

ՌՈՒՍԱՍՏԱՆԻ ԴԱՇՆՈՒԹՅԱՆ
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԲԱՐՁՐԱԳՈՒՅՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՏԱՄՆԵՐԵՔԵՐՈՐԴ ՏԱՐԵԿԱՆ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎ

3–7 դեկտեմբերի 2018 թ.

Հոդվածների ժողովածու

Երևան
ՀՌՀ հրատարակչություն
2019

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРИНАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

3–7 декабря 2018 г.

Сборник статей

**Ереван
Издательство РАУ
2019**

УДК 5:06
ББК 2
Т 676

Печатается по решению Ученого совета и РИС РАУ

Редакционная коллегия:

А.Р. Дарбинян (председатель), П.С. Аветисян (заместитель председателя),
Г.З. Саркисян, Э.М. Казарян, Г.Г. Казарян, А.А. Манукян, С.Г. Петросян,
Д.Г. Асатрян, Г.Г. Данагулян, А.А. Саркисян, А.П. Енгоян, В.А. Геворкян,
В.Г. Аветисян, А.В. Папоян, А. Аракелян, А.С. Овакимян.

Тринадцатая годовичная научная конференция (3–7 декабря 2018г.):
Т 676 Сборник научных статей: физико-математические и естественные науки.
– Ер.: Изд-во РАУ, 2019. – 226 с.

Сборник печатается по материалам 13-ой Годичной научной конференции, проведенной в Российско-Армянском университете. Статьи публикуются в алфавитном порядке и под авторскую ответственность. Публикация сборника осуществлена в соответствии с требованиями ВАК РА к сборникам научных трудов.

Сборник зарегистрирован в базе данных РИНЦ.

УДК 5:06
ББК 2

ISBN 978-9939-67-240-3

© Издательство РАУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

С.Л. Берберян. О достаточных условиях существования угловых граничных значений у нормальных субгармонических функций	7
Г.А. Карапетян, М.А. Хачатурян. Применение теории мультипликаторов в теоремах вложения для мультианизотропных пространств	14
В.Н. Маргарян, Г.Г. Казарян. О гладкости решений из весовых пространств одного класса почти гипоеллиптических уравнений постоянной мощности	19
Г.А. Петросян. Специальные интегральные представления и приближенные решения для одного класса гипоеллиптических уравнений	23
А.Г. Туманян. О нетеровости регулярных гипоеллиптических операторов в \mathbb{R}^n	29

ИНФОРМАТИКА

В.Г. Ваградян, Т.Ф. Апозян, К.А. Григорян, Э.А. Калентерян. Обнаружение и распознавание искусственных и естественных летающих объектов	34
А.А. Мелконян. Сравнение алгоритмов компьютерного зрения для разработки системы ПЭГ (персонального электронного гида)	42
С.Х. Нахатакян, Л.Г. Мелкумян, М.А. Саргсян. Задачи модернизации территориально распределенной АСУ реального времени введением сервера «горячего резервирования»	50
А.С. Овакимян, И.В. Ахумян, К.В. Огарян. Распределение учебной нагрузки кафедры с использованием методов нечеткой логики	60
В.С. Овсепян. Приближенные алгоритмы и программная реализация решения задачи покрытия произвольной плоской области кругами	69
Ս.Ս.Հովսեփիսյան, Ս.Գ.Մարգարյան, Զ. Մովսիսյան. Ներդրումային ցանցերի ստացումը հայի օպտիմալացում գենետիկ ալգորիթմի միջոցով	83
Ն.Ն.Խորաշրյան,Գ.Տ. Մանուկյան. Գիտելիքների ստուգման ավտոմատ համակարգում հնարավոր թեստերի ձևաչափերի ուսումնասիրությունն և համակարգի մշակում	92

ФИЗИКА

В.Г. Аветисян, С.Г. Эйрамджян, П.Г. Агасарян. Разработка и развертка автономных станций видеомониторинга	103
А.К. Агаронян, Х.С. Хачатрян, Г.З. Сугян. Разработка приемопередающего модуля с помощью технологии ММО в сантиметровом диапазоне	110
О.Л. Айвазян, Р.К. Овсепян. Фотопроводимость гетероструктур на основе пленок оксида цинка (ZnO)	115

В.А. Геворкян, К.Э. Аводжян, Н.Р. Мангасарян, П.М. Саакян. Определение оптических характеристик пленок CdTe, полученных методом вакуумного термического дискретного испарения	122
А.В. Дарьян, С.Р. Тадевосян. Особенности пятого поколения мобильной связи	129
М.В. Маркосян, В.Г. Аветисян, А. К. Агаронян, В.А. Варданян. Проектирование радиолокационной системы ближнего действия	138
Д.А. Никогосян, В.Г. Аветисян. Инфокоммуникационные сети “МТОМ” и тенденции их развития	144
А. Рарікян, S. Harutyunyan. Research of the thermoelectric properties of the compound Sb_2Te_3	153
С. Г. Петросян, А. Хачатрян. Исследование электрических характеристик диодов Шоттки SB-N- INSB	160

ХИМИЯ

Zh. Azaryan, A. Yengoyan. Synthesis of novel 2-s-, 4- and 5-substituted 6-methylpyrimidin-4-ol derivatives and their preliminary biological evaluation	170
А.А. Арутюнян, Г.Т. Гукасян, Г.Г. Данагулян. Синтезы тетрациклических конденсированных пиримидинов с π -сопряжение	176
Г.Г. Данагулян, А.А. Арутюнян, Г.Т. Гукасян. Фармакофорсодержащие пуш-пульные системы на базе стирилхиназолинов	187
Г. Г. Данагулян, А. П. Бояхчян, Т.Э. Георгян. Синтезы на основе 2-ацетилциклопентанона	195

БИОЛОГИЯ И БИОИНЖЕНЕРИЯ

M. Zakharyan. Prevalence of genes associated with efflux-mediated antibiotic resistance in non-typhoidal salmonella strains	202
Ս.Ս. Զախիւյան, Ա.Տ. Պապիկյան. Ակվապոնիկան որպէս զրոպատնտէսութեան ժամանակակից տեխնոլոգիա	210
Л.М. Фарсиян, А.А. Оганесян. Синтез зеленых наночастиц оксидов железа и исследование их цитотоксичности	219

МАТЕМАТИКА

О ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ УГЛОВЫХ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ У НОРМАЛЬНЫХ СУБГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

С. Л. Берберян

Российско-Армянский университет

samvel357@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается вопрос существования угловых граничных значений у нормальных субгармонических функций, определенных в единичном круге. Аналогичные исследования ранее проводились для мероморфных, голоморфных и гармонических функций.

Ключевые слова: субгармонические нормальные функции, угловые пределы, предельные множества, неевклидово расстояние.

В дальнейшем будем придерживаться общепринятых обозначений (см.[1]). Обозначим через D , Γ и $h(\xi, \varphi)$, соответственно, единичный круг $|z| < 1$, единичную окружность $|z| = 1$ и хорду единичного круга D , оканчивающуюся в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и образующую с радиусом в этой точке угол φ ; $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$. Пусть $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ обозначает подобласть круга D , ограниченную хордами $h(\xi, \varphi_1)$ и $h(\xi, \varphi_2)$. Область $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ называют обычно углом Штольца с вершиной в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и если нас не

интересует размер угла Штольца, мы будем обозначать его кратко $\Delta(\xi)$. Интерпретируя круг D , как модель плоскости в геометрии Лобачевского, обозначим через $\sigma(z_1, z_2)$ неевклидовое расстояние между точками z_1, z_2 из круга D :

$$\sigma(z_1, z_2) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+u}{1-u}, \text{ где } u = \left| \frac{z_1 - z_2}{1 - z_1 \bar{z}_2} \right|.$$

Если c – некоторая жорданова дуга, лежащая в круге \mathcal{D} , то неевклидовый диаметр $d(c)$ дуги c есть $d(c) = \sup \sigma(z_1, z_2)$, где z_1, z_2 произвольные точки, принадлежащие дуге c . Говорят, что последовательность непересекающихся жордановых дуг $\{\gamma_n\}$, лежащих в круге \mathcal{D} , сходится к граничной дуге $\gamma: \{e^{i\theta}; \varphi_1 \leq \theta \leq \varphi_2\}$, где $0 \leq \varphi_1 < \varphi_2 \leq 2\pi$, если для любого $\varepsilon > 0$ существует такой номер N , что для всех n , больших N , справедливы соотношения:

- 1) $\gamma_n \subset \{1 - \varepsilon < |z| < 1\}$,
- 2) $|\inf_{z \in \gamma_n} \arg z - \varphi_1| < \varepsilon, |\sup_{z \in \gamma_n} \arg z - \varphi_2| < \varepsilon$

Назовем, следуя работе [5], последовательность точек $\{z_n\}$ круга \mathcal{D} (B) – последовательностью, отнесенной к граничной дуге $\gamma \subset \Gamma$, если:

1. последовательность $\{z_k\}$ лежит на некоторой последовательности непересекающихся жордановых дуг $\{\gamma_n\}$, сходящихся в дуге $\gamma \subset \Gamma$;
2. существует такое конечное неотрицательное число M , что для всех номеров n любая дуга c , лежащая на $\{\gamma_n\}$ и имеющая неевклидовый диаметр, не меньший M , содержит хотя бы одну точку последовательности $\{z_k\}$.

Рассмотрим действительнзначную функцию $f(z)$. Для произвольного подмножества S круга D , для которого точка $\xi \in \Gamma$ является предельной точкой, обозначим через $C(f, \xi, S)$ предельное множество функции $f(z)$ в точке ξ относительно множества S , т.е.

$C(f, \xi, S) = \overline{\cap f(S \cap U(\xi))}$, где пересечение берётся по всем окрестностям $U(\xi)$ точки ξ , а черта означает замыкание множества относительно двухточечной компактификации \overline{R} множества $R = (-\infty, +\infty)$ в виде отрезка посредством добавления к точкам множества R символов $-\infty$ и $+\infty$. Точку $\xi \in \Gamma$ отнесём к множеству $F(f)$, если $C(f, \xi, \Delta(\xi))$ состоит из единственного значения α . В этом случае говорят, что функция $f(z)$ имеет в точке $\xi \in \Gamma$ угловой предел α . Точку $\xi \in \Gamma$ отнесём к множеству $I(f)$, если $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)) = \overline{R}$ для любых двух углов $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$, $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$, где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi'_1, \varphi'_2 \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$. Множество $I(f)$ называется множеством точек Плеснера для функции $f(z)$. Скажем, что точка $\xi \in \Gamma$ является обобщённой точкой Плеснера для субгармонических функций $f(z)$, если для любых углов $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ и $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$ предельные множества $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2))$, $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2))$ совпадают и $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = [a, +\infty]$, где a - некоторое фиксированное число из промежутка $[-\infty, +\infty]$. Множество обобщенных точек Плеснера обозначим через $I_*(f)$. Точку $\xi \in \Gamma$ относят к множеству $K(f)$ для функции $f(z)$, если $C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)) = C(f, \xi, \Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2))$, для любых углов $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$, $\Delta(\xi, \varphi'_1, \varphi'_2)$, где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi'_1, \varphi'_2 \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$. Обозначим через $L(\xi, \varphi)$ гиперцикл, проходящий через точки $\xi = e^{i\theta}$, $-\xi$ и который образует угол φ с диаметром Λ^θ , соединяющим точки ξ и $-\xi$. Пусть $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ -область, ограниченная двумя гиперциклами $L(\xi, \varphi_1)$ и $L(\xi, \varphi_2)$. Понятие нормальной функции, рассмотренное для мероморфных

функций и состоящее в свойстве порождать нормальное семейство на группе Γ всех конформных автоморфизмов области определения, было затем перенесено на гармонические и субгармонические функции. В случае единичного круга D группа Γ состоит из элементов $\Gamma = \{S(z); S(z) = e^{i\alpha}(z+a) \cdot (1+\bar{a}z)^{-1}, a \text{ произвольная точка в } D, \alpha - \text{ произвольное действительное число}\}$. Придерживаясь обозначений из работы (см.[1]), скажем, что действительнзначная функция $f(z)$ принадлежит классу \mathfrak{R} , если на группе Γ всех конформных автоморфизмов единичного круга D порождаемое ею семейство функций $\Phi: \{f(S(z)); S(z) \in \Gamma\}$ нормально в D в смысле Монтеля, т. е. из любой последовательности $\{f(S_n(z))\}$ семейства Φ , где $S_n(z) \in \Gamma$, можно извлечь подпоследовательность $\{f(S_{n_k}(z))\}$, равномерно сходящуюся на любом компакте K в D или равномерно расходящуюся к $-\infty$ или к $+\infty$ на K . Доказательство основного результата опирается на одно утверждение, полученное в работе [3].

