронная сеть. Главным преимуществом использования такой архитектуры является то, что она позволяет восстанавливать участки, которые не находятся в неповрежденных зонах.

В данной работе предлагается новый подход к обнаружению и устранению дефектов на фотографии. Предлагаемый способ состоит из двух основных частей дефектоскопии и реконструкции поврежденного участка. Метод обнаружения дефектов включает в себя два основных этапа: предварительную локализацию дефектов и последующую точную классификацию обнаруженных дефектов. Вторая часть предлагаемого метода основана на использовании состязательной сверточной нейронной сети для восстановления повреждений, обнаруженных на предыдущем этапе.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Повреждения, встречающиеся на фотоизображении, включают различные виды пятен, царапин, трещин и других посторонних предметов. Их появление может быть вызвано старением, физическими нагрузками, неправильным хранением или использованием. В этой статье мы сосредоточимся на обнаружении трещин.

Обнаружение дефектов

Метод обнаружения повреждений изображения состоит из двух основных этапов: первый этап-использование морфологической фильтрации в качестве предварительной обработки, второй этап-использование метода машинного обучения, который необходим для классификации пикселей, получивших большой отклик на этапе предварительной обработки (см. рис.1).

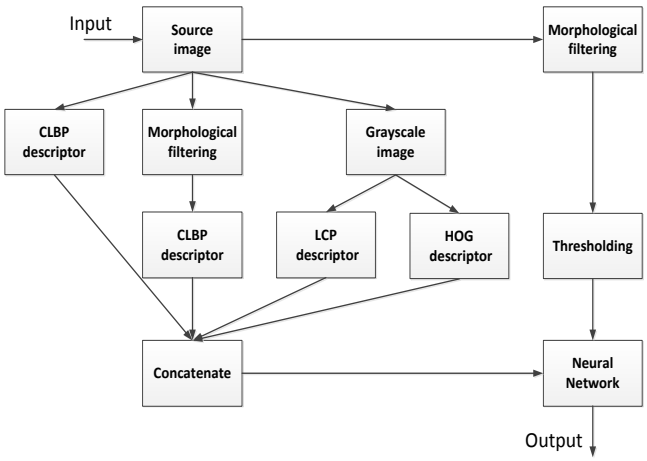


Рис.1. Общая схема предлагаемого способа обнаружения дефектов

Морфологическая фильтрация снижает вычислительную сложность алгоритма, за счет того, что нет необходимости обрабатывать каждый пиксель изображения, а только те, которые получили более высокий отклик. Также использование этой операции позволяет снизить количество ложных срабатываний [9].

В нашей работе мы выполняем морфологическую операцию "нижняя шляпа". Суть этой операции заключается в вычитании из исходного изображения $I_{r,c}$ результат его "открытия" со структурным элементом B. Использование этой морфологической операции позволяет выявить ожидаемые дефекты изображения.

$$Mask_{r,c} = Y_{r,c} - (Open_{r,c})^B \quad (1)$$

$$(Open_{r,c})^B = (Y_{r,c} \Theta B) \oplus B) \quad (2)$$

$$(Dilate_{r,c})^B = MAX_{(u,\upsilon)\in B}(Y_{r,c}(r+u, c+\nu) - B(u,\nu)) \quad (3)$$

$$(Erode_{r,c})^B = MIN_{(u,\upsilon)\in B}(Y_{r,c}(r+u, c+\nu) - B(u,\nu)) \quad (4)$$

где B является структурным элементом с размером пикселя размер $u \times \upsilon$, Θ - эрозия, $\oplus$ - дилатация.

После процедуры морфологической фильтрации предварительная маска с дефектами содержит как правильно обнаруженные дефекты, так и ряд ложных срабатываний. Чтобы уменьшить количество ложных тревог, мы используем нейронную сеть в качестве классификатора.

Нейронные сети позволяют снизить ложные срабатывания на предварительной маске, полученной путем морфологической фильтрации. Архитектура нейронной сети для обнаружения дефектов показана на рисунке 2.

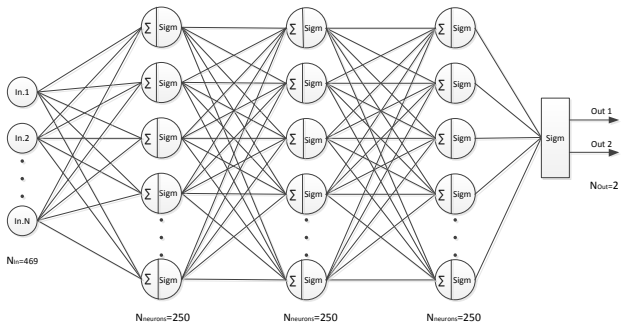


Рис.2. Архитектура нейронной сети для обнаружения повреждений.

Сеть состоит из 3 скрытых слоев. Каждый слой включает в себя 250 нейронов. В качестве функции активации используется логистический сигмоид:

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \quad (5)$$

где x - вектор признаков.

Для определения потерь используется бинарная функция кросс-энтропии. Это определяется в соответствии с выражением:

$$H(y, y') = -\frac{1}{m}\sum_{l=1}^{m}[y \cdot \log(y') + (1-y) \cdot \log(1-y')] \quad (6)$$

где y - Conv.Net предсказание, y'_j - истинное значение.

Дополнительно мы используем метод оптимизации Adam, предложенный в работе [10], при скорости обучения равной 0.0005. Обучение заняло примерно 45 эпох.

Мы объединяемся в один и используем следующие дескрипторы в качестве входных данных для нейронной сети: CLBP[11], HOG[12], and LCP[13].

Текстурный оператор CLBP является продолжением работы [14]. Главное отличие заключается в сохранении не только знака, но и величины компонента:

$$d_p = s_p * m_p, \begin{cases} s_p = sign(d_p) \\ m_p = |d_p| \end{cases}, s_p = \begin{cases} 1 & d_p \geq 0 \\ -1 & d_p < 0 \end{cases} \quad (7)$$

где d_p это вектор разности между центральным пикселем и его соседями, s_p является вектором знаковой составляющей, m_p является вектором магнитудной составляющей.

Использование двух компонентов позволяет достичь точности описания текстуры выше, чем оригинальный метод LBP, который использует только компонент знака.

Текстурный оператор LCP представляет собой комбинацию векторов признаков метода LBP и взвешенных коэффициентов (MiC). Коэффициенты рассчитываются для соседних пикселей к центру, в шаб-

лоне LBP. Формула для расчета коэффициентов записывается следующим образом:

$$E(a_0,..., a_{P-1}) = \left| g_c - \sum_{r=0}^{P-1} a_r g_r \right| \qquad (8)$$

где g_c это центральный пиксель, g_r соседний пиксель, a_r весовой коэффициент для каждого g_r.

Для вычисления весов a_r, используется метод наименьших квадратов:

$$C_L = V_L A_L \qquad (9)$$

$$A_L = (V_L^T V_L)^{-1} L_L^T C_L \qquad (10)$$

где C_L это вектор типов паттернов, представляющих интерес, V_L интенсивность (яркость) соседних пикселей, A_L является вектором с неизвестными значениями весовых коэффициентов a_r, L это тип шаблона.

Стабильность вращения изображения достигается применением преобразования Фурье к вектору A_L:

$$H_L(k) = \sum_{i=0}^{P-1} A_L(i) \cdot e^{-j2\pi ki/P} \qquad (11)$$

где $A_L(i)$ это i векторные элементы A_L.

Оставляя амплитудную составляющую вектора, мы получаем дополнительный вектор (MiC) для исходного метода LBP.

Текстурный оператор HOG основан на подсчете количества направлений градиента в локальных областях изображения, на плотной сетке равномерно распределенных ячеек. Для повышения точности описания текстурных особенностей изображения используется нормализация локального контраста.

Алгоритм построения вектора признаков состоит из нескольких этапов. На первом этапе вычисляются значения градиентов. Для вычисления градиентов используется одномерная дифференцирующая Маска в горизонтальном и вертикальном направлениях. На следующем этапе вычисленные градиенты используются для формирования гистограммы для каждой из ячеек, проходя процедуру взвешенного голосования.

Для того чтобы учесть яркостные характеристики изображения, градиенты локально нормализуются. Для этого ячейки группируются в более крупные связанные блоки. Нормализация блоков происходит в соответствии с выражением:

$$f = \frac{v}{\sqrt{\|v\|_2^2 + e^2}} \qquad (12)$$

где f является фактором нормализации, v является ненормализованным вектором, $\|v\|_2$ норма, e некая малая константа.

В результате результирующий дескриптор имеет длину 469 ячеек, из которых 108 значений соответствуют значениям оператора CLBP, который вычисляется для каждого цветового компонента цветного изображения, 36 и 289 значений соответствуют текстурным операторам HOG и LCP соответственно, вычисленным для исходного изображения в оттенках серого, а также 36 значений соответствуют значениям оператора CLBP, вычисленным для изображения после морфологической фильтрации. Этот составной дескриптор вычисляется для локального окна с размером пикселя 20×20, взятым вокруг каждого пикселя, отмеченного единицей измерения после пороговой обработки.

Удаление дефектов

Состязательная нейронная сеть-это расширенная версия сверточного автоэнкодера. Основное отличие от стандартных автокодеров заключается в добавлении к основной ошибке (например, потере L1 или L2) дополнительных потерь, полученных из двух сверточных нейронных сетей, называемых локальным и глобальным критиком. Оценка глобального критика направлена на общую смысловую композицию реконструируемого образа, в то время как оценка локального критика направлена только на качество восстановленной области. Добавление потерь от критики позволяет сделать результат реконструкции более резким. Однако использование критиков может усложнить задачу обучения восстанавливающего автоэнкодера. Основная сложность заключается в разной скорости обучения критиков и автоэнкодера. Непропорциональная ошибка критиков (когда они лучше обучены, чем автоэнкодер) может привести к коллапсу автоэнкодера, который, в свою очередь, перестанет правильно восстанавливать поврежденные участки. Для уменьшения этой вероятности мы используем быстрое предварительное восстановление поврежденного участка методом, предложенным в [6], основанным на опыте авторов в [15]. Кроме того, мы используем различные скорости обучения: реконструирующая сеть имеет скорость обучения 0,0001, глобальный критик 0,00001, локальный критик имеет скорость обучения 0,00001. Общая схема реконструирующей состязательной сети показана на рисунке 3.

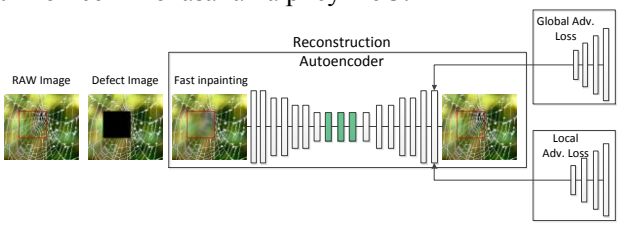


Рис. 3. Состязательная нейронная сеть для реконструкции поврежденных участков

В нашей работе построена модель реконструкции нейронной сети, имеющая следующие параметры: модель имеет 18 сверточных слоев с размером ядра 3 для

всех слоев: C64-C64-MP-C64-C128-MP- C128- C128-MP-C256-C256D2-C256D4-C256D8-C256-US-C128-C128-US-C128-C64-US-C64-C64-C3 (C-карта признаков, MP-пулинг, D-коэффициент дилатации, US- апсемплинг). Глобальный дискриминатор имеет 4 слоя свертки и 1 полносвязанный слой: C64K5S2-MP-C128K5S2-MP-C256K5S2-MP-C256K3-FC1 (K-размер фильтра, S-шаг, FC- полносвязанный слой). Локальный дискриминатор также имеет 4 слоя свертки и 1 полностью связанный слой: C64K5S2-MP-C128K5S2-MP-C256K3-MP-C256K3-FC1. У локального и глобального критика нет объединенного последнего слоя, поэтому они производят две независимые оценки реконструируемой области.

Все сети (автоэнкодер реконструкции, локальный и глобальный критик) имеют следующие одинаковые параметры. Активационная функция-это ELU [16], которая является более эффективной модификацией активационной функции ReLU [17]. Используя ELU, нет необходимости применять пакет нормализации. Здесь, как и в методе обнаружения дефектов, в качестве оптимизатора используется метод ADAM. В качестве функции активации в последних слоях для всех нейронных сетей используется логистический сигмоид.

Для обучения автоэнкодера реконструкции мы используем три типа потерь: глобальная абсолютная разница, состязательная потеря от глобального критика, состязательная потеря от локального критика. Полностью восстановленные потери автоэнкодера рассчитываются по выражению:

$$Loss_G = \lambda_1 L_{l1_glob} + \lambda_2 L_{adv_loc} + \lambda_3 L_{adv_glob}, \quad (13)$$

$$L_{l1_glob} = \left| x_{glob} - G(x_{def}) \right|, \quad (14)$$

$$L_{adv_loc} = \arg\max_G E \log\left(D_{loc}\left(G\left(x_{def}\right)\right)\right),$$

$$L_{adv_glob} = \arg\max_G E \log\left(D_{glob}\left(G\left(x_{def}\right)\right)\right) \quad (15)$$

где x_{glob} - неповрежденное исходное изображение, x_{loc} - локальная неповрежденная область на исходном изображении, x_{def} - изображение с дефектом, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - коэффициенты пропорциональности (в нашей работе λ_1=30, $\lambda_2 = \lambda_3$=0.01).

Для обоих дискриминаторов (локальных и глобальных) потери рассчитываются по выражению:

$$L_D = \arg\max_D E \log\left(D(x)\right) + E \log\left(1 - D\left(G\left(x_{def}\right)\right)\right) \quad (16)$$

где x – исходное изображение, размер которого зависит от используемого дискриминатора.

Размер поврежденной области имеет фиксированный размер пикселей 32×32, но положение потерянной области на каждой итерации является случайным, что позволяет в дальнейшем реконструировать произвольные поврежденные области.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для сравнения эффективности обнаружения повреждений на изображении предлагаемый метод сравнивается с методами, основанными на машинном обучении: сверточными нейронными сетями (CNN) и методом опорных векторов (SVM). В качестве входных данных для сверточной нейронной сети используются три цветовых компонента изображения. Первый сверточный слой содержит 10 карт объектов, второй слой-20 карт объектов, третий слой-30 карт признаков. Размер фильтров свертки равен 5×5 пикселям. ReLU используется в качестве функции активации в скрытых слоях. Также использовались следующие параметры: скорость обучения-0,001, размер пакета обучающих данных-20 выборок, для обучения использовался метод ADAM. В машине опорных векторов использовалась линейная разделительная гиперплоскость, с допустимой погрешностью 5%. В качестве дескриптора используются ранее описанные дескрипторы текстуры.

Для обучения всех методов использовали приблизительно 2500 образцов (20×20 пикселей), содержащих трещины, а также 2500 неповрежденных образцов (20×20 пикселей). В таблице 1 приведены результаты для 13 тестовых изображений. Тестовые изображения, полученные из свободного доступа.

Таблица 1.

Результаты сравнения различных методов обнаружения трещин

Изображение	Вероятность ложной тревоги			Вероятность правильного обнаружения
	Предлагаемый метод	CNN	SVM	
1	**0.035**	0.056	0.053	0.92
2	**0.027**	0.073	0.063	0.83
3	**0.051**	0.053	0.115	0.79
4	**0.00215**	0.0024	0.0023	0.6
5	**0.0074**	0.0110	0.0138	0.5
6	0.0250	**0.0190**	0.0347	0.7
7	**0.0108**	0.0267	0.0158	0.6
8	**0.0235**	0.0307	0.0395	0.6
9	**0.0175**	0.0603	0.0550	0.6
10	**0.0745**	0.0794	0.0823	0.4
11	0.00911	**0.0088**	0.0104	0.8
12	**0.0128**	0.0266	0.0168	0.55
13	**0.0305**	0.0705	0.0595	0.56
Среднее	**0.0251**	**0.0398**	**0.0432**	**0.65**

Из оценок, приведенных в табл. 1, можно сделать вывод, что предлагаемый способ снижает количество ложных срабатываний в среднем в 1,6 раза, сохраняя

при этом вероятность правильного обнаружения наравне с известными методами. К недостаткам классификатора на основе сверточной нейронной сети можно отнести то, что он обладает низкой обобщающей способностью при недостаточном количестве обучающих данных. Кроме того, чрезмерное увеличение параметров обучения может еще больше снизить способность к обобщению. Основным недостатком классификатора машин с опорными векторами является то, что он недостаточно эффективен для классификации с использованием многосоставного дескриптора, включающего несколько операторов текстуры.

Для обучения и оценки эффективности предложенного метода на основе состязательной реконструкции сверточной нейронной сети мы использовали набор данных (CelebA), представленный в работе [18], который содержит лица знаменитостей. Обучение проводилось на предварительно обрезанных изображениях размером 200 на 160 пикселей. В качестве известного метода реконструкции мы использовали метод EBM, описанный в работе [7].

В табл. 2 приведены оценки эффективности реконструкции тестовых изображений, (изображения взяты из валидационного набора и не используются в обучении) и метода EBM [7].