Теорема А. Для произвольной субгармонической функции $f(z)$ класса \mathfrak{R} справедливо разложение $\Gamma = F(f) \cup I_*(f) \cup E$, в котором E - некоторое множество меры нуль, причём в каждой точке $\xi \in K(f)$ справедливо разложение $C(f, \xi, h(\xi, \varphi)) = C(f, \xi, \Delta(\xi))$ для всех углов $\Delta(\xi)$ и хорд $h(\xi, \varphi)$.

В настоящей работе получен следующий результат.

Теорема. Пусть $u(z)$ – субгармоническая функция класса \mathfrak{R} , определенная в D и E – некоторое множество на дуге $\gamma \subset \Gamma$, $\text{mes } E > 0$. Допустим, в каждой точке $\xi \in E$ можно указать такую хорду $h(\xi, \varphi_\xi)$,

$$-\frac{\pi}{2} < \varphi_\xi < \frac{\pi}{2}, \text{ что}$$

1) предельное множество $C(u, \zeta, h(\zeta, \varphi_\zeta))$ ограничено сверху;

2) существует такая (B) – последовательность точек $\{z_n\}$, отнесенная к дуге $\gamma \subset \Gamma$, что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} u(z_k) = \alpha$$

Тогда функция $u(z)$ имеет в почти каждой точке на дуге $\gamma \subset \Gamma$, угловые граничные пределы, равные α .

Доказательство теоремы. Из условий 1) и 2) теоремы, в силу утверждения теоремы А, следует, что каждая точка $\xi \in E$ не является обобщенной точкой Плеснера и почти в каждой точке $\xi \in E$ функция $u(z)$ имеет угловой предел. При доказательстве мы будем придерживаться рассуждений, проведенных в работе [4]. Обозначим через β_ξ соответствующие угловые пределы. Не нарушая общности, можно считать, что множество E целиком лежит на некоторой дуге $\delta \subset \gamma$ и концевые точки δ являются предельными точками множества E . Рассмотрим такую точку $\xi \in E$, которая является внутренней для δ и в которой функция $u(z)$ имеет угловой предел β_ξ . Допустим, что этот предел не равен α . Выберем такой

угол φ , что $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$ и $M < \sigma\left(0, \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right)$, где $M < +\infty$ постоянная, фи-

гурирующая в определении (B)- последовательностей и $\sigma\left(0, \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right)$ –

неевклидовое расстояние от любой точки гиперциклов $L(\xi, -\varphi)$ и

$L(\xi, \varphi)$ до диаметра Λ^ξ , соединяющего точки $-\xi$ и ξ . В достаточно малой

окрестности точки ξ каждая точка области $H(\xi, -\varphi, \varphi)$ лежит в углу

$\Delta(\xi, -\varphi, \varphi)$, $\lim_{n \leftarrow \infty} u(z_n) = \alpha$ и $\lim u(z) = \beta_\xi \neq \alpha$, когда $z \rightarrow \xi$ и

$z \in H(\xi, -\varphi, \varphi)$ (1).

Начиная с некоторого номера N_0 , все дуги γ_n , $n \geq N_0$, последовательности дуг $\{\gamma_n\}$ из определения (B)- последовательности будут

пересекать область $H(\xi, -\varphi, \varphi)$. Обозначим общие части через α_n ,

$n \geq N_0$. Согласно условию $\lim_{n \leftarrow \infty} u(z_n) = \alpha$ и соотношению (1) ни одна из дуг α_n , $n \geq N_0$, не содержит точек (В)- последовательности $\{z_k\}$. С другой стороны, каждая граничная точка области $H(\xi, -\varphi, \varphi)$ (кроме точки ξ) отстоит на неевклидовом расстоянии $\sigma\left(0, \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}\right)$ до диаметра Λ^ξ , соединяющего точки ξ и $-\xi$. Дуги α_n , $n \geq N_0$, соединяют точки, лежащие на противоположных сторонах границы области $H(\xi, -\varphi, \varphi)$ и, значит, неевклидовый диаметр $d(\alpha_n) > M$ для $n \geq N_0$. Согласно определению (В)- последовательностей, каждая дуга α_n , $n \geq N_0$, должна содержать хотя бы одну точку последовательности $\{z_k\}$, что невозможно по предположению. Полученное противоречие показывает, что почти во всех точках $\xi \in E$, $\operatorname{mes} E > 0$, функция $f(z)$ имеет угловой предел, равный α . Утверждение теоремы доказано.

Замечание. Отметим что аналогичная задача для произвольных гармонических функций рассматривалась в работе [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.И. Нормальные функции и почти периодические функции. ДАН СССР, 1978, т.240, № 4, 768–770.
2. Берберян С.Л., Гаврилов В.И. Предельные множества непрерывных и гармонических функций по некасательным граничным путям // *Mathematica Montisnigri*, 1993, Vol.1, 17–25.
3. Берберян С.Л. О граничных особенностях нормальных субгармонических функций. *MATHEMATICA MONTISNIGRI*, 2005–2006, volume XVIII-XIX. PP. 5–14.
4. Bagemihl F., Seidel W. Sequential and continuous limits of meromorphic functions. *Annal. Acad. Scien. Fennicae*, 1960, Ser. A, № 280, 1–17.
5. Берберян С.Л. О некоторых достаточных условиях существования угловых граничных значений у гармонических функций // Шестая Годичная

научная конференция РАУ.Сборник научных статей. 2011. СС.12–18.

Работа выполнена в рамках программы развития Российско-Армянского
Университета

**ABOUT SUFFICIENT CONDITIONS FOR THE EXISTENCE OF ANGULAR
BOUNDARY VALUES IN NORMAL SUBHARMONIC FUNCTIONS**

S. Berberyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

The paper considers the question of the existence of angular boundary values for normal subharmonic functions defined in the unit circle. Similar studies have previously been carried out for meromorphic, holomorphic, and harmonic functions.

Keywords: subharmonic normal functions, angular limits, limit sets, non-Euclidean distance.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МУЛЬТИПЛИКАТОРОВ В ТЕОРЕМАХ ВЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИАНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВ

Г.А. Карапетян, М.А. Хачатурян

Российско-Армянский университет

garnik_karapetyan@yahoo.com, khmikayel@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Работа является продолжением предыдущих работ автора о теоремах вложения для функций, принадлежащих мультианизотропному пространству Соболева. В отличие от предыдущих работ, где изучаются случаи, когда показатель вложения меньше единицы, в этой работе изучается предельный случай, то есть когда показатель вложения равен единице. Для получения окончательного результата в работе был широко использован аппарат теории мультипликаторов.

Ключевые слова: мультианизотропное пространство, интегральное представление, теоремы вложения, мультипликатор, усреднение функций.

Введение

При доказательстве всех теорем вложения выделяются два случая. Первый случай – когда показатель вложения меньше единицы; второй случай – когда показатель равен единице, то есть имеет место предельный случай. В предыдущих работах при доказательстве теоремы вложения для функций из мультианизотропных пространств изучался случай, когда показатель вложения был меньше единицы. В данной работе доказываются теоремы вложения для мультианизотропных функциональных пространств в предельном случае. При доказательстве вышеупомянутых теорем используется аппарат теории мультипликаторов.

Будем придерживаться следующим обозначений. Пусть R^n есть n -мерное евклидовое пространство, а Z_+^n – множество мультииндексов из R^n . Для $\xi, \eta \in R^n$, $\alpha \in Z_+^n$ и $t > 0$ введем следующие обозначения: $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n$, $t^\eta = (t^{\eta_1}, \dots, t^{\eta_n})$, $D^k = \frac{1}{i} \frac{\partial}{\partial x_k}$ ($k = 1, 2 \dots n$); $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} D_2^{\alpha_2} \dots D_n^{\alpha_n}$ есть обобщенная производная по С.Л. Соболеву порядка α . Через \mathfrak{N}_i^{n-1} ($i = 1, 2, \dots, I_{n-1}$) обозначим $(n-1)$ -мерные некоординатные грани многогранника \mathfrak{N} , а через $\partial' \mathfrak{N} = \bigcup_{i=1}^{I_{n-1}} \mathfrak{N}_i^{n-1}$. Также, пусть μ^i ($i = 1, 2 \dots I_{n-1}$) есть такая внешняя норма грани \mathfrak{N}_i^{n-1} , что уравнение гиперплоскости, содержащая данную грань, задается формулой $(\alpha, \mu^i) = 1$ ($i = 1, 2 \dots I_{n-1}$). Обозначим через α^i ($i = 1, 2 \dots M$) вершины (отличные от нуля) многогранника \mathfrak{N} . Для вполне правильного многогранника \mathfrak{N} обозначим через $W_p^{\mathfrak{N}}(R^n) = \{f: f \in L_p(R^n), D^{\alpha^i} f \in L_p(R^n), i = 1, 2, \dots, M\}$ и назовем мультианизотропным пространством С.Л. Соболева. Заметим, что $C_0^\infty(R^n)$ плотно в $W_p^{\mathfrak{N}}(R^n)$ по норме

$$\|U\|_{W_p^{\mathfrak{N}}(R^n)} = \sum_{i=1}^M \|D^{\alpha^i} U\|_{L_p(R^n)} + \|U\|_{L_p(R^n)}$$

Пусть α^i ($i = 1, 2 \dots M$) – вершины вполне правильного многогранника \mathfrak{N} , $\nu > 0$ есть произвольный параметр, а k – натуральное число. Обозначим через

$$P(\nu, \xi) = (\nu \xi^{\alpha^1})^{2k} + \dots + (\nu \xi^{\alpha^M})^{2k} \quad \xi \in R^n$$

мультианизотропный многочлен и с помощью $P(\nu, \xi)$ введем следующие функции:

$$G_0(\nu, \xi) = e^{-P(\nu, \xi)},$$

$$G_{1,j}(\nu, \xi) = (-2k) (\nu \xi^{\alpha^j})^{2k-1} e^{-P(\nu, \xi)} \quad (j = 1, 2 \dots M),$$

а $\widehat{G}_0(t, \nu)$, $\widehat{G}_{1,j}(t, \nu)$ ($j = 1, 2 \dots M$) есть соответствующие преобразования Фурье для этих функций. Из вполне правильности многогранника \mathfrak{N} следует, что все вышеуказанные функции принадлежат классу S Шварца – множеству быстро убывающих на бесконечности дифференцируемых функций. Свойства функций \widehat{G}_0 , $\widehat{G}_{1,j}$ ($j = 1, 2 \dots M$) изучены в работах [1]–[3].

В работах [1]–[3] для любой было введено усреднение с мультианизотропным ядром $\widehat{G}_0(t, \nu)$:

$$f_\nu(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}} \int_{R^n} f(t) \widehat{G}_0(t - x, \nu) dt \quad (1)$$

которое удовлетворяет обычным свойствам усреднения, то есть имеет место.

Лемма 1. (см [10]) Пусть $f \in L_p(R^n)$, $1 < p < \infty$. Тогда $f_\nu \in L_p(R^n)$, $\lim_{\nu \rightarrow \infty} \|f_\nu\|_{L_p(R^n)} = 0$ $\lim_{\nu \rightarrow 0} \|f_\nu - f\|_{L_p(R^n)} = 0$.

С помощью усреднения (1), как и в работе [3], получим интегральное представление функций через мультианизотропные ядра $\widehat{G}_{1,j}$ ($j = 1, 2 \dots M$).