Таблица 2

Сравнение качества восстановления поврежденных изображений для различных методов

Img.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)									
Criminisi et al. [7]	24.4482	37.1884	32.1493	32.3740	34.3299	33.0747	35.1469	35.5059	25.2503	38.2432
Предл. Adv.Net.	33.8571	42.0767	35.8376	36.4364	38.1666	38.0043	38.9767	37.6036	33.8201	41.0256
	Mean-squared error (MSE)									
Criminisi et al. [7]	0.0036	0.0002	0.0006	0.0006	0.0004	0.0005	0.0003	0.0003	0.0030	0.0001
Пред. Adv.Net.	0.0004	0.0001	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0004	0.0001
	Structural Similarity Index (SSIM)									
Criminisi et al. [7]	0.9782	0.9947	0.9825	0.9869	0.9949	0.9907	0.9863	0.9896	0.9813	0.9987
Предл. Adv.Net.	0.9888	0.9981	0.9909	0.9934	0.9978	0.9959	0.9941	0.9930	0.9929	0.9994

Анализ полученных результатов подтверждает высокую эффективность предложенных методов обнаружения и реконструкции поврежденных участков на изображении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод автоматического обнаружения и восстановления дефектов на изображении. Для предварительной локализации трещины на изображении в данной работе использовалась морфологическая фильтрация. Для уменьшения количества ложных срабатываний используются нейронные сети с конкатенированными векторными дескрипторами. Для восстановления поврежденных участков мы используем состязательную нейронную сеть. Сравнение предложенного способа с различными известными методами показало высокую эффективность использования нейронных сетей для обнаружения дефектов изображения и состязательной сети для реконструкции поврежденных участков с сохранением семантической информации. Результат, вероятно, может быть улучшен в зависимости от конкретных задач, например, путем увеличения размера обучающих данных, модификации архитектуры нейронных сетей, изменения набора дескрипторов или набора параметров более точного, разрешение используемых данных также может быть увеличено, увеличение контрастности и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Giakoumis, N. Nikolaidis, I. Pitas, Digital image processing techniques for the detection and removal of cracks in digitized paintings, Department of Informatics Aristotle University of Thessaloniki

2. S. G. Schirripa, F. Somma, Virtual restoration of cracks in digitized image of paintings» International Conference on Defects in Insulating Materials, Journal of Physics: Conference Series 249 (2010) 012059 doi:10.1088/1742-6596/249/1/012059

3. A. Gupta, V. Khandelwal, A. Gupta, M. C. S. Thammasat, Image Processing Methods for the Restoration of Digitized Paintings Int. J. Sc. Tech.. Vol. 13, No.3, 2008

4. N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram”, IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernatics, vol. SMC-9, no.1, pp. 62-66, January 1979.

5. B. Cornelis, T. Ruzic, E. Gezels, A. Dooms, A. Pizurica, L. Platisa, J. Cornelis, M. Martens, M. De Mey, I. Daubechies, “Crack detection and inpainting for virtual restoration of paintings: The case of the Ghent Altarpiece”, Signal process., vol. 93, no3, pp. 605-619, 2013.

6. M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles, and C. Ballester. Image inpainting. In Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 417–424. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.

7. A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama. 2004. Region Filling and Object Removal by Exemplar-based Image Inpainting. IEEE Transactions on Image Processing 13, 9 (2004), 1200–1212.

8. S. Iizuka, E. Simo-Serra, and H. Ishikawa. Globally and locally consistent image completion. ACM Transactions on Graphics (TOG), 36(4):107, 2017.

9. V. Voronin, V. Marchuk, R. Sizyakin, N. Gapon, M. Pismenskova, S. Tokareva, Automatic image cracks detection and removal on mobile devices, Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2016

10. Kingma, D. and Ba, J., \Adam: A method for stochastic optimization," CoRR (2014).

11. Z. Guo, L. Zhang, and D. Zhang, “A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 19, no. 6, pp. 1657–1663, 2010.

12. N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection,” INRIA, 2005.

13. Yimo Guo, Guoying Zhao, and Matti Pietikaeinen."Texture Classification using a Linear Configuration Model based Descriptor" Proceedings of the British Machine Vision Conference, pp. 119.1-119.10,2011.

14. Ojala T., Pietikaeinen M., Maenpaa T., Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 24, no. 7, 2002

15. Y. Jiahui, L. Zhe, Y. Jimei, S. Xiaohui, L. Xin, S. H. Thomas, Generative image inpainting with contextual attention, CoRR, arXiv: 1801.07892, [Online]. Available: https:// arxiv.org/abs/1801.07892

16. D.-A. Clevert, T. Unterthiner, and S. Hochreiter. Fast and accurate deep network learning by exponential linear units (elus). CoRR, arXiv: 1511.07289, [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1511.07289, (2015)

17. A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. Hinton, “Imagenet classification with deep convolutional neural networks,” Advances in Neural Information Processing Systems, 1097-1105, (2012).

18. Z. Liu, P. Luo, X. Wang, and X. Tang. Deep learning face attributes in the wild. In Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV), December 2015.

Подход оценки надежности отказоустойчивых кластеров вычислительных структур

Олигова М.М.
Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия
milana0839@mail.ru

The reliability assessment approach for failover clusters of computing structures

Oligova M.M.
Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia
milana0839@mail.ru

***Аннотация*. В статье приведены основные подходы к оценке надежности отказоустойчивого виртуального кластера, построенного на основе технологий динамической миграции виртуальных машин между его серверами. Описаны модели и получены соотношения для оценки надежности кластерных вычислительных систем. Дана оценка необходимого количества серверов горячего резерва необходимых для обеспечения высокой доступности типовой автоматизированной системы предприятия.**

***Ключевые слова*. Инфокоммуникационные, киберфизические, виртуальные ресурсы, кластер, коэффициент готовности, виртуальные серверы.**

***Annotation*. The article describes the main approaches to assessing the reliability of a fault-tolerant virtual cluster built on the basis of technologies for the dynamic migration of virtual machines between its servers. Models are described and relationships are obtained for evaluating the reliability of cluster computing systems. The estimation of the required number of hot spare servers necessary to ensure high availability of a typical automated system of the enterprise is given.**

***Keywords*. Infocommunication, cyberphysical, virtual resources, cluster, availability factor, virtual servers.**

ВВЕДЕНИЕ

К современным системам хранения, обработки и передачи данных различного назначения, в том числе к киберфизическим и инфокоммуникационным, предъявляются высокие требования по надежности, отказоустойчивости и низкой стоимости реализации и эксплуатации.

Требования, выражаемые к компьютерным системам, во многом зависят от задач, которые они выполняют, их критичности к задержкам, особенностей эксплуатации и ее сложности.

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

В мире продолжается процесс наращивания вычислительных мощностей путем консолидация их в частных или специализированных центрах обработки данных. Современные технологии виртуализации основаны на целенаправленной миграции виртуальных ресурсов между физическими серверами с целью адаптации кластерных систем к накоплению отказов физических серверов.

Размещение оборудования в центрах обработки данных требует обеспечения определенных стандартов надежности гарантирующих доступность системы для потребителя в требуемые периоды времени. В настоящее время стандартом становиться работа системы 7 дней в неделю 24 часа в сутки. Основным показателем надежности сложной вычислительной системы является K_r коэффициент готовности.

Показатель коэффициента готовности для вычислительной системы определяется по формуле (1).

$$K_r = \frac{T_0}{T_B + T_0} \quad (1)$$

где T_B среднее время восстановления, а T_0 время наработки на отказ.

Любая реальная система существует в среде. Связь между ними бывает настолько тесной, что определить границу между ними становится крайне сложно. Поэтому выделением системы из среды связано с

той или иной степенью идеализации. Далее рассмотрим классификацию систем.

Таблица 1

Классификация систем

Основание (критерий) классификации	Классы систем
По взаимодействию с внешней средой	Открытые Закрытые Комбинированные
По структуре	Простые Сложные Большие
По характеру функций	Специализированные Многофункциональные
По характеру развития	Стабильные Развивающиеся
По степени организованности	Хорошо организованные Плохо организованные
По сложности поведения	Автоматические Решающие Самоорганизующиеся Предвидящие Превращающиеся
По назначению	Производящие Управляющие Обслуживающие

В качестве традиционного подхода, обеспечивающего проектные показатели коэффициента готовности K_r, используются различные виды резервирования наиболее распространенными видами, из которых является:

- нагруженный (горячий) резерв — резервные элементы нагружены так же, как и основные;
- облегчённый (ждущий) резерв — резервные элементы нагружены меньше, чем основные;
- ненагруженный (холодный) резерв.

Технически резервирование важных аппаратно-программных компонентов вычислительных систем ЦОД реализуется при помощи отказоустойчивых кластеров серверов, которые могут реализоваться на уровне операционной системы, на уровне приложения или в виде специализированного программно-аппаратного комплекса рисунок.1.

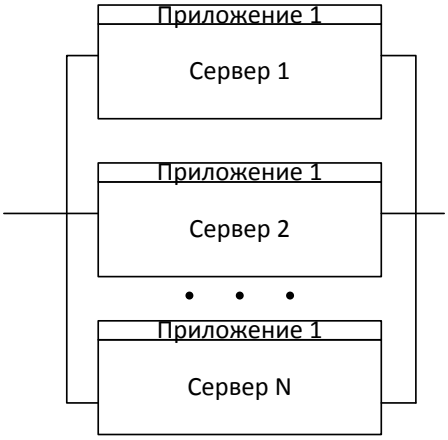


Рис. 1. Кластер серверов

В общем случае кластер серверов представляет из себя систему со структурным резервированием обладающую следующими недостатками:

- высокой совокупной стоимостью системы присущей структурному резервированию, в общем;
- невозможностью кластеризации программных серверов, не обладающих таким функционалом;
- нерациональное использование вычислительной мощности кластера.

Фактическим стандартом для построения серверных систем ЦОД в настоящее является виртуализация, которая позволяет обеспечить оптимальное использование аппаратных ресурсов сервера и повысить плотность размещения программных серверов на аппаратном сервере рисунок 2.

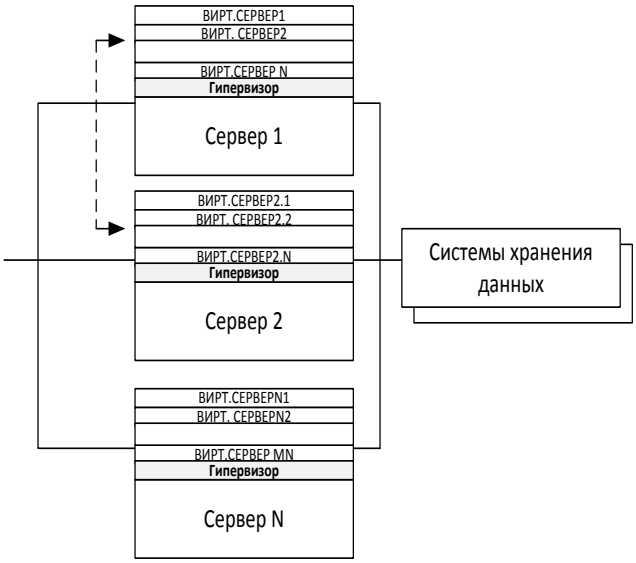


Рис. 2. Кластер виртуальных серверов

Все современные коммерческие платформами виртуализации обладают механизмом кластеризации гипервизоров и репликации хостов между собой. По сути это позволяет реализовать резервирование со скользящим резервом обладающими сравнительно меньшей стоимостью, а самое важное при данном способе это возможность резервировать те сервера, которые технически не обладают функционалом резервирования при помощи кластеризации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологий виртуализации позволяет значительно повысит доступность сервисов за счет встроенных технологий отказоустойчивости обеспечивающих создание виртуального кластера.

Традиционным техническим подходом обеспечения надежности серверов вычислительной системы является кластеризация, широкое использование данной методики ограничивалось недостатками присущими структурному резервированию.

Для обеспечения коэффициента готовности современной вычислительной системы соответствующей уровню Отказоустойчивая (fault-tolerant) для кластера виртуальных серверов достаточно соотношения основных и резервных систем как 4:1 при нахождении, т.е. для в кластере из 4 серверов 1 сервер будет находиться в скользящем горячем резерве.

Для обеспечения коэффициента готовности современной вычислительной системы соответствующей уровню Высокой доступности (high-availability) требует повышения коэффициента готовности каждого сервера кластера виртуальных машин, увеличение количества резервных кластеров практически не влияет на данные параметры

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

2. Мировой рынок ЦОДов снижает темпы роста и меняет очертания http://www.cnews.ru/reviews/free/datacenter/articles/articles9.shtml.

3. High Availability Computer Systems Jim Gray Daniel P. Siewiorek Digital Equipment Corporation Department of Electrical Engineering 455 Market St., 7’th Floor Carnegie Mellon University San Francisco, CA. 94105 Pittsburgh, PA. 15213

4. Estimating Availability of SAP on ESXi Clusters – Examples
http://blogs.vmware.com/apps/2013/07/estimating-availability-of-sap-on-esxi-clusters-examples-2.html

Применение интеллектуальных информационных технологий в современном доме

Олигова М.М.
Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия
milana0839@mail.ru

The use of intelligent information technology in a modern house

Oligova M.M.
Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia
milana0839@mail.ru

***Аннотация*. В данной статье описаны существующие интеллектуальные технологии и их основные свойства. Рассмотрены ключевые параметры и влияние на энергоэффективность, минимизация энергетических потерь. Приведен результат внедрения информационных технологий.**

***Ключевые слова*. Интеллектуальные технологии, Bluetooth, энергоресурсы, энергоэффективность, «Умный дом».**

***Annotation*. This article describes existing intelligent technologies and their basic properties. The key parameters and the impact on energy efficiency, minimizing energy losses are considered. The result of the introduction of information technology.**

***Keywords*. Intelligent technology, Bluetooth, energy, energy efficiency, Smart Home.**

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные технологии всё чаще появляются в нашей повседневной жизни. Мало того, что они ее облегчают, так делают ее комфортнее и экономнее в плане использования энергоресурсов. Умные гаджеты значительно облегчают жизнь. Голосовая команда, быстрый щелчок по смартфону и дистанционные датчики управления устройствами в доме, экономя время и усилия, обеспечивают тепло в доме. Если рассматривать безопасность дома, то надежную защиту от взломов обеспечивают инновационные системы защитных дверей, например, такие как Winkhaus AV3. Дополнением к ним служат автоматические многоточечные замки, которые просты в эксплуатации и надёжны в использовании. Они прекрасно справляются со взломами, благодаря использованию стопорных болтов. Стоит отметить, что данную замочную систему можно связать с помощью Bluetooth с мобильным телефоном, что позволит дистанционно управлять доступом в жилище. Кроме того, интеллектуальные системы также облегчают жизнь пожилых людей, делая возможным их самостоятельное проживание дома. Они могут видеть, кто звонит в дверь или открывать входную дверь с помощью отпечатка пальца, не вставая с постели. Также, можно обеспечить вход в жилище посторонних людей, например, врача, установив промежуток времени и отпечаток его пальца. Существует система, анализирующая каждое движение пожилого человека, и которая, в случае падения человека, оповещает родственников или лиц, осуществляющих уход.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время тема энергоресурсосбережения набирает большую известность. Был принят Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ, который устанавливает требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений, подлежащие пересмотру один раз в пять лет в целях повышения энергетической эффективности. 10% стоимости строительства составляет энергосбережение. Ввиду бурного

развития и появления различных направлений энергосбережения в России появилось даже новое понятие - «энергосберегающий бизнес». Умный дом также способствует сокращению потребления ресурсов, используя программы управления освещением (интеллектуальные светодиоды, Wi-Fi розетки, позволяющие удалённо регулировать подачу электричества), отоплением (интеллектуальные светодиоды) и модернизированные системы вентиляции. Анализируя энергоэффективные решения, применяемые в ремонтностроительном производстве зданий малой этажности, можно сделать вывод, что самым экономически и энергетически выгодным является энергоэффективное оборудование, стоимость которого - 1 541 658 рублей, а экономия энергии за год - 122 433 рублей, окупаемость от 8 до 16 лет. Кроме того, уже появились суперэффективные окна, которые подкрашиваются самостоятельно, когда солнце становится ярче - это помогает сократить расходы на охлаждение. А использование низкоэнергетических светодиодных фонарей, которые работают дольше и работают от постоянного тока, исключает отходы преобразования переменного тока в постоянный. «Умный дом» должен начинаться с проектирования. Что касается энергосбережения, то оно должно подразумевать под собой максимально возможное сбережения энергии и самообеспечения энергией, то есть это проектирование конструкций с минимальными теплопотерями, энергосберегающие приборы и оборудование, утилизаторы внутренней теплоты от людей, оборудования, а также солнечной энергии, подземной теплоты, энергии ветра. Вместе с тем оптимальные решения по энергоэффективности всегда являются результатом комбинирования всех способов. Важно найти компромисс между энергосбережением и комфортом. Есть мнение, чтобы сделать дом по-настоящему «умным», необходимы две вещи. Во-первых, это датчики, исполнительные механизмы и приборы, которые подчиняются командам и предоставляют информацию о состоянии. На рынке уже есть сотни, если не тысячи продуктов для умного дома. В последние годы они превратились из простых датчиков дверей и выключателей света в интеллектуальные термостаты, такие как Nest, и устройства голосового управления, такие как Amazon Echo. Во-вторых, протоколы и инструменты, которые позволяют всем этим устройствам, независимо от поставщика, общаться друг с другом. Наибольшую популярность концепция Smart Home завоевала в США и странах Европы. Людей привлекла возможность сократить издержки на электроэнергию и воду, повысить безопасность домов и улучшить качество жизни в целом. Снижение стоимости и появление на прилавках новой универсальной техники привели к существенному росту рынка «умных домов» и трансформации его базовой модели. По данным исследовательской компании Juniper Research, к 2021 году объем глобального рынка аппаратных средств и услуг для «умных домов» составит
$ 195 млрд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение интеллектуальных технологий не только облегчает нашу повседневную жизнь, обеспечивает нашу безопасность и повышает комфорт жилища, но и также способствует сбережению и минимизации расхода энергоресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bauidee, Smart Home: 5 gute Gründe, 12.09.2019, URL:bauidee.de/aktuell/produkte-trends/12-09-2019-smart-home-5-gute-gruende/.