Теорема 1. (см. [3]) Пусть для функции f существуют производные $D^{\alpha_j} f$ ($j = 1, 2 \dots M$). Тогда почти для всех $x \in R^n$ имеет место представление:

$$f(x) = f_h(x) + \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \sum_{j=1}^M \int_{\epsilon}^h \int_{R^n} D^{\alpha_j} f(t) \widehat{G}_{1,j}(t - x, \nu) dt d\nu \quad (2)$$

Доказательство основной теоремы опирается на интегральное представление (2).

Определение 1. (см. [6]) Ограниченная измеримая на R^n функция называется (L_p, L_q) мультипликатором, если существует постоянное число $C = C(p, q)$, что для любой бесконечно дифференцируемой финитной функции f имеет место неравенство:

$$\left\| \widehat{\mu \widehat{f}} \right\|_{L_q(R^n)} \leq C \|f\|_{L_p(R^n)}$$

где \widehat{f} – преобразование Фурье функции f , а \widetilde{f} – обратное преобразование Фурье.

Множество (L_p, L_q) мультипликаторов обозначим через M_p^q .

Теорема 2. (П.И. Лизоркин о мультипликаторах) (см. [6]) пусть вектор $\bar{k} = (k_1, \dots, k_n)$ имеет координаты 0 или 1. Носителем вектора \bar{k} называем множество $e_{\bar{k}} = \{j_1, \dots, j_m\}$ тех индексов j , для которых $k_j = 1$ и пусть функция $\mu(\xi)$ задана на R^n . Если для любого вектора k производная

$D^k \mu(\xi)$, существует и непрерывна в любой точке $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, где $\xi_i \neq 0$ при $i \in e_{\bar{k}}$ и подчиняется неравенству:

$$\left| |\xi_1|^{k_1 + \frac{1}{p} - \frac{1}{q}} \dots |\xi_n|^{k_n + \frac{1}{p} - \frac{1}{q}} \frac{\partial^{k_1 + \dots + k_n}}{\partial \xi_1^{k_1} \dots \partial \xi_n^{k_n}} \mu \right| \leq L$$

для некоторой постоянной $L > 0$, тогда $\mu \in M_p^q$.

Теорема 3. (Основная). Пусть для чисел p и q ($1 < p \leq q < \infty$) и мультииндекса $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$

$$\chi = \max_{i=1,2,\dots,n-1} \left((\beta, \mu^i) + |\mu^i| \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{q} \right) \right) = 1$$

Тогда $D^\beta W_p^{\mathfrak{R}}(R^n) \hookrightarrow L_q(R^n)$, то есть любая функция $f \in W_p^{\mathfrak{R}}(R^n)$ имеет обобщенную производную $D^\beta f$, принадлежащую классу $L_q(R^n)$, и для некоторых постоянных $C_1, C_2 > 0$ имеет место неравенство

$$\|D^\beta f\|_{L_q(R^n)} \leq C_1 \sum_{i=1}^M \|D^{\alpha^i} f\|_{L_p(R^n)} + C_2 \|f\|_{L_p(R^n)}$$

Замечание 1. В случае, когда β принадлежит некоторой $(n - 1)$ -мерной грани, то есть если $\beta \in \partial' \mathfrak{R}$ (следовательно, $p = q$), то данная теорема получается также с многократным применением теоремы вложения для обобщенно однородных пространств (см. [4]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Karapetyan G.A. Integral representation of functions and embedding theorems for multianisotropic spaces for three-dimensional case. Eurasian Mathematical Journal, ISSN, v.7, n.4, (2016), 19–39.
2. Каранетян Г.А. Интегральное представление и теоремы вложения для n -мерных мультианизотропных пространств с одной вершиной анизотропности // Сиб. мат. Журнал, т. 58, № 3 (2017), 445–460.
3. Karapetyan G.A., Arakelian M.K. Embedding the rems for general multi unison tropic spaces (in press).
4. Бесов О.В., Ильин В.П., Никольский С.М. Интегральные представления функций и теоремы вложения. М.: «Наука»,(1975).

5. Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения. М.: «Наука», (1977).
6. Лизоркин П.И. (L_p, L_q) мультипликаторы интегралов Фурье. ДАН СССР, т. 152, (1963), 808–811.

**APPLICATION OF THE THEORY OF MULTIPLICATORS
IN EMBADING THEOREMS FOR MULTIANISOTROPIC
FUNCTIONAL SPACES**

G. Karapetyan, M. Khachaturyan

ABSTRACT

The paper is a continuation of the author's previous works on embedding theorems for functions belonging to the multi anisotropic Sobolev space. The difference from previous works, where are studied the cases when the embading indicator is less than one, is that in this work the limiting case is studied, that is, when the embading indicator is equal to a unit. To obtain the final result, the apparatus of the theory of multipliers was widely used in the work.

Keywords: multi anisotropic space, integral representation, embedding theorems, multipliers, function averaging.

О ГЛАДКОСТИ РЕШЕНИЙ ИЗ ВЕСОВЫХ ПРОСТРАНСТВ ОДНОГО КЛАССА ПОЧТИ ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

В.Н. Маргарян, Г.Г. Казарян

Российско-Армянский университет

vachagan.margaryan@yahoo.com, haikghazaryan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе для класса почти гипоеллиптических уравнений постоянной мощности доказывается, что все те решения, которые растут не слишком быстро на бесконечности, являются бесконечно дифференцируемыми функциями.

Ключевые слова: почти гипоеллиптический многочлен, многочлен гипоеллиптический по Буренкову, многочлен с постоянными коэффициентами.

Пусть N – множество натуральных чисел, $N_0 = N \cup \{0\}$, N_0^n – множество n -мерных мультииндексов, то есть точек $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in N_0^n$, $\alpha_j \in N_0$ ($j = 1, \dots, n$), а R^n – n -мерное вещественное евклидово пространство точек $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)$ ($x = (x_1, \dots, x_n)$). Для $\xi \in R^n$ и $\alpha \in N_0^n$ обозначим $|\xi| = \sqrt{\xi_1^2 + \dots + \xi_n^2}$, $|\alpha| = \alpha_1 + \dots + \alpha_n$, $\xi^\alpha = \xi_1^{\alpha_1} \dots \xi_n^{\alpha_n}$, $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$, где $D_j = \frac{\partial}{\partial \xi_j}$ ($j = 1, \dots, n$).

Пусть $P(\xi) = \sum_{\alpha} \gamma_{\alpha} \xi^{\alpha}$ – многочлен с постоянными коэффициентами, где сумма распространяется по конечному набору $(P) \subset N_0^n$.

Определение 1. (см. [1]). Многочлен P называется почти гипозеллиптическим, если с некоторой постоянной $C > 0$

$$\sum_{\alpha} |D^{\alpha} P(\xi)| \leq (|P(\xi)| + 1) \forall \xi \in R^n.$$

Определение 2. (см. [2]). Пусть $1 \leq k < n$. Многочлен P называется гипозеллиптическим по Буренкову относительно $\xi' = (\xi_1, \dots, \xi_k)$, если

$$\sum_{0 \neq \alpha \in N_0^k} |D^{\alpha} P(\xi)| / (1 + |P(\xi)|) \rightarrow 0 \text{ при } |\xi| \rightarrow \infty.$$

Пусть $1 \leq k < n$ $P(x', \xi) = \sum_{\alpha} \gamma_{\alpha}(x') \xi^{\alpha}$, $x' \in R^k$, $\xi \in R^n$ многочлен с переменными коэффициентами.

Определение 3. (см. [3]). Говорят, что многочлен $P(x', \xi)$ имеет равномерно постоянную мощность, если с некоторой постоянной $C \geq 1$ при всех $x', y' \in R^k$ ($1 \leq k < n$)

$$C^{-1} \sum_{\alpha} |D_{\xi}^{\alpha} P(x', \xi)| \leq \sum_{\alpha} |D_{\xi}^{\alpha} P(y', \xi)| \leq C \sum_{\alpha} |D_{\xi}^{\alpha} P(x', \xi)|, \xi \in R^n.$$

Через B обозначим множество тех многочленов $P(x', \xi)$, которые имеют равномерно постоянную мощность, многочлен $P_0(\xi) := P(0', \xi)$ почти гипозеллиптичен и гипозеллиптичен по Буренкову относительно ξ' , с некоторой постоянной $C > 0$

$$|\xi| \leq C(|P_0(\xi)| + 1) \forall \xi \in R^n$$

и для любых $\alpha \in (P)$, $\beta' \in N_0^k$ $\sup_{x' \in R^k} |D^{\beta'} \gamma_{\alpha}(x')| < \infty$.

Пусть $g \in C^{\infty}(R^n)$ такая функция, что с некоторой постоянной $C \geq 1$

$$C^{-1} e^{-|x|} \leq g(x) \leq C e^{-|x|}, x \in R^n$$

и для любого $\alpha \in N_0^n$ с некоторой постоянной $C_{\alpha} > 0$

$$|D^{\alpha} g(x)| \leq C_{\alpha} g(x), x \in R^n.$$

Для $\delta > 0$, $l \in N_0$, многочлена Q с постоянными коэффициентами и $P(x', \xi) \in B$ обозначим

$$L_{2,\delta} := \{f, f \cdot g_{\delta} \in L_2\}, \text{ где } g_{\delta}(x) = g(\delta \cdot x),$$

$$W_{2,\delta}^l := \{f, D^{\alpha} f \in L_{2,\delta}, \forall \alpha \in N_0^n, |\alpha| \leq l\},$$

$$W_{2,\delta}^l(Q) := \{f \in L_{2,\delta}, Q(D)f \in W_{2,\delta}^l\},$$

$$\Phi_l(P, \delta) := \{f \in W_{2,\delta}^l(P_0), P(x', D)U = 0\}$$

и положим

$$W_{2,\delta}^\infty := \bigcap_{l \in N_0} W_{2,\delta}^l, \quad W_{2,\delta}^\infty(Q) := \bigcap_{l \in N_0} W_{2,\delta}^l(Q).$$

Получим следующие результаты

Лемма 1. (см. [4]). Пусть Q многочлен с постоянными коэффициентами. Тогда для любых $\delta > 0$ и $l \in N_0$ множество $W_{2,\delta}^\infty$ плотно в $W_{2,\delta}^l(Q)$.

Лемма 2. Для многочлена $P(x', \xi) \in B$ существует число $\delta_0 = \delta_0(P_0) > 0$ такое, что с некоторой постоянной $C > 0$ при всех $\delta \in (0, \delta_0)$ и $U \in W_{2,\delta}^\infty$

$$C^{-1} \|U\|_{W_{2,\delta}^0(P_0)} \leq \|P(x, D)U\|_{L_{2,\delta}} + \|U\|_{L_{2,\delta}} \leq C \|U\|_{W_{2,\delta}^0(P_0)}.$$

Лемма 3. Пусть $P(x', \xi) \in B$, $\delta \in (0, \delta_0)$, где δ_0 число из леммы 2. Тогда для любого $l \in N_0$, $\Phi_l(P, \delta) = \Phi_{l+1}(P, \delta)$.

Исходя из этих предварительных результатов доказана.

Теорема. При условиях леммы 2

$$\Phi_0(P, \delta) \subset \rightarrow W_{2,\delta}^\infty(P_0) \subset W_{2,\delta}^\infty \subset C^\infty.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghazaryan H.G. On almost hypoelliptic polynomials // Dokl. Ross. Acad. Nauk, v. 898, n. 6, 701–703, 2007.
2. Буренков В.И. Аналогтеоремы Хермандера огипоэллиптичности для функций, стремящихся к нулю на бесконечности // Сб. докл. VII Советско-Чехословацкого семинара. Ер., 63–67, 1982.
3. Хермандер Л. Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными // М.: «Мир», II том, 1986.
4. Казарян Г.Г., Маргарян В.Н. Об одном классе почти гипоэллиптических операторов // Изв. НАН Армении, т. 41, н. 6, 39–56, 2006.

**ON THE SMOOTHNESS OF SOLUTIONS FROM THE WEIGHTED SPACES
OF A CLASS OF ALMOST HYPOELLIPTIC EQUATIONS
OF CONSTANT POWER**

V. Margaryan, H. Ghazaryan

ABSTRACT

In the paper, for a class of almost hypoelliptic equations of constant power, it is proved that all those solutions that do not grow too fast at infinity are infinitely differentiable functions.