2. Kluger Türschutz, Bauen.com, 29.08.2018. URL:bauen.com/artikel/15/78/3770/haustechnik/Kluger-Tuerschutz/.

3. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009. N 261-ФЗ

4. Frank Witsil, Detroit free press. What Might a Smart Home Look Like? 2015

5. Дитрих А.В. Принципы создания экологичной городской среды // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XLIV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 9(44), 2019. - С. 22-26.

6. Мухамадьяров В. Дом и интерьер // Свет, Свет, Свет!. - № 4. - 2009. - С. 158.

Влияние поперечного профиля автомобильной дороги на аварийность в горных условиях

Маргиев Э.А.
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ) »,
Владикавказ, Россия
lbtranskama@mail.ru

Influence of the cross-section of the road on accident rate in mountain conditions

Margiev E.A.
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy,
Vladikavkaz, Russia
lbtranskama@mail.ru

***Аннотация*. Статья посвящена актуальной теме в области безопасности транспортных процессов в горных условиях. Автор предлагает оригинальное решение по максимальному использованию поперечника горной автомобильной дороги. Предлагаемые конструктивные решения повышают комфортность передвижения на горной дороге, безопасность, пропускную способность автомобильной дороги. Снижаются транспортные потери и, соответственно, аварийность.**

***Ключевые слова*. ППД–поперечный профиль дороги; ДТП–дорожно-транспортное происшествие.**

***Annotation*. This article is devoted to relevant topic in the field of security of traffic processes in mountain conditions. Author suggests original decision of maximum using of mountain auto road's cross section. Suggested constructive decisions raise comfort of movement on the mountain road, safety, capacity of auto road. Decline loss of vehicles and accordingly accidents.**

***Keywords*. TSR – cross-section of the road; RTA–road traffic accident.**

Статистический анализ аварийности на горных дорогах свидетельствует о существенном влиянии элементов поперечного профиля автомобильных дорог на безопасность движения автомобильного транспорта, особенно, в зимний и межсезонный период. К таким параметрам относятся: ширина проезжей части, ширина обочин, соответствие поперечного, продольного уклонов СНиП–м. Целым рядом отечественных и зарубежных исследователей установлена высокая значимость совершенствования параметров поперечного профиля дорог, с учетом их влияния на безопасность дорожного движения автомобильного транспорта на горных дорогах.

Актуальность таких исследований применительно к дорогам территориального и федерального значения Российской Федерации в настоящее время высока. Особенно для дорог пересеченной и высокогорной местности (перевальные дороги), если учесть наблюдаемый в последние годы значительный рост интенсивности движения автомобильного транспорта, появление в составе транспортного потока большой доли легковых автомобилей с высокими динамическими характеристиками, а также большегрузные (длинномерные) автомобили с высокими динамическими характеристиками. В современных условиях параметры поперечного профиля дорог оказывают определяющее влияние на уровень загрузки дорог, режимы и безопасность дорожного движения.

Устойчивую сохранность проектных геометрических параметров конструкции земляного полотна автомобильных дорог имеет существенное значение для сохранности продольных и поперечных уклонов, долговечности дорожной одежды и безопасности движения транспорта по горным автомобильным дорогам в процессе эксплуатации.

В отличие от равнинной местности, земляное полотно горных дорог размещается на склонах, где высокие насыпи часто чередуются с глубокими выемками, полувыемками, полунасыпью, конструкция земляного полотна предусматривает строительство специальных искусственных сооружений для усиления основания дорожной одежды. Важнейшими факторами, влияющими на устойчивость земляного полотна, являются гидрогеология земной коры, атмосферные осадки и температурные перепады окружающей сре-

ды. Свойства грунтов, влияющие на несущую способность земляного полотна, зачастую изменяются на очень коротких отрезках трассы. Под воздействием атмосферных осадков, грунтовых вод, изменения состояния гидрогеологии грунтов – модуль упругости основания земляного полотна резко меняется, что вызывает разную степень усадки земляного полотна на отдельных участках автомобильной дороги, как в продольном, так и в поперечном профиле. Горные породы, сложенные пластами, часто залегают в виде складок, обращённых выпуклостью вниз или вверх. Встречаются разные наклоны пластов: горизонтальные и почти вертикальные. Пласты твердых горных пород могут разделяться слоями глины, суглинок, которые, насыщаясь атмосферными осадками, переувлажняются и теряют несущую способность.

Строительство автомобильных дорог может нарушить хрупкое, веками устоявшееся, равновесие горных склонов, вызвать обвалы, обрушение и выход грунтовых вод в самом неожиданном месте.

Если невозможно обойти участок с неблагоприятными условиями земляного полотна, то необходимо проводить специальные мероприятия с применением новейших материалов, чтобы избежать попадания атмосферных осадков в тело земляного полотна. Для обеспечения устойчивости земляного полотна (уровнять модуль упругости грунтов для равномерного проседания) и, соответственно, предотвращения во время эксплуатации автомобильной дороги просадок, провалов поперечного, продольного профилей в горных условиях, безопасности дорожного движения, снижения дорожно-транспортных происшествий на горных дорогах.

Исходя из выше перечисленного: габариты поперечного профиля, условия прохождения трассы, структура горных пород, основания земляного полотна, существенно влияют на уровень аварийности горных дорог. Гидрогеология – является основной причиной, по которой происходит изменение уклонов профиля, в результате неравномерного проседания земляного полотна.

Нами предлагается изменить традиционную конструкцию поперечного профиля горной дороги. На рис. 1 изображены элементы поперечного профиля полувыемка, полунасыпь автомобильной дороги III-ей технической категории горной дороги.

При строительстве автомобильной дороги в горных условиях «Геотекстиль» необходимо укладывать под выравнивающим слоем дорожной одежды, так как он делает основание более прочным, долговечным и устойчивым к внешним воздействиям, что позволяет эксплуатировать дороги более длительный срок, нивелирует несущую способность основания дорожной одежды, так как обладает высокой прочностью на разрыв. Обратные уклоны краёв обочин сбрасывают атмосферные осадки в продольные железобетонные лотки вдоль дороги, тем самым, предотвращают размыв откосов и обочин. В экстренных случаях при заносе во время гололеда на спуске или подъеме транспортное средство может сойти с проезжей части и остановится на овальном лотке или на обратном уклоне обочины.

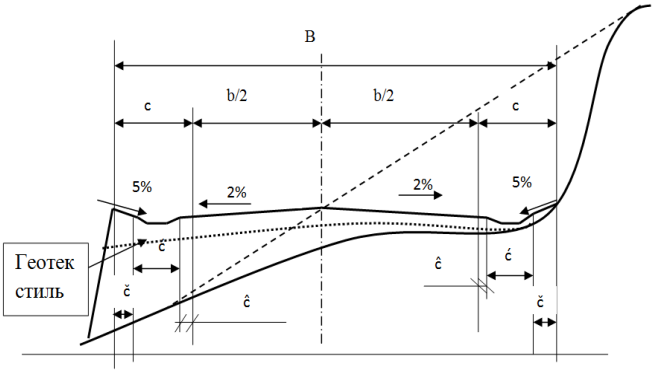


Рис.1. Элементы поперечного профиля автомобильной дороги: B-ширина поперечного профиля; b/2-ширина полосы движения; c-ширина обочины с лотком; ć-ширина лотка; č-ширина обочины с обратным уклоном; ĉ-ширина укрепленной обочины

ВЫВОДЫ

В результате использования продольных железобетонных овальных лотков вдоль дороги с расчетной несущей способностью проезжей части дороги, мы получаем большую ширину поперечного профиля горной дороги, где каждый сантиметр играет важную роль для безопасности дорожного движения. Основные аварийные ситуации создаются в неблагоприятных погодных условиях. Предложенные конструктивные решения по поперечному профилю и защите основания дорожной одежды, тела земляного полотна увеличивают полезную ширину проезда, несущую способность основания земляного полотна и, соответственно, устойчивость и сохранность проектных геометрических параметров поперечного профиля горной дороги. Значительно снижаются количество ДТП. Увеличивается пропускная способность автомобильной дороги, комфортность движения транспортных средств на автомобильной горной дороге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для ВУЗов.-М.: Транспорт, 1993. –271с.

2. Эльвик Рунэ, Боргер Мюсен Аннэ, Ваа Труле. Справочник по безопасности дорожного движения: Перевод с новежского./Под редакцией проф. В.В. Сильянов. –М.: МАДИ(ГТУ),2001.- 754с.

3. ГОСТ Р 52399-2005. Геометрические элементы автомобильных дорог дорог.-М.: Стандартиформ, 2006. – 12с.

4. Клебельсберг Дитер. Транспортная психология: Перевод с немецкого ./ Под редакцией В.Б. Мазуркевича – М.: Транспорт, 1989.-367с.

5. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор) ФГУП РОСДОРНИИ. Сборник дороги и мосты выпуск 16/2. М. Красный пролетарий/2006г.

Научно-техническое сопровождение проекта дороги

Кортиев Л.И., Кортиев А.Л., Дряев М.М., Ванеев С.Д., Бесаев К.А., Кулумбегов В.Л.
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ) »,
Владикавказ, Россия
lbtranskama@mail.ru

Scientific and technical support of the road project

Kortiev L. I., Kortiev A. L., Draev M.M., Vaneev S.D., Besaev K.A., Kulumbegov V.L.
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy,
Vladikavkaz, Russia
lbtranskama@mail.ru

***Аннотация*. Статья посвящена научно-техническому сопровождению проекта (железной или автомобильной) дороги для обеспечения безопасности дорожного движения в горных условиях, что является по сути экспертизой проекта дороги. В ней рассмотрены разные схемы исполнения конструкций в обвальных условиях на действующей автомагистрали Транскам. В статье сделана так же попытка анализа схемы проложения Кавказской перевальной железной дороги в г. Цхинвал Южной Осетии через Джомагкский перевал со сравнением варианта по Зикарскому перевалу Главного Кавказского хребта.**

***Ключевые слова*: уклоны, безопасность, полоса обгона, подпорная стена, камне-обвальные явления, горная дорога, железная дорога, Главный Кавказский хребет.**

***Annotation*. The article is devoted to the scientific and technical support of the project (railway or road) to ensure road safety in mountain conditions, which is essentially the expertise of the road project.**
It discusses different patterns of performance of structures in landslide conditions on the existing highway Transkam. The article is also an attempt to analyze the scheme of laying the Caucasian railway saddle in Tskhinval South Ossetia through Comicsby the pass with compare option posterscope pass of the Main Caucasus range..

***Keywords:* slope, safety, lane overtaking, retaining wall, stone-landslide phenomena, mining, road, railway, main Caucasian ridge.**

На современном этапе к вопросу научно-технического сопровождения проекта дороги (НТС ПД) предъявляется требования обеспечения надежности и безопасности в период ее эксплуатации.

НТС ПД – это экспертиза в проекте принятых технических и организационных решений в плане их эффективности, повышения качества, оптимизации по цене и времени строительства, проводимых коллективом научной организации или отдельными учеными.

НТС ПД является перепроверкой и установлением истины принятых проектных решений, что по нашему мнению является обязательным для проектов в области железнодорожного и автодорожного строительства. Этот вопрос особо актуален при составлении проектов дорог в горных условиях. К примеру, можно показать проект реконструкции Транскама на особо лавиноопасном участке 86 – 90 км, где в прошлом – 2018 году осуществлена реконструкция. Схема поперечного разреза проекта реконструкции дороги на камне-обвальном участке показана на рисунке 1.

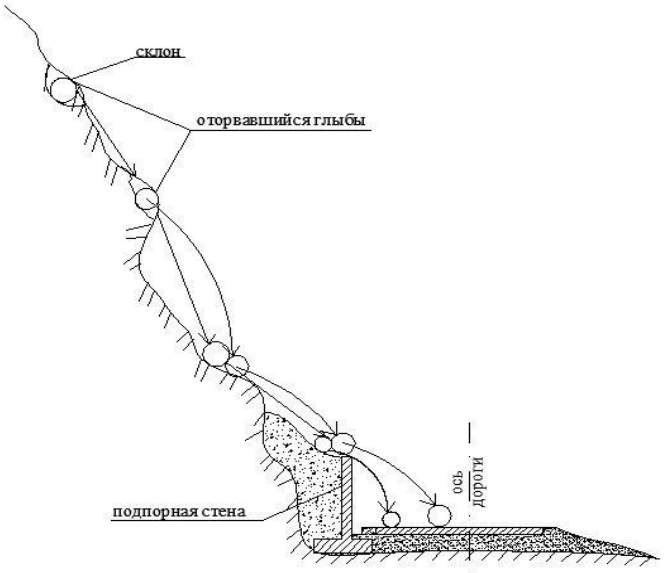


Рис. 1. Камне-обвальный участок с неэффективной защитной стеной

Проект подобных подпорных стен в горных условиях, построенные с целью защиты проезжей части дороги от обвалов и снежных лавин, наоборот создает

опасные условия для движения, т.к. запазухное пространство бетонной стены заполняется при первых же обвалах снега и камней. Далее они падают на проезжую часть, создавая иной раз катастрофические аварийные условия движения для транспортных потоков [1 -3].

На указанном рисунке наглядно видно, что ограждения у наружной бровки при лавинных обрушениях становятся помехой при уборке лавинной массы и по сути они весной, после таяния снега, оказываются на наружном откосе или на площадке за обочиной дороги, которая фактический создается при ежегодномскладированиисвалившихся с откоса горных масс.

Фактическое создание площадки за наружной обочиной дороги способствует организации дополнительной полосы для обгона транспортных средств, едущих с низкой скорости на подъеме с уклоном более 3 %. Указанное положение предусмотрено СНиПом [4,5] (рис. 2)

Отсутствие научно-технического сопровождения проекта реконструкции Транскама на участке 86-90 км переводят затраченные бюджетные средства в неэффективное их использование и вместо повышения – к снижению безопасности дорожного движения, без всякой оптимизации по цене и времени строительства.

Рис. 2. Полоса для обгона транспортных средств на подъеме

Неэффективность затрат от строительства подпорных стен показана на рисунке 3, где для камнеобвальных явлений бетонная верхняя стена способствует трамплинному эффекту горных масс.

Рис. 3. Камне-обвальные участки Транскама

Исходя из показанного примера НТС ПД актуально и при прокладке железной дороги в горных условиях.

Анализ последней проектной разработки железной дороги в Цхинвал в научно-образовательном центре по безопасности дорожного движения при СКГМИ (ГТУ) показывает, что выбранный вариант был не самым удачным. Вариант железной дороги [6]в Цхинвал, (рисунок 4) составленный ОАО «Ленгипротранс» (бывший желдопроект) в 1947 г. По этому варианту линия проложена по Джомагскому перевалу с тоннелем в 8,5 км. и сложной петлей в районе 80-го км. В эксплуатационном плане вариант является сложным. Фактическое исследование частоты камне-обвальных и лавинных участков и их сравнение с другими вариантами показывает, что это направление не самое положительное

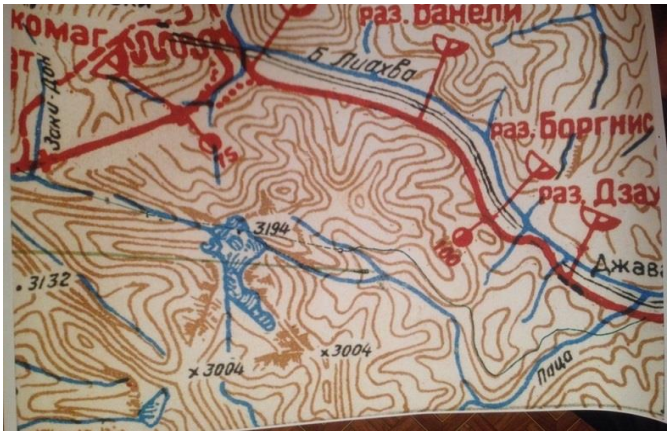


Рис. 4. Перевальный участок железной дороги по Джомагскому перевалу

Полевые обследования вариантов по другим перевалам по программе научно-технического сопровождения в пределах научного проекта №19-511-07001 РФФИ и минобрнауки РЮО показали, что проект железной дороги в Цхинвал по Зикарскому перевалу является наиболее выгодным по строительной длине отсутствием всяких участков с минимальными

радиусами на кривых, меньшим количеством камнеобвальных и лавинных участков Схема варианта показана на рисунке 5.