Keywords: almost hypoelliptic polynomial, hypoelliptic polynomial by Burenkov, polynomial with constant coefficients.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПРИБЛИЖЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Г.А. Петросян

Российско-Армянский университет

heghine.petrosyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

В данной работе строится шкала весовых пространств, где регулярные операторы корректно разрешимы. При этом с помощью специальных интегральных операторов строятся приближенные решения соответствующей задачи Дирихле.

Ключевые слова: корректная разрешимость, мультианизотропное ядро, регулярный оператор, интегральное представление функций.

Введение

Корректная разрешимость для эллиптических и квазиэллиптических уравнений достаточно хорошо изучена разными математиками, отметим работы [1–3]. В работах [2–3] Г.В. Демиденко построил в каком-то смысле полную теорию для разрешимости квазиэллиптических уравнений в R^n и R_+^n . В дальнейшем, в работах [4, 5] была изучена теория о разрешимости регулярных уравнений в R^n и задачи Дирихле в R_+^n и с помощью специальных интегральных операторов были построены приближенные решения данных задач. В настоящей работе, применяя специальное интегральное представление функций, полученных Г.А. Карапетяном в работе [6], изучается корректная разрешимость и строятся приближенные решения соответствующей задачи Дирихле для регулярных уравнений в R_+^n в

специальных весовых пространствах. В частности, как и в квазиэллиптическом случае, строится шкала таких весовых пространств.

Будем пользоваться обозначениями работ [4, 5]. Для вполне правильного многогранника $\mathfrak{X} \subset R^{n-1}$ с вершинами $\alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^M$ рассмотрим многогранник $\mathfrak{S} \subset R^n$ с вершинами $\beta^i = (\alpha^i, 0)$ ($i = 1, \dots, M$) и $\beta^{M+1} = (0, 0, \dots, 2m)$.

Рассмотрим дифференциальный оператор $P(D_x, D_{x_n})$ в R_+^n

$$P(D_x, D_{x_n}) = D_{x_n}^{2m} + \sum_{i=1}^M a_i D_x^{\alpha^i} \quad (1)$$

с постоянными действительными коэффициентами a_i ($i = 1, \dots, M$).

Предположим, что оператор (1) есть регулярный оператор, то есть характеристический многочлен $P(\xi, \xi_n) = \xi_n^{2m} + \sum_{i=1}^M a_i \xi^{\alpha^i}$, где

$\xi^\alpha = \xi_1^{\alpha_1} \dots \xi_{n-1}^{\alpha_{n-1}}$, удовлетворяет неравенству

$$|P(\xi, \xi_n)| \geq A \left(\sum_{i=1}^M |\xi^{\alpha^i}| + \xi_n^{2m} \right) \quad (2)$$

с некоторой постоянной $A > 0$.

Из регулярности оператора (1) следует, что вершины многогранника \mathfrak{X} имеют четные координаты и при действительных коэффициентах a_i ($i = 1, \dots, M$) многочлен $P(\xi, \tau)$ по τ имеет ровно m корней с положительными и отрицательными мнимыми частями. Для любого фиксированного ξ обозначим через $\tau_i^\pm(\xi)$ ($i = 1, \dots, m$) эти корни. Обозначим также через

$$M^+(\xi, \tau) = \prod_{j=1}^m (\tau - \tau_j^+(\xi)) = \sum_{i=0}^m b_i(\xi) \tau^{m-i},$$

$$M_k^+(\xi, \tau) = \sum_{i=0}^k b_i(\xi) \tau^{m-i},$$

$$\chi = |\mu^0| \cdot \left(1 - \frac{1}{p} \right),$$

где $p > 1$ – некоторое число.

В R_+^n рассмотрим следующую задачу Дирихле:

$$\begin{cases} P(D_x, D_{x_n})U = f(x, x_n), & x \in R^{n-1}, x_n > 0 \\ \left. \frac{\partial^i U}{\partial x_n^i} \right|_{x_n=0} = 0, & i = 0, 1, \dots, m-1. \end{cases} \quad (3)$$

Как и в работе [15] (квазиэллиптический случай см. в работе [13]), введем следующие контурные интегралы и обозначения

$$J_+(\xi, x_n) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma^+(\xi)} \frac{e^{ix_n \lambda}}{P(\xi, \lambda)} d\lambda,$$

$$J_-(\xi, x_n) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma^-(\xi)} \frac{e^{ix_n \lambda}}{P(\xi, \lambda)} d\lambda,$$

$$J_j(\xi, x_n) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma^+(\xi)} \frac{e^{ix_n \lambda} M_{m-j}^+(\xi, \lambda)}{M^+(\xi, \lambda)} d\lambda,$$

$$Q_j(\xi, x_n) = \frac{\partial^{j-1}}{\partial y_n^{j-1}} J_-(\xi, y_n - x_n) \Big|_{y_n=0}, \quad j = 1, \dots, m,$$

где $\Gamma^+(\xi)$ и $\Gamma^-(\xi)$ – контуры в комплексной плоскости, охватывающие соответственно все корни $\tau_i^+(\xi)$ и $\tau_i^-(\xi)$ ($i = 1, \dots, m$).

Для любого параметра $\nu > 0$ и натурального числа k введем следующие функции:

$$G_0(\xi, \nu) = e^{-(\nu \rho_{\Re}(\xi))^{2k}},$$

$$G_1(\xi, \nu) = (-2k)(\nu \rho_{\Re}(\xi))^{2k-1} e^{-(\nu \rho_{\Re}(\xi))^{2k}},$$

$$G_2(\xi, \nu) = \rho_{\Re}(\xi) G_1(\xi, \nu),$$

а $\hat{G}_i(t, \nu)$ ($i = 0, 1, 2$) соответствующие преобразования Фурье этих функций.

В работе [5] для функции $f \in L_p(R^{n-1})$ построено усреднение функции через ядро $\hat{G}_0(t, \nu)$:

$$f_\nu(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n-1}{2}}} \int_{R^{n-1}} f(t) \hat{G}_0(t-x, \nu) dt$$

и почти для всех $x \in R^{n-1}$ получено интегральное представление:

$$f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n-1}{2}}} \int_h^{h^{-1}} d\nu \int_{R^{n-1}} f(t) \hat{G}_2(t-x, \nu) dt.$$

Для построения приближенного решения задачи (3)–(4) в работе [15] введены следующие интегральные операторы (случай квазиэллиптического оператора см. в работах [12, 13]):

$$R_h^+ f(x, x_n) = \frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_h^{h^{-1}} \int_0^{x_n} \int_{R^{n-1}} \int_{R^{n-1}} e^{i(x-y)\xi} G_2(\xi, \nu) J_+(\xi, x_n - y_n) f(y, y_n) d\xi dy dy_n d\nu,$$

$$R_h^- f(x, x_n) = -\frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_h^{h^{-1}} \int_{x_n}^{\infty} \int_{R^{n-1}} \int_{R^{n-1}} e^{i(x-y)\xi} G_2(\xi, \nu) J_-(\xi, x_n - y_n) f(y, y_n) d\xi dy dy_n d\nu,$$

$$R_{jh} f(x, x_n) = \frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_h^{h^{-1}} \int_{R^{n-1}} \int_{R^{n-1}} e^{i(x-y)\xi} G_2(\xi, \nu) J_j(\xi, x_n) \int_0^{\infty} Q_j(\xi, y_n) f(y, y_n) dy_n d\xi dy d\nu,$$

где $j = 1, \dots, m$.

Из определения операторов R_h^+ , R_h^- , R_{jh} ($j = 1, \dots, m$) и из результатов работы [15] следует, что функция

$$U_h(x, x_n) = (R_h^+ + R_h^- + \sum_{j=1}^m R_{jh}) f(x, x_n)$$

является приближенным решением задачи Дирихле (3)–(4).

Определим шкалу функциональных пространств, где будем изучать задачу (3)–(4). По аналогии работы [14] (квазиоднородный случай изучен в работах Г.В. Демиденко [12, 13]), обозначим через $W_{p,\sigma}^{\mathfrak{S}}(R_+^n)$ пополнение множества функций из $C^\infty(\bar{R}_+^n)$ равных нулю при больших (x, x_n) по норме

$$\|u\|_{W_{p,\sigma}^{\mathfrak{S}}(R_+^n)} = \sum_{\beta \in \mathfrak{S}} \left\| (1 + \rho_{\mathfrak{S}}(x, x_n))^{-\sigma(1 - \max_{i=1, \dots, j_n-2}(\beta, \mu^i))} D_{xx_n}^\beta u(x, x_n) \right\|_{L_p(R_+^n)}$$

где $\rho_{\mathfrak{S}}(x, x_n) = (x_n^{2m} + \rho_{\mathfrak{R}}^2(x))^{\frac{1}{2}}$. При $\sigma = 0$ данное пространство совпадает с пространством $W_p^{\mathfrak{S}}(R_+^n)$. Через $L_{1,\gamma}(R_+^n)$ обозначим пространство суммируемых функций $u(x, x_n)$ с конечной нормой

$$\|u\|_{L_{1,\gamma}(R_+^n)} = \|(1 + \rho_{\mathfrak{S}}(x, x_n))^{-\gamma} u(x, x_n)\|_{L_1(R_+^n)}.$$

Очевидно, что $L_{1,0}(R_+^n) = L_1(R_+^n)$. Для любого вполне правильного многогранника \mathfrak{S} регулярного многочлена $P(\xi, \xi_n)$ обозначим через $c_0 = \min_j (\min_l \mu_j^l / \max_l \mu_j^l)$.

Теорема 1. Пусть $|\mu^0| > 1$, $1 - \chi < \sigma < \min\{2c_0, |\mu^0|/p\}$. Тогда для любой функции $f \in L_p(R_+^n) \cap L_{1,-\sigma}(R_+^n)$ задача (3)–(4) имеет единственное решение $U \in W_{p,\sigma}^{\mathfrak{S}}(R_+^n)$, при этом с некоторой постоянной $C > 0$ имеет место неравенство:

$$\|U\|_{W_{p,\sigma}^{\mathfrak{S}}(R_+^n)} \leq C (\|f\|_{L_p(R_+^n)} + \|f\|_{L_{1,-\sigma}(R_+^n)}).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карпетян Г.А.* Решение полуэллиптических уравнений в полупространстве // Тр. Мат. ин-та им. В.А. Стеклова АН СССР, т. 170, (1984), 119–138.
2. *Демиденко Г.В.* О корректной разрешимости краевых задач в полупространстве для квазиэллиптических уравнений // Сиб. мат. журнал, т. XXIX, № 4 (1988).
3. *Демиденко Г.В.* Интегральные операторы, определяемые квазиэллиптическими уравнениями // П, Сиб. мат. журнал, т. 35, № 1, (1994), 41–65.
4. *Карпетян Г.А., Петросян Г.А.* О разрешимости регулярных гипоеллиптических уравнений в R^n // Изв. НАН Армении, т. 53, № 4, (2018), 46–65.

5. *Каранетян Г.А., Петросян Г.А.* Корректная разрешимость задачи Дирихле в полупространстве для регулярных уравнений // Изв. НАН Армении, в печати.
6. *Каранетян Г.А.* Интегральное представление и теоремы вложения для n -мерных мультианизотропных пространств с одной вершиной анизотропности // Сиб. мат. журнал, 58, № 3, (2017), 573–590.

**SPECIAL INTEGRAL REPRESENTATIONS AND
APPROACH DECISIONS FOR ONE CLASS
HIPOELLIPTIC EQUATIONS**

H. Petrosyan

ABSTRACT

In this paper, we construct a scale of weighted spaces, where regular operators are correctly solvable. In this case, using the integral operators, we construct an approximate solution of the corresponding Dirichlet problem.

Keywords: correct solvability, multianisotropic kernel, regular operator, integral representation of functions.

О НЕТЕРОВОСТИ РЕГУЛЯРНЫХ ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ В \mathbb{R}^n

А.Г. Туманян

Российско-Армянский Университет

ani.tumanyan92@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию нетеровости регулярных гипоеллиптических операторов с переменными коэффициентами, имеющими определенное поведение на бесконечности. Получены достаточные условия для нетеровости рассматриваемых операторов в мультианизотропных весовых пространствах в \mathbb{R}^n .

Ключевые слова: нетеровость, регулярный гипоеллиптический оператор, мультианизотропные пространства.

В работах [1–4] А.А. Дарбиняна, А.Г. Туманян исследована нетеровость полуэллиптических операторов с постоянными и специальными переменными коэффициентами в анизотропных соболевских пространствах в \mathbb{R}^n . В работе [5] Г.А. Карапетяна и А.А. Дарбиняна доказана нетеровость полуэллиптического оператора с постоянными коэффициентами в анизотропных пространствах Соболева в ограниченной области, а в работе [6] тех же авторов аналогичный результат установлен для регулярных гипоеллиптических операторов, действующих в мультианизотропных пространствах в ограниченной области.

В данной работе исследуется нетеровость регулярных гипоеллиптических операторов со специальными переменными коэффициентами в мультианизотропных весовых пространствах в \mathbb{R}^n .

Определение 1. Ограниченный линейный оператор A , определенный на всем банаховом пространстве X и действующий в банахово пространство Y , называется нетеровым, если выполняются следующие условия:

- 1) область значений оператора A замкнута ($\text{Im}(A) = \overline{\text{Im}(A)}$);
- 2) ядро оператора A является конечномерным ($\dim \text{Ker}(A) < \infty$);
- 3) коядро оператора A конечномерно ($\dim \text{coker}(A) = \dim Y / \text{Im}(A) < \infty$).

Индексом нетероваго оператора A называется разность между размерностью ядра и коядра:

$$\text{ind}(A) = \dim \text{Ker}(A) - \dim \text{coker}(A).$$

Пусть \mathbb{R} множество действительных чисел, \mathbb{R}_+ множество неотрицательных действительных чисел, \mathbb{N} множество натуральных чисел, $n \in \mathbb{N}$, \mathbb{R}^n – n -мерное евклидово пространство, \mathbb{Z}_+ – множество неотрицательных целых чисел, \mathbb{Z}_+^n – множество n -мерных мультииндексов, \mathbb{N}^n – множество n -мерных мультииндексов с натуральными компонентами.

Пусть $\mathcal{N} \subset \mathbb{Z}_+^n$ – некоторый набор мультииндексов. Характеристическим многогранником множества мультииндексов \mathcal{N} назовем наименьший выпуклый многогранник $\mathcal{R} = \mathcal{R}(\mathcal{N})$, который содержит все точки \mathcal{N} . Непустой многогранник \mathcal{R} назовем полным, если он имеет вершины в начале координат \mathbb{R}^n и на каждой оси координат \mathbb{R}^n , отличные от начала координат. Полный многогранник называется вполне правильным, если внешние нормали всех $(n-1)$ -мерных некоординатных граней \mathcal{R} имеют только положительные координаты.

Мультииндекс $\alpha \in \mathcal{R}$ называется главным, если он принадлежит какой-либо $(n-1)$ -мерной некоординатной грани многогранника \mathcal{R} . Множество всех главных точек из \mathcal{R} обозначим через $\partial' \mathcal{R}$.

Пусть R – произвольный вполне правильный многогранник и $k \in \mathbb{R}_+$.

Обозначим $k\mathcal{R} = \{k\alpha = (k\alpha_1, k\alpha_2, \dots, k\alpha_n), \alpha \in \mathcal{R}\}$. Обозначим через \mathcal{R}_j^{n-1} ($j = 1, \dots, I_{(n-1)}$) $(n-1)$ -мерные грани многогранника R . Пусть

$\mu^j, j = 1, \dots, I_{n-1}$ такая внешняя нормаль грани \mathcal{R}_j^{n-1} , для которой при всех

$$\alpha \in \mathcal{R}_j^{n-1} (\alpha : \mu^j) = \frac{\alpha_1}{\mu_1^j} + \dots + \frac{\alpha_n}{\mu_n^j} = 1.$$

Для вполне правильного многогранника \mathcal{R} и $k \in \mathbb{N}$ обозначим

$$Q^{k, \mathcal{R}} = \left\{ q(x) : q(x) > 0, \forall x \in \mathbb{R}^n, \frac{1}{q(x)} \Rightarrow 0, \frac{|D^\beta q(x)|}{q(x)^{1+(\beta \cdot \mu^j)}} \Rightarrow 0 \text{ при } |x| \rightarrow \infty \forall \beta \in k\mathcal{R}, j = 1, \dots, I_{n-1} \right\}.$$

Для $k \in \mathbb{N}$ и $q \in Q^{k, \mathcal{R}}$ через $H_q^{k, \mathcal{R}}$ обозначим множество измеримых функций $\{u\}$ с конечными нормами

$$\|u\|_{k\mathcal{R}, q} = \sum_{\alpha \in k\mathcal{R}} \|D^\alpha u \cdot q^{k - \max_j (\alpha \cdot \mu^j)}\|_{L_2(\mathbb{R}^n)}.$$

Рассмотрим дифференциальную форму:

$$P(x, D) = \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} a_\alpha(x) D^\alpha, \quad (1)$$

где $s \in \mathbb{N}, \nu \in \mathbb{N}^n$, $(\alpha : \nu) = \frac{\alpha_1}{\nu_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{\nu_n}$, $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$, $D_k = i^{-1} \frac{\partial}{\partial x_k}$,

$x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$, $a_\alpha(x) \in C(\mathbb{R}^n)$.

Обозначим

$$P_0(x, D) = \sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} a_\alpha(x) D^\alpha, \quad (2)$$

$$P_0(x, \xi) = \sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} a_\alpha(x) \xi^\alpha. \quad (3)$$

Определение 2. Говорят, что $P(x, D)$ регулярна в \mathbb{R}^n , если существует такая постоянная $\delta > 0$, что имеет место оценка

$$|P_0(x, \xi)| = \left| \sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} a_\alpha(x) \xi^\alpha \right| \geq \delta \sum_{\alpha \in \partial' \mathcal{R}} |\xi^\alpha|, \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \forall x \in \mathbb{R}^n.$$

Теорема 1. Пусть $k \in \mathbb{N}, q \in Q^{k, \mathcal{R}}$, дифференциальная форма $P(x, D)$ регулярна в \mathbb{R}^n , коэффициенты $P(x, D)$ представляются в виде $a_\alpha(x) = a_\alpha^0(x) q(x)^{1-\max(\alpha, \mu^j)}$ и удовлетворяют следующим условиям:

- 1) $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \max_{|x-y| \leq 1} |a_\alpha^0(x) - a_\alpha^0(y)| = 0$,
- 2) $|D^\beta(a_\alpha^0(x))| \leq C_{\alpha, \beta} q(x)^{(\beta; \mu^j)}$, $j = 1, \dots, I_{n-1}$; $\beta \in k\mathcal{R}$, $\alpha \in \mathcal{R}$, $\forall x \in \mathbb{R}^n$.

Пусть

$$\left| \sum_{\alpha \in \mathcal{R}} a_\alpha^0(x) \lambda^{1-\max(\alpha, \mu^j)} \xi^\alpha \right| \geq \delta \left(\sum_{\alpha \in \mathcal{R}} |\xi^\alpha| + \lambda \right), \forall \xi \in \mathbb{R}^n, \forall \lambda \in \mathbb{R}_+, |x| \geq M$$

при некотором достаточно большом $M \in \mathbb{R}_+$.

Тогда оператор $P(x, D): H_q^{(k+1), \mathcal{R}} \rightarrow H_q^{k, \mathcal{R}}$ является нетеровым оператором.

Работа выполнена в рамках тематического финансирования РАУ из средств МОБНРФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tumanyan A.G.* On Noethericity and Index of Differential Operators in Anisotropic Weighted Sobolev Spaces. Proceedings of the Yerevan State University, series Physical and Mathematical sciences, no. 3 (2016), 63–69.
2. *Дарбинян А.А., Туманян А.Г.* Необходимое и достаточное условие нетеровости оператора с постоянными коэффициентами. Вестник РАУ (2014), № 2. СС. 4–14.
3. *Дарбинян А.А., Туманян А.Г.* О необходимых и достаточных условиях для полуэллиптического оператора со специальными коэффициентами // Вестник РАУ (2017), № 2. СС. 5–13.
4. *Darbinyan A.A., Tumanyan A.G.* On a priori estimates and the Fredholm property of differential operators in anisotropic spaces. Journal of Contemporary Mathematical Analysis. vol. 53, no. 2 (2018). PP. 61–70.

5. *Каранетян Г.А., Дарбинян А.А.* Нетеровость полуэллиптического оператора с постоянными коэффициентами в области, Уч. Записи ЕГУ (2008), № 3.
6. *Каранетян Г.А., Дарбинян А.А.* Нетеровость регулярного оператора с постоянными коэффициентами в области // Труды инст. мат. им. Размадзе, Тбилиси, Т. 146 (2008). СС. 57–66.

**ON NOETHERICITY OF REGULAR HYPOELLIPTIC
OPERATOR IN \mathbb{R}^n**

A. Tumanyan

ABSTRACT

We study Noethericity of regular hypoelliptic operators with variable coefficients that have certain rate at infinity. Noethericity is proven for the special class of considered operators in weighted Sobolev spaces in \mathbb{R}^n .

Keywords: Noethericity, regular hypoelliptic operator, multianisotropic space.

ИНФОРМАТИКА

ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛЕТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В.Г. Ваградян¹, Т.Ф. Апозян², К.А. Григорян¹, Э.А. Калентерян¹

¹Российско-Армянский университет

²High Intelligence LLC

*vachagan.vahraadyan@rau.am, tigran.apozyan@gmail.com, dikri97@gmail.com,
elen.kalenteryan@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

Предметом исследования является модель глубокого обучения Single Shot Detector (SSD), ее способность дообучиванию и ее всевозможные слои и техники их использования. Исследована возможность увеличения скорости обучения и тестирования.

Ключевые слова: CNN, SSD, глубокое обучение, БПЛА, птицы.

Введение

Основной задачей, решаемой данной работой является использование современных технологий и методов для обнаружения беспилотных летательных аппаратов и птиц на изображениях и видеороликах.

Актуальность работы в первую очередь обусловлена важностью применения всевозможных методов цифровой обработки данных и глубокого обучения для обнаружения и распознавания летающих объектов, важных с

точки зрения обеспечения безопасности воздушного пространства над (и на подступах) охраняемыми территориями.

Объектом исследования работы являются набор изображений БПЛА и птиц, снятых с разных ракурсов и используемых для обучения выбранной модели.

Предметом исследования является модель глубокого обучения, ее всевозможные слои и техники их использования. Для выполнения работы используется сеть известная как SSD (Single Shot Detector) – одна из самых современных моделей, используемых для обнаружения объектов. Основными преимуществами выбранной модели являются скорость обучения и тестирования, относительная простота реализации и динамическая архитектура.

Значимость работы в первую очередь характеризуется возможностью ее использования непосредственно на практике, а также ее гибкостью по отношению к различным видам объектов, т.е. может быть легко переучена для обнаружения другого рода объектов.

Основные слои архитектуры нейронной сети

Операция свертки

Сети свертки, представляют собой сети с линейными операторами, а именно локализованные операторы свертки с использованием некоторой базовой геометрии сетки.

Функция $h_{i,j}^{(k+1)}$ в слое $k + 1$ определяется применением операции свертки на квадрат 2×2 в нижележащем слое, а затем применением нелинейной функции g :

$$h_{i,j}^{(k+1)} = g \left(a^{(k)} h_{i,j}^{(k)} + b^{(k)} h_{i+1,j}^{(k)} + c^{(k)} h_{i,j+1}^{(k)} + d^{(k)} h_{i+1,j+1}^{(k)} \right)$$

Параметры $a^{(k)}$, $b^{(k)}$, $c^{(k)}$ и $d^{(k)}$ зависят только от слоя, а не от конкретного квадрата i, j . Помимо преимущества совместного использования параметров этот тип сети имеет полезную особенность разреженности, возникающую из-за локального характера определения функций h .