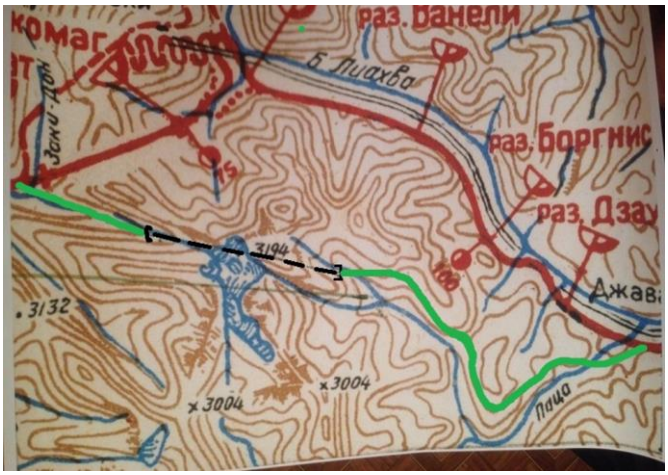


Рис. 5. Схема железной дороги по Зикарскому перевалу. (Зеленым цветом показан предлагаемый вариант)

Длина железнодорожного варианта по этому направлению получиться на 6 км.короче, отсутствуют сложные петлевые развязки как у села Н. Рук по Джомагскому перевалу.

Примеры неудачных технических решений на Транскаме, в плане безопасности движения должны стать доступным для исследователей горных дорог, как автомобильных, так и железных. Тем более обсуждаемая для прокладки железная дорога через Главный Кавказский хребет в Цхинвал и далее на Ближний Восток имеет для Осетии важное экономическое и стратегическое значение. Транскам по сути не может обеспечить безопасность Южной Осетии т.к. ежегодно по этой единственной дороге прекращается движение больше чем на месяц в Цхинвал, чем осложняется социально-экономическое положение населения[7].

В отличие от Цхинвала, у нашей дружеской Абхазии имеется железнодорожное, авиационное и морское транспортное сообщение. И поэтому, для прочной транспортной связи Осетии между ее двумя частями, должна быть проложена обоснованная железная дорога, в научно-техническом и экономико-стратегическом отношениях.

Заключение. Тем самым следует сделать вывод, что научно-техническое сопровождение будущей железной дороги в Цхинвал актуально и должно опережать процесс строительства, чтобы не допускать неудовлетворительные моменты при эксплуатации в будущем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Южная Осетия в рамках научного проекта №19-511-07001

ЛИТЕРАТУРА

1. Чочиев С.В., Обухов В.А. Эффективность применения разновидностей подпорных стен на горных автомобильных и железных дорогах. Сборник материалов Республиканской научно-технической конференции. Пути совершенствования качества строительства промышленых и гражданских сооружений. Владикавказ: СКГМИ (ГТУ), 2012. с 173-176
2. Кортиев А.Л., Ванеев С.Д., Санакоев С.И. Конструкционные особенности подпорных стен и эффективность их применения для обеспечения безопасности дорожного движения / Сборник научных трудов: Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Красноярск: СФУ, 2016г. с 187-192
3. Кортиев Л.И., Кортиев А.Л., Ванеев С.Д., Тедеев В.Б. Подпорные стены и их применение для обеспечения безопасности движения на дорогах при освоения горных территорий. Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ, 2016. Т.8 №3. С. 231 – 237
4. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85
5. Трескинский Г. К. Горные дороги. М.: Изд-во «Транспорт». 1974г., 368с.
6. Проектное задание Кавказкой перевальной железной дороги. Л.: Ленгипротранс. 1947г., 604с.
7. Кортиев Л. И. Защита горных дорог и территорий от склоновых явлений. Владикавказ. СКГМИ (ГТУ). Издательство «Терек». 2016г. 215с.

Значение научно-технического сопровождения проектов автомобильной дороги

Кортиев Л.И., Маргиев Э.А., Гатикоев С.Г.
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ) »,
Владикавказ, Россия
lbtranskama@mail.ru

Value of scientific-technical support of auto-road's project

Kortiev L.I., Margiev E.A., Gatikoev S.G.
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy,
Vladikavkaz, Russia
lbtranskama@mail.ru

***Аннотация*. Статья посвящена актуальной теме в области транспортных процессов в горных условиях Южной Осетии. Автор предлагает научно-техническое сопровождение проектов строительства автомобильных дорог горной местности. Приведенные примеры показывают актуальность НТСС автомобильных дорог и сооружений на них. В статье приведены примерные суммы, которые могут быть сэкономлены для бюджета государства.**

***Ключевые слова*: НТСС–научно-техническое сопровождение строительства; НМ–научно-методическое; ЭК–экспертно-контрольный; ИА–информационно-аналитический; ОП–организационно-правовой.**

***Annotation*. Article is devoted to relevant topic in the field of traffic processes in South Ossetia mountain conditions. Author suggests scientific-technical support projects of auto-road building in mountain conditions. The examples given show relevance STSB of auto-roads and constructions on them. Article contains indicative amount, which could be save for State budget.**

***Keywords:* STSB - scientific-technical support of building; SM-sientific-methodological; EC – expert-control; IA – information-analytical; LI – legal and institutional.**

В данной статье рассматривается значение научно–технического сопровождения проектов автомобильных дорог в горных условиях и искусственных сооружений (мосты, тоннели, галереи, подпорные стены и т.д.) на них.

Вопросы качества инженерных решений проектов автомобильных дорог и искусственных сооружений на них, производство дорожно–строительных работ, строительно–монтажных работ и соответствие ГОСТам применяемых строительных материалов.

Как показывает практика, 50% дефектов, которые появляются на автомобильных дорогах и искусственных сооружениях на них, в процессе эксплуатации появляются, вследствие, неудовлетворительного выполнения строительных работ. Остальные дефекты являются результатом ошибок во время проектно–изыскательских работ и в процессе эксплуатации. Это недостаточность исследования гидрогеологии проблемных участков трассы, в результате принимаются ошибочные проектные решения. Статистика показывает, что повреждения, возникающие при неправильной эксплуатации, занимают не более 20% от выявленных дефектов. Оставшиеся дефекты - результат ошибок проектированных решений.

Из выше сказанного следует, что для исключения или, по крайней мере, значительного уменьшения рисков появления дефектов, снижающих безопасность дорожного движения, надежность искусственных сооружений, необходимо принимать меры, начиная с подготовительных мероприятий строительства и заканчивая сдачей объекта в эксплуатацию.

К этим мерам нужно отнести научно–техническое сопровождение строительства автомобильных дорог и искусственных сооружений на них, и организацию мониторинга проектных решений проблемных участков и ответственных инженерных конструкций и узлов с момента их возведения и на весь период эксплуатации.

Под научно–техническим сопровождением строительства (НТСС) понимается комплекс работ научно–методического, экспертно–контрольного (в т.ч. контроль правильности выполнения строительно–монтажных работ), информационно–аналитического и организационно–правового характера для обеспечения каче-

ства и безопасности дорожного движения при строительстве и последующей эксплуатации автомобильных дорог, зданий и сооружений на них. Часто используется термин «строительный мониторинг», который включает те же задачи.