Общим дополнительным ингредиентом в сверточных сетях является объединение, в котором после свертывания и применения g для получения функций с индексом сетки мы заменяем эту функцию средним или максимумом функций в окрестности

$$h_{ij}^{-(k+1)} = \frac{1}{4} (h_{ij}^{(k+1)} + h_{i+1j}^{(k+1)} + h_{ij+1}^{(k+1)} + h_{i+1j+1}^{(k+1)})$$

Эта техника также может быть использована для уменьшения пространственной размерности.

Важно отметить, что операция свертки фиксирует локальные зависимости в исходном изображении. Два разных фильтра генерируют разные карты функций из одного и того же исходного изображения.

Чем больше фильтров используется, тем больше функций изображения извлекается и тем лучше сеть распознает шаблоны в невидимых изображениях.

Размер действия свертки управляется тремя параметрами, которые нам нужно выбрать до того, как будет выполнен шаг свертки:

- глубина: соответствует количеству фильтров, которые мы используем для операции свертки.
- шаг: количество пикселей, по которым мы сдвигаем нашу матрицу фильтра по входной матрице.
- заполнение нулями. Иногда удобно вставлять матрицу ввода с нулями вокруг границы, чтобы мы могли применить фильтр к граничным элементам матрицы входного изображения.

Введение нелинейности (ReLU)

Дополнительная операция под названием ReLU (Rectified Linear Unit) использовалась после каждой операции свертки и является нелинейной операцией. ReLU – это поэлементная операция и заменяет все отрицательные значения пикселей в карте объектов на нуль. В современной литературе обычно используются три функции активации CNN: сигмоидальная функция, выпрямленный линейный элемент (ReLU) и параметризованный

ReLU (PReLU). PReLU также известен как неплотный ReLU. Все они выполняют операцию отсечения.

Каждый сверточный слой определяется своими весами фильтра, которые определяются на этапе обучения итеративным процессом обновления. То есть, они сначала инициализируются, а затем корректируются путем обратного распространения, чтобы минимизировать функцию. Затем все веса фиксируются на стадии тестирования. Эти веса играют роль «системной памяти». Они служат опорными сигналами (или визуальными шаблонами) для каждого входного участка тестовых изображений. Для участка входного изображения, мы вычисляем его корреляцию с каждым вектором привязки для измерения их соответствия. Ясно, что проекция на набор опорных векторов обеспечивает спектральное разложение входа. Опорные векторы обычно являются не ортогональными или не полными.

Слой объединения

Слой понижающей дискретизации отвечает за уменьшение пространственного размера карт активации. В общем, он используется после нескольких стадий других слоев (т. е. слоев свертки и нелинейности), чтобы постепенно увеличивать вычислительные требования по сети, а также минимизировать вероятность переобучения.

Ключевой концепцией слоя объединения является обеспечение трансляционной инвариантности, поскольку, в частности, в задачах распознавания изображений, обнаружение функции более важно по сравнению с точным местоположением функции. Поэтому операция объединения направлена на сохранение обнаруженных признаков в меньшем представлении и делает это, отбрасывая менее значимые данные за счет пространственного разрешения.

Слой соединения

Если имеются разные входы, которые проходят различные преобразования, а затем используются вместе для создания одного вывода, то нужен слой слияния. Чтобы объединить эти слои в одно предсказание и собрать их вместе, можно объединить эти плотные слои для окончательной классификации.

Нормализация

Используется метод нормализации L2, чтобы масштабировать функциональную норму в каждом месте на карте функций до 20 и изучить масштаб при обратном распространении.

L2-норма также известна как метод наименьших квадратов. Этот метод в основном сводит к минимуму сумму квадрата разностей (S) между целевым значением (Y_i) и оценочными значениями ($f(x_i)$):

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

Переносное обучение

Одно из самых распространенных заблуждений о глубоком обучении заключается в том, что без большого объема данных вы не можете надеяться создать эффективные модели глубокого обучения. Хотя данные являются важной частью создания сети, идея переноса обучения помогла уменьшить требования к данным. Передача обучения – это процесс взятия предварительно обученной модели (весов и параметров сети, которая была обучена другому крупному набору данных кем-то другим) и «тонкой настройки» модели с вашим собственным набором данных.

Идея состоит в том, что эта предварительно подготовленная модель будет выступать в качестве экстрактора признаков. Удаляется лишь последний слой сети и заменяется на некоторый классификатор (в зависимости от проблемного пространства). Затем замораживаются веса всех остальных слоев и тренируется сеть в обычном режиме (замораживание слоев означает не изменение веса при градиентном спуске / оптимизации).

Как это работает

Если предварительно подготовленная модель была обучена набору данных ImageNet (ImageNet – это набор данных, содержащий 14 миллионов изображений с более чем 1000 классами). Мы знаем, что нижние слои сети обнаруживают такие функции, как ребра и кривые. Так как у нас нет особо своеобразного пространства проблем и набора данных, сеть также должна будет обнаруживать кривые и края. Вместо того, чтобы тренировать всю

сеть с помощью случайной инициализации весов, мы можем использовать веса заранее подготовленной модели (и замораживать их) и сосредоточиться на более важных слоях для обучения. Если набор данных сильно отличался бы от ImageNet, тогда нужно было бы обучить больше своих слоев и заморозить только пару нижних слоев.

Наши улучшения включают в себя использование небольшого сверточного фильтра для прогнозирования класса объекта и смещений в ограничивающих прямоугольниках с использованием отдельных предикторов (фильтров). Это делается для обнаружения различных соотношений сторон и применения этих фильтров к нескольким картам функций на более поздних этапах сети, чтобы выполнять обнаружение в нескольких масштабах. С этими изменениями, особенно с использованием нескольких слоев для прогнозирования в разных масштабах, мы можем достичь высокой точности с использованием входа с относительно низким разрешением, что еще больше увеличивает скорость обнаружения.

Используемое программное обеспечение

Python предоставляет конструкции, которые обеспечивают четкое программирование, как в малых, так и в больших масштабах.

Для написания данной программы и кодирования выбранной архитектуры была выбрана библиотека языка Python Keras.

Keras имеет готовые реализации общих сетевых структур. Например, возможно быстро и легко получить сверточную нейронную сеть.

Для осуществления данной задачи целесообразней было использование бекенда TensorFlow.

Подготовка тренировочной и тестовой выборок

Для выполнения данной работы необходимо было собрать максимально большую выборку изображений беспилотных летательных аппаратов. Изображения были скачаны из открытого доступа и, в конечном итоге, набралось около 200 изображений объектов с различных ракурсов. Далее в начале обработки данных выполняется разделение данного множества

изображений на тренировочную и тестовую выборки с пропорцией соответственно 8:2.

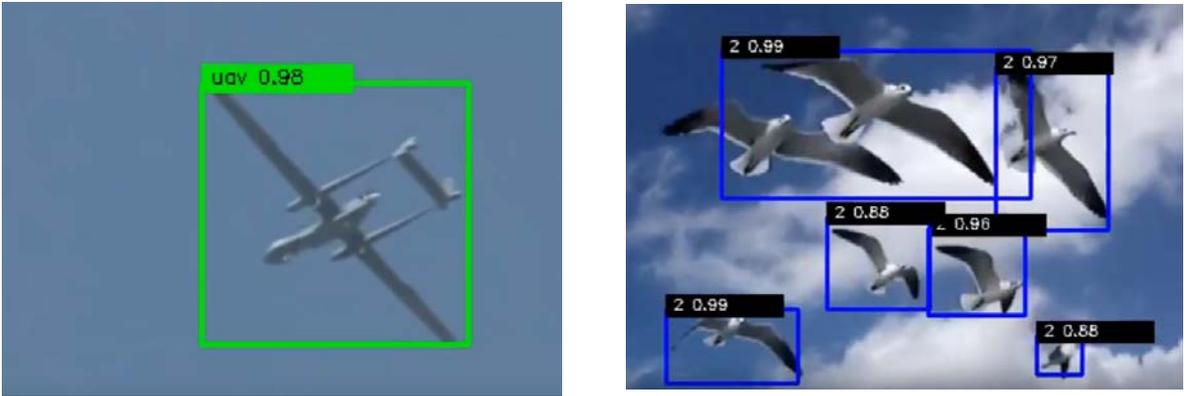


Рис.1.

Примеры результатов работы сети приведены на рис.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg.*: SSD: Single Shot MultiBox Detector.
2. *Uijlings, J.R., van de Sande, K.E., Gevers, T., Smeulders, A.W.*: Selective search for object recognition (2013).
3. *Chen L.C., Papandreou, G., Kokkinos, I., Murphy, K., Yuille, A.L.*: Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs. (2015)
4. *Li Deng and Dong Yu.* Deep Learning: Methods and Applications (2014).
5. CS231n: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition
6. <https://medium.com/@ManishChablani/ssd-single-shot-multibox-detector-explained-38533c27f75f>
7. <https://www.wikipedia.org/>

DETECTION AND RECOGNITION OF ARTIFICIAL AND NATURAL FLYING OBJECTS

V. Vahradyan¹, T. Apozyan², C. Grigoryan¹, E. Kalenteryan¹

¹Russian-Armenian University

²HighIntelligenceLLC

ABSTRACT

The subject of study is a Single-Shot Detector (SSD) model of deep learning, its ability to additional learning and its various layers and the technology of using them. We investigated the possibility of increasing the speed of training and testing.

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПЭГ (ПЕРСОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГИДА)

А.А. Мелконян

Российско-Армянский университет

anahit.melkonyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются некоторые алгоритмы компьютерного зрения и, после проведения сравнительного анализа, оценивается эффективность их применения при разработке мобильного приложения ПЭГ. Исходя из специфики ПЭГ (распознавания подлежат объекты совершенно разной природы) возникает необходимость использования различных алгоритмов применительно к различным базам объектов.

Ключевые слова: анализ изображение, компьютерное зрение.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили различные автоматизированные системы, реализующие принципы искусственного интеллекта. Они применяются для решения широчайшего спектра задач: от научных и военных до образовательных.

В данной статье рассматриваются проблемы применения компьютерного зрения для разработки мобильного приложения, которое может быть внедрено в таких сферах как туризм, образование и искусство.

Речь идет о разработке мобильного приложения «Персональный электронный гид (ПЭГ)». Данная система многомодульная, включает в себя множество задач, связанных с использованием алгоритмов обработки естественных языков, компьютерного зрения нейронных сетей и так далее.

В данной статье рассматриваются некоторые алгоритмы компьютерного зрения и производится их сравнительный анализ для определения наиболее эффективного метода решения задач, поставленных в реализации ПЭГ.

Методы

Прежде чем перейти к описанию методов, следует определить специфику задач, для решения которых и предстоит отобрать тот или иной алгоритм. Речь идет о распознавании объектов – как графических (фотографии, картины, надписи), так и об иных, например, памятники, те или иные строения, фрагменты ландшафта и так далее.

Если попытаться условно разделить эти объекты на два класса, то в первый попадут, например, музейные картины, таблички к ним и фотографии. Во второй класс попадут объекты, расположенные, как говорится, под «открытым небом», т.е. для их распознавания потребуется более объемная база, с учетом, например, того, что образ, подлежащий распознаванию, может быть получен при определенных погодных условиях (туман, дождь, снег), что может в определенной степени (иногда достаточно существенной) исказить начальный объект. Поэтому для решения задачи из любого указанного нами класса, необходимо, прежде всего, создать специфическую базу, с учетом максимального количества возможных искажений, которым может быть подвергнут распознаваемый объект.

Рассмотрим три наиболее популярных подхода к решению вышеуказанной задачи:

1. контурный анализ;
2. поиск шаблона (template matching);
3. сопоставление по ключевым точкам (feature detection, description & matching).

Отметим, что в данной статье не затрагиваются иные методы компьютерного зрения (генетические алгоритмы или поиск объекта по цвету).

Контурный анализ. Данный метод основан на анализе контуров исследуемых объектов. Под контурным анализом будем понимать метод описания графического объекта, его поиск и распознавание. Под контуром бу-

дем понимать некую кривую, определяющую границу объекта на изображении. Иными словами, предполагается, что специфика объекта такова, что контур дает исчерпывающую информацию об объекте, причем «внутренние» точки объекта определяющей информации не несут. В данном случае (при переходе от множества изображений к множеству контуров) удастся достичь определенного снижения сложности алгоритма и вычислений. Более того, данный метод инвариантен относительно вращения, масштаба и смещения контура исследуемого объекта [1].

Заметим, что данный метод плохо (или абсолютно) не применим к тем изображениям, где выделить контур проблематично, например, объект имеет одинаковую яркость с фоном или быть перекрыт иными объектами.

Существует ряд подходов для выделения и анализа контура – метод активных контуров, метод активных контуров без выделения границ, детектор границ Кэнни и так далее.



Рисунок 1

В контурном анализе контур кодируется последовательностью, состоящей из комплексных чисел.

На контуре фиксируется точка, которая называется начальной. Затем контур обходится (например, по направлению движения часовой стрелки), и каждый вектор смещения записывается комплексным числом $a+ib$, где a – смещение точки по оси x ; b – то же по оси y .

Смещение берется относительно предыдущей точки (рис. 1) [2].

Активные контуры широко применяются в задачах выделения контуров, границ и сегментации изображений. Для обнаружения контуров на изображении здесь используются кривые минимальной энергии, или змейки. Алгоритм следующий: сначала контур инициализируется как простая линия, а затем он деформируется для создания области объекта. Точки в контуре стремятся к границе объекта при минимизации энергии контура. Для каждой точки v_i энергия

$$E_i = \alpha E_{int}(v_i) + \beta E_{ext}(v_i),$$

где α, β – константы, обеспечивающие относительную коррекцию энергии; $E_{int}(v_i)$ – функция энергии, зависящая от формы контура; $E_{ext}(v_i)$, – функция энергии, зависящая от свойств изображения и типа градиента в окрестности точки v_i .

Величины $E_i, E_{ext}(v_i), E_{ext}(v_i)$, являются квадратными матрицами. Значение в центре каждой матрицы соответствует энергии контура в отметке v_i . Каждая вершина v_i потенциально может перейти в любую точку v'_i , соответствующую минимальной энергии E_i .

Недостатки метода:

если объект не имеет четких границ или площадь неоднородна и содержит плавные градиенты, то алгоритм не решит задачу сегментации корректно.

Нормаль вектора касательной у точки может сильно изменяться в направлении, что может повлечь слияние точек. От этого контур может получиться грубым и сильно отличаться от границ выделяемого объекта.

Контурный анализ имеет довольно слабую устойчивость к помехам, и любое нарушение целостности контура или плохая видимость объекта приводят либо к невозможности детектирования, либо к ложным срабатываниям.

Методы обнаружения границ выделяют в изображении только пиксели, лежащие на контуре. На практике это множество пикселей редко отображает контур достаточно точно по причине шумов, разрывов контуров из-за неоднородности освещения и т. п. Поэтому алгоритмы обнаружения контуров обычно дополняются процедурами связывания, чтобы сформировать множества контурных точек.

Один из способов связывания точек контура состоит в анализе характеристик пикселей в небольшой окрестности каждой точки изображения, которая была отмечена как контурная. Все точки, являющиеся сходными в соответствии с некоторыми критериями, связываются и образуют контур, состоящий из отвечающих этим критериям пикселей. При этом исполь-

зуются два основных параметра для установления сходства пикселей контура: отклик оператора градиента, определяющий значение пикселя контура, и направление вектора градиента.

Пиксел контура (x_0, y_0) , расположенный внутри заданной окрестности точки (x, y) , считается сходным с пикселем (x, y) , по модулю градиента, если

$$\nabla f(x, y) - \nabla f(x_0, y_0) \leq E,$$

где E – заданный неотрицательный порог, и по направлению градиента, если $\alpha(x, y) - \alpha(x_0, y_0) \leq A$, где $\alpha(x, y) = \arctg \frac{\Delta x}{\Delta y}$; A – заданный неотрицательный угловой порог.

Пиксел в заданной окрестности объединяется с центральным пикселем (x, y) , если выполнены критерии сходства и по значению, и по направлению. Этот процесс повторяется в каждой точке изображения.

Каждому множеству связываемых пикселей контура присваивается свое значение яркости [3].

Наиболее эффективным применением данного алгоритма можно считать распознавание печатного текста.

Поиск шаблона (Template matching).

Если возникает необходимость найти изображение или его фрагмент, соответствующий определенному заданному шаблону, удобно пользоваться методом поиска шаблона.

На вход подаются два изображения: Таким образом, входными параметрами метода являются:

- изображение, на котором осуществляется поиск шаблона;
- сам шаблон.

Цель алгоритма — найти на тестируемой картинке область, которая лучше всего совпадает с шаблоном.

Поиск шаблона осуществляется последовательным перемещением его на один пиксель по тестируемому изображению, и оценкой схожести каждой новой области с шаблоном. В результате выбирается та область, которая имеет наивысший коэффициент совпадения.

Недостатки: Так как в результате получается вероятностная характеристика, зависящая от ряда параметров (освещение, угол обзора и так далее) невозможно с уверенностью сказать был ли найден требуемый объект. Также возможны ложные срабатывания алгоритма, когда искомого объекта на самом деле нет, но имеются какие-то общие детали у шаблона и области на тестируемом изображении.

Сопоставление по ключевым точкам (Feature Detection)

Основная идея метода feature detection заключается в определении абстракций изображения и выделения на них ключевых особенностей. Именно эти особенности и являются индикаторами «одинаковости» или «схожести» сравниваемых изображений. В качестве особенностей могут использоваться различные объекты – изолированные точки, кривые или определенные области. Примерами таких особенностей могут служить грани объектов и углы. Преимуществом подобного подхода, например, является то, что для хранения объекта-шаблона требуется неизмеримо меньше места.

Результаты

В контексте системы ПЭГ метод активных контуров может быть применен к распознаванию табличек экспонатов.

В контексте системы ПЭГ алгоритм, основанный на поиске шаблона наиболее удобно применять, например, для осуществления графического поиска. (Например, если пользователь хочет найти объекты, похожие на афинский акрополь).

Применительно к ПЭГ, данный метод может использоваться при определении того или иного объекта, например, музейной картины. В данном случае (если удастся характерные точки картины представить в виде изолированных точек) можно достичь еще одного преимущества – для хранения объекта потребуется достаточно мало места и хранить базу данных о картинах можно будет на телефоне и использовать приложение в режиме offline.

Обсуждение результатов

Системы компьютерного зрения существенно опираются на специфику обрабатываемой информации, в связи с чем данная область имеет собственный предмет и методы исследования, то есть является отдельным направлением науки. При этом она также пересекается с такими областями, как компьютерная графика, обработка изображений, психология восприятия и т.д.

Методов применяемых при моделировании задач, связанных с компьютерным зрением достаточно много – от обработки и анализа изображений до когнитивной графики.

В настоящей статье были представлены наиболее известные и используемые методы компьютерного зрения, которые применимы для решения задач, поставленных в рамках разработки системы ПЭГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вершинина В.В., Паламарь И.Н.* Организация базы знаний семантической сети на основе XML-формата // Тез. докл. IV ВНТК «Информационные технологии в науке, проектировании и производстве». Нижний Новгород, МВВО АТН РФ, 2002. С. 23.
2. *Чудовская А.К.* Возможности распараллеливания алгоритмов выделения контура по технологии CUDA // Сб. докл. IV Межд. науч.-практич. конф. «Современная информационная Украина: информатика, экономика, философия». Донецк, 2010. СС. 67–70.
3. *Canny J.F.* Finding edges and lines in images // Master's thesis. MIT, Cambridge, USA, 1983. PP. 50–67.
4. *Потанов А.С.* Системы компьютерного зрения (учебное пособие). // Университет ИТМО, С-Пб, 2016.

**COMPUTER VISION ALGORITHMS' COMPARISON
FOR DEVELOPMENT OF PEG SYSTEM
(PERSONAL ELECTRONIC GUIDE)**

A. Melkonyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

Some algorithms of computer vision are considered, their efficiency for the development of mobile application – PEG system is analysed. Because of PEG features (we have detect completely different objects in different conditions), it is reasonable to apply different algorithms for different objects bases.

Key words: image analysis, computer vision.

ЗАДАЧИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АСУ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВВЕДЕНИЕМ СЕРВЕРА «ГОРЯЧЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ»

С.Х. Нахатакян¹, Л.Г. Мелкумян², М.А. Саргсян¹

¹Российско-Армянский (Славянский) университет

*²Ереванский научно-исследовательский институт
математических машин (ЕрНИИММ)*

satenik.nahatakyan@rau.am, leomel1952@mail.ru

marina.sarkisyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена задачам поддержки жизненного цикла программного обеспечения (ПО) АСУ. Поскольку стоимость разработок и тем более внедрения больших и сложных систем достаточно высока, то встают задачи оптимальной модернизации уже внедренных АСУ. Целью статьи является представление методов и средств оптимальной модернизации территориально распределенной АСУ реального времени с введением сервера «горячего резервирования» для обеспечения отказоустойчивости, информационной сохранности и доступности данных. В большинстве разработанных в прошлом и сохранившихся по сей день АСУ активно используются файловые серверы, служащие хранилищами важной корпоративной информации. Обеспечение надежности и необходимого эффективного управления файловыми серверами и их ресурсами зависит от реализации средств, позволяющих решать эти задачи.

Ключевые слова: модернизация АСУ, файловый сервер, серверы «горячего резервирования».

Главная особенность индустрии информационных систем состоит в поддержке их жизненного цикла. Жизненный цикл (ЖЦ) программного

обеспечения (ПО) определяется как период времени, который начинается с момента принятия решения о необходимости создания ПО и заканчивается в момент его полного изъятия из эксплуатации. Средства ПО обычно являются компонентами жизненного цикла технических систем, но по своей природе значительно отличаются от технических изделий. Поэтому их жизненный цикл имеет характерные особенности, по сравнению с другими техническими объектами. Используя достижения информатики, программная инженерия занимается решением задач удешевления программных продуктов за счет разработки методов массового производства высококачественного программного обеспечения. С возникновением задач по созданию сложных программных комплексов, таких как: автоматизированные системы управления (АСУ) производствами, систем управления сложными техническими объектами (например, авиацией) и т.д. резко выросла сложность программного обеспечения. В результате объемы программного кода, коллективы разработчиков и количество модулей стали стремительно увеличиваться, что стало приводить к крупным провалам и общему снижению эффективности разработки таких систем. Оказалось, что львиная доля стоимости больших систем приходится не на их создание, а на их внедрение и эксплуатацию. Вследствие чего появилась идея управления жизненным циклом программного продукта, как последовательностью конкретных стадий: проектирования, разработки, тестирования, внедрения, сопровождения и самого основного – разработки методов и средств оптимальной модернизации, разработанных в прошлом и находящихся в эксплуатации в настоящем сложных АСУ. В связи с этим авторами представляется статья по модернизации и разработке отказоустойчивого корпоративного файл-сервера на базе DFS.

Целью статьи является представлением методов и средств оптимальной модернизации территориально распределенной АСУ с введением сервера «горячего резервирования» для обеспечения отказоустойчивости, информационной сохранности и доступности данных.

В большинстве разработанных в прошлом и сохранившихся по сей день АСУ до сих пор активно используются файловые серверы, служащие хранилищами важной информации. Обеспечение надежности и необходимого эффективного управления файловыми серверами и их ресурсами (с

сохранением безопасности и доступности к информационной системе АСУ) зависит от реализации средств, позволяющих решать эти задачи. Для выполнения обозначенных целей необходимо решение, которое позволит:

- ограничить трафик по каналам соединений, т.е. сбалансировать нагрузки на серверы,
- обеспечить безопасность файлов во время отключений или сбоев сервера.