Строительный контроль на объектах выявляет ряд типичных нарушений, имеющих место при выполнении дорожно–строительных работ. К таким нарушениям относятся:

–использование неквалифицированной дешёвой рабочей силы и недостаточный уровень подготовки инженерно–технических работников в ряде подрядных организаций;

–несоответствие показателей плотности асфальтобетона, прочности бетона в проектном возрасте расчетным показателям, что может отрицательно сказаться на несущей способности конструкции, если при последующем твердении не достигнет расчетной проектной величины;

– наличие крупных пустот в теле бетона до обнажения арматуры из-за недостаточного уплотнения, что также снижает прочностные и деформационные характеристики конструкций, вследствие чего в ряде случаев требуется их усиление, особенно колонн и перекрытий галерей и мостов;

–уменьшенная толщина защитного слоя до арматуры, оголение арматуры, приводящее к коррозии, появлению ржавчины на поверхности бетона;

– неудовлетворительное состояние поверхностей конструкций (темные пятна, пустоты, каверны, ржавые пятна и т.д.), что является следствием недостаточной подготовки опалубки, применения некачественных смазок;

– в зимнее время часто распалубка производится до приобретения бетоном критической прочности, за уложенным бетоном не осуществляется надлежащий уход, что в дальнейшем вызывает недобор прочности бетона;

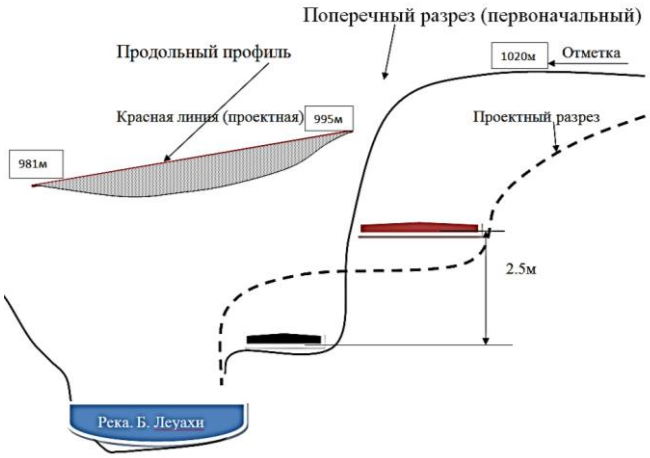
– часто отсутствует входной контроль температуры асфальтобетонной смеси, цементобетонных смесей, нарушаются условия хранения контрольных образцов, что приводит к использованию бетонов, не соответствующих требованиям, получению недостоверных результатов испытаний.

Введение научно–технического сопровождения строительства позволит установить эффективный контроль качества работ по возведению сложных в техническом отношении инженерных сооружений с проведением комплексных испытаний ответственных конструкций, узлов и систем. Кроме того, для ряда объектов необходим мониторинг наиболее ответственных конструкций как в процессе их возведения, так и при эксплуатации. Во избежание создания потенциально проблемных участков, которые в процессе эксплуатации невозможно решить из-за необходимости специального оборудования и больших материально–технических средств.

Приведем несколько примеров. Автомобильная дорога «Транскам» участок Рук–Цхинвал, рухнула вторая галерея от южного портала «Рукского» тоннеля, не выдержали опоры, к счастью обошлось без жертв. На остальных галереях пришлось усиливать опоры, а это дополнительные расходы на сотни миллион рулей. На рисунке 1 показан процесс усиления фундамента и опор.

Рис. 1. Процесс усиления фундамента и опор

Следующий проблемный участок это подъезд села, Чех сужения напротив металлического мостового перехода с правого берега на левый берег. На данном участке проводились буровзрывные работы стоимостью около 200 млн. руб. для расширения проезжей части дороги. В результате рационального подхода к вопросам проектирования, можно было дорогу выровнять, в плане и спроектировать более пологий профиль, сократить объем буровзрывных работ, на суму около 100млн. руб.



ВЫВОД

Таких примеров можно привести множества на автомобильной дороге Цхинвал–Ленингор. Дорога проходит местами в сложных гидрогеологических горных условиях. Дефекты на данной дороге, являются результатом ошибок, проектировщиков и подрядных организаций. Несколько участков данной дороги, являются оползневыми участками. Периодически разрушают дорогу. Из выше сказанного можно сделать вывод, что НТСАД необходим и с качеством строительства приносит экономию бюджетных средств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Южная Осетия в рамках научного проекта №19-511-07001

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка промышленного производства: Вопросы теории и практики.-М.: Экономика, 1978,- 223с.
2. Боровкин В. С. Проектирование организации нововведений в дорожно-строительных работах: дис….д-ра тех. наук. – М., 1999.
3. Галкин А.Г., Самуилов В.М., Кошкаров Е.В., Кошкаров В.Е., Научные основы организации инновационной деятельности на транспорте в дорожном хозяйстве (теория, методология, практика). – Екатеринбург, 2012г. – 189с.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Шульга Г.И., Колесниченко А.О., Лебединский И.Ю., Щербаков И.Н. Формирование качества поверхности при глубокой вытяжке изделий из листовых сталей в условиях комбинированного механо-физико-химического воздействия 4

Обухова Е.Н. Синергетический метод управления перемещением штока ненагруженного пневмопривода..... 9

Донской Д.Ю., Катин О.И., Магомедов Г.Ш., Вернези М.А., Бородулин И.Д. Анализ реакций семян тепличных культур на применение современных методов агрофотоники 13

Магомедов Г.Ш., Бородулин И.Д., Кудряшов Д.И., Лапшин В.А., Серяченко М.В. Разработка автоматизированных систем удалённого управления и мониторинга на базе ESP-32 17

Бородулин И.Д., Магомедов Г.Ш., Донской Д.Ю., Кудряшов Д.И., Лапшин В.А., Серяченко М.В. Исследование типов рентгенофлуоресцентных спектрометрических анализаторов твердых веществ для идентификации состава руды 21

Катин О.И., Вернези М.А., Горянина К.И., Донской Д.Ю. Ключевые вопросы разработки универсального преобразующего модуля для проведения измерений 25

Лапшин В.А., Петросян С.А., Серяченко М.В., Кудряшов Д.И. Рассмотрение датчиков-сцинтилляторов для идентификации уровня и плотности с помощью радиоактивного распада изотопов 29

Клименко А.В., Патюченко Ф.В., Слащев И.С., Трегубенко Л.А., Усманова Ю.В. Развитие станкостроения на рубеже XX и XXI веков 33

Клименко А.В., Патюченко Ф.В., Слащев И.С., Трегубенко Л.А., Усманова Ю.В. Основные тенденции совершенствования систем управления 35

Абалов А.А., Коба Я.Д., Носачев С.В. Использование конденсатора в качестве замены электрического аккумулятора в моделируемых САУ 38

Зотов А.А., Гладких Д.И. Схема и принцип работы интеллектуальной измерительной системы с MEMs сенсором 41

Блохин Э.Е., Ирха В.А. Моделирование оптических параметров гетероструктур с квантовыми точками InAs 45

Блохин Э.Е., Ирха В.А. Исследование оптических свойств гетероструктур с квантовыми точками InAs, полученных ионно-лучевым напылением 51

Волков С.С., Васильев А.С., Садырин Е.В. Функции податливости термоупругой полуплоскости с функционально-градиентным покрытием при неидеальном сцеплении покрытия и полуплоскости..... 56

Васильев А.С., Садырин Е.В., Волков С.С., Кисляков Е.А. Упрощенное аналитическое решение задачи о внедрении индентора с плоским основанием в полупространство с покрытием..... 60

Обухов П. С., Ивлиев Е. А., Ивлиев В.А. Идентификация цифробуквенной информации с багажной бирки на основе нейронной сети 65

Веремеев Д.Н., Кислов К.В., Обухов П.С. Анализ возможностей формирования рациональной структуры многослойной искусственной нейронной сети 69

Быкадорова А.Г. Метод сбора данных для мобильного управления узлом приемника в сетях беспроводных датчиков. Сеть на основе компрессионного зондирования..... 73

Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С. Учет высших форм колебаний при оценке сейсмостойскости систем нелинейным статическим методом..... 77

Жданова М.М., Воронин В.В., Сизякин Р.А., Гапон Н.В., Балабаева О.С. Модель объединения изображений, полученных с датчиков различной природы 81

Гапон Н.В., Воронин В.В., Сизякин Р.А., Жданова М.М., БалабаеваО.С. Реконструкция медицинских изображений с использованием многомасштабных блоков и работы нейронной сети..... 85

Сизякин Р.А., Воронин В.В., Гапон Н.В., Жданова М.М., Зеленский А.А. Реконструкция архивных фотографий на основе глубокого обучения..... 89

Олигова М.М. Подход оценки надежности отказоустойчивых кластеров вычислительных структур 96

Олигова М.М. Применение интеллектуальных информационных технологий в современном доме..... 99

Маргиев Э.А. Влияние поперечного профиля автомобильной дороги на аварийность в горных условиях 101

Кортиев Л.И., Кортиев А.Л., Дряев М.М., Ванеев С.Д., Бесаев К.А., Кулумбегов В.Л. Научно-техническое сопровождение проекта дороги..... 103

Кортиев Л.И., Маргиев Э.А., Гатикоев С.Г. Значение научно-технического сопровождения проектов автомобильной дороги 106

Научное издание

ДИНАМИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ДТС-2019»

Материалы 15-ой Международной
научно-технической конференции

(Ростов-на-Дону, 11-13 сентября 2019 г.)

Подписано в печать 29.12.2019 г.
Формат 60x84 $^{1}/_{16}$. Объем 5,0 усл.п.л.
Заказ №.__

ООО «ДГТУ-Принт»

Адрес полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.