Существуют множества направлений модернизации АСУ для достижения реальных результатов, поставленной задачи. Если выбирать путь модернизации АСУ с наименьшими изменениями в ПО то целесообразно использовать технологию репликации, которые, например, успешно решены Microsoft [1,2]. Репликация по существу представляет собой гарантированное копирование информации изодной базы в несколько других. Репликации используются для разделения нагрузки между серверами в сети, для перемещения поднаборов данных на вспомогательные серверы, для синхронизации данных на нескольких серверах и многих других целей. В том или ином виде репликации поддерживаются всеми современными серверными СУБД [3]. Для использования репликации необходимы:

- наличие серверов резервного копирования;
- использование распределенной файловой системы в ОС Microsoft® таких как Windows Server 2008 DFSR (Distributed File System Replication). Windows Server 2008 R2, поддерживает до 256 ядер логических процессоров для одного экземпляра операционной системы, а гипервизор Hyper-V, позволяет использовать до 64 логических ядер для виртуализации. Это не только позволяет более эффективно использовать оборудование сервера, но и повышает надежность работы, уменьшая число блокировок и повышая уровень параллелизма. Здесь следует отметить также преимущества совместного использования Windows Server 2008 R2 с Windows 7. Windows Server 2008 R2 поддерживает ряд функций, рассчитанных на работу с клиентскими компьютерами под управлением Windows 7. Это упрощение удаленного подключения к системным компьютерам благодаря применению прямого доступа, безопасное удаленное подключение к общедоступным и частным компьютерам благодаря применению удаленного рабочего

пространства, виртуализации представлений и шлюза служб удаленных рабочих мест и повышение производительности филиалов благодаря применению кэша филиалов BranchCache. Следует отметить, что по настоящее время для модернизации специализированного комплекса АСУ (под Windows XP в прошлом и Windows 7 в настоящем) с наименьшими изменениями в ПО Windows Server 2008 R2 является лучшим.

Windows Server 2008 R2 позволяет решить проблемы резервирования и доступности к серверным ресурсам для пользователей, предоставляя для этого две технологии:

- пространство имен DFS;
- репликацию DFSR.

Которые, при совместном использовании обеспечивают упрощенный, отказоустойчивый доступ к файлам, распределение нагрузки, а также репликации. При использовании DFSR можно планировать несколько серверов баз данных с необходимостью синхронизации данных (например, когда у предприятия существует несколько филиалов). Репликация DFSR является новым механизмом, который, поддерживает планирование репликации и полосы пропускания. В отличие от предыдущих версий обновленная репликация DFSR использует новый протокол сжатия, так называемый, удаленный с разностным сжатием (RDC), которое используется для эффективного обновления файлов при ограниченной пропускной способности сети [4]. RDC выполняет вставки, удаления и повторное расположение данных в файлах, выполняемых с помощью DFSR для репликации **только изменений** при обновлении файлов. Иногда, функции RDC называются кросс-файлами RDC, они обеспечивают уменьшение полосы пропускания, требуемой для репликации новых файлов. Пространство имен DFS, ранее известное, как распределенная файловая система, позволяет администраторам группировать общие папки, расположенные на разных серверах и представлять их пользователям в виде виртуального дерева папок, известных как пространство имен Пространство имен (Name space) предоставляет множество преимуществ, включая повышение доступности данных, распределение нагрузки и упрощение миграции данных [5].

Хотя пространство имен DFS и репликации DFS две отдельные технологии, при совместном (DFSR)использовании они обеспечивают решения для ряда ключевых сценариев в средних и крупных организациях. На Рис. 1. представлена схема работы DFSR. Здесь пользователь пытается получить доступ к папке в пространстве имен (1), выделенная папка (на Рис. 1.) размещена, как общая папка на двух серверах, в Нью-Йорке и в Лондоне, чтобы предоставить пользователям в тех участкахбыстрый и надежный доступ к файлам. Клиентский компьютер подключается к серверу пространства имен. Сервер пространства имен посылает клиентскому компьютеру направление, которое содержит список серверов, на которых размещены общие папки (такназываемые целевые папки), связанные данной папкой. Клиентский компьютер кэширует направления, а затем подключает первый сервер, направление (2), как правило – это собственный сервер клиента, если подключение не удастся он подключается к другим серверам, которые были настроены администратором по технологии целевого приоритета [6].

Процесс настройки репликации папки упрощается в Windows Server 2008 R2 путем введения *групп репликации* и *реплицируемых папок*, которые показаны на рисунках 1 и 2.

Группа репликации (см. Рис. 2.) представляет собой набор серверов, которые являются компонентами этой группы, участвующими в репликации одной или нескольких реплицируемых папок. Реплицированная папка – это синхронизируемая папка, которая хранится на каждом компонент-сервере. На Рис. 1 есть две реплицируемые папки, проекты и предложения. Данные изменяются в каждой реплицируемой папке. Эти изменения реплицируются на *связях* между сервер-компонентами. Связи между всеми членами группы серверов представляются в форме *топологии* репликации. Объединение нескольких реплицируемых папок в одну группу репликации упрощает процесс развертывания реплицируемых папок, Каждая реплицируемая папка или файл также имеет свои собственные настройки и фильтры подпапок, так что администраторы могут отфильтровывать различные файлы и подпапки для каждой реплицируемой информации. С целью развертывания дополнительных реплицируемых папок администраторы используют краткие мастера (Wizard) для определения локального пути доступа к каждой новой реплицируемой папке. DFS позволяет легко обмениваться

54

реплицированными папками и при необходимости выставлять их в существующее пространство имен.

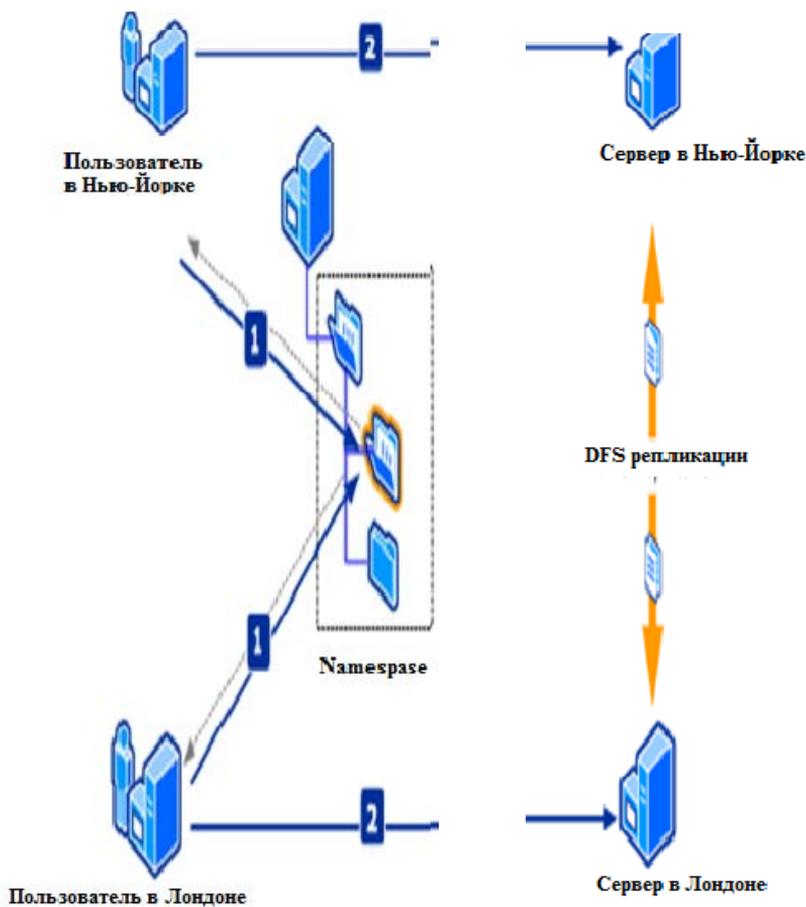


Рис. 1. Обобщенная схема репликации файлов.

Благодаря RDC, DFS реплицирует только различия (или изменения) между двумя серверами, в результате, размер пересылаемых данных во время репликации, сведен к минимуму. Использование технологии DFS позволяет администраторам настроить пространство имен таким образом, чтобы папка в пространстве имен размещалась для нескольких серверов, что повысит доступность данных и распределит клиентские нагрузки между серверами. При просмотре имен, пользователи видят одну папку и не знают о

папке размещенной на нескольких серверах. Когда пользователь открывает папку, клиентский компьютер автоматически подключается на собственный сервер, а в случае сбоя, автоматическое подключение выполняется к другим доступным серверам.

Администраторы могут настроить пространство имен для обращения клиента к серверу, который имеет самый низкий приоритет подключения, как это определено в Active Directory®, службы каталогов и использовать в пространстве имен DFS целевой приоритет. Администратор может указать приоритет серверов таким образом, чтобы определенный сервер всегда ставился первым или последним в списке серверов (определенных в маршруте), к которому клиент получает доступ при обращении к папке в пространстве имен DFS. Для тонкой настройки, когда конкретные цели упорядочены, администраторы могут указать, является ли сервер первым или последним при маршрутизации. Назначение целевого приоритета полезно во многих ситуациях, например, «горячего резерва» в случаях, в которых один резервный сервер считается сервером в последней инстанции. В этом случае, администратор может указать, что резервный сервер всегда появляется последним, и клиенты будут переключаться на этот сервер только, если все другие серверы становятся недоступными из-за перебоев в сети.

Настройка общих разрешений доступа к папке может способствовать тому, что конфликтующих изменений не будет происходить вообще. Но для одновременной работы нескольких сценариев, которые требуют блокировки файлов на долгое время, рекомендуется использовать Microsoft® Windows® SharePoint® Services.

Отметим, что DFS с точки зрения клиентской ОС – не более чем обычная общая папка, то есть доступна по UNC и может быть подмонтирована, как сетевой диск. В качестве тестера может выступить любой доменный клиент.

Таким образом, можно сделать вывод, что *Распределенная файловая система* (Distributed File System – DFS) предоставляет возможность просто и прозрачно управлять сетевыми дисками. Вместо использования физического расположения сетевого ресурса(по имени сервера), пользователи могут просто подключаться к корню «Распределенной файловой системы». *Корень* «Распределенной файловой системы» выступает в роли логической

точки распределения сетевых дисков. Это значит, что пользователи могут просто перейти к корню распределенной файловой системы и просматривать список папокподключенных к этому корню. Часто при ссылке на эту концепцию, рассматривают ее, как виртуализацию хранения (storage virtualization) [5,7].

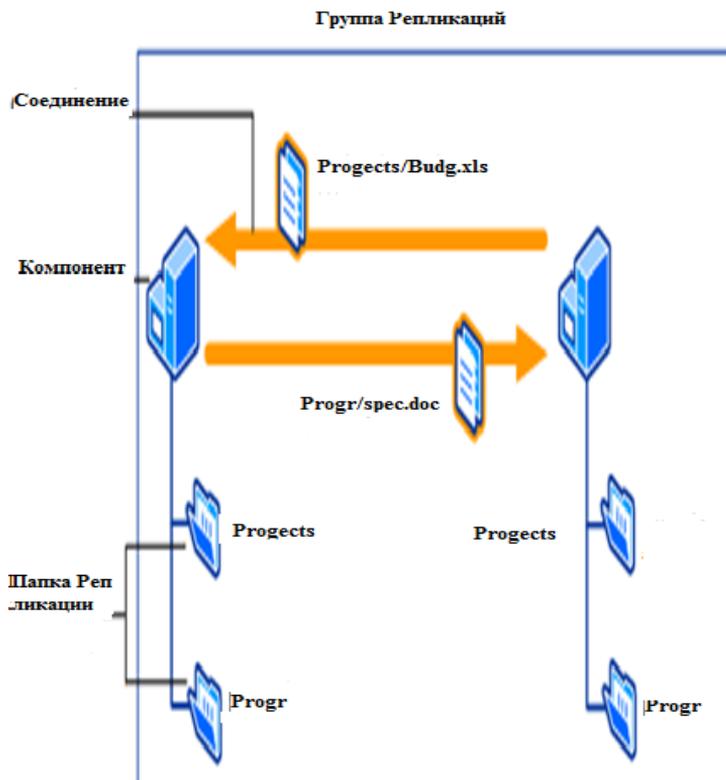


Рис. 2. Упрощенная схема репликации файлов.

При использовании распределенной файловой системы пользователю не обязательно знать, где физически находятся данные. Вместо этого достаточно помнить расположение корня файловой системы. Логически управляя расположением сетевых дисков можно перемещать данные между

серверами в сети прозрачно для пользователей. С точки зрения пользователей, данные будут продолжать находиться в корне распределенной файловой системы. Все, что для этого необходимо, это скопировать данные в другое место и обновить ссылку распределенной файловой системы на совместно используемый объект, чтобы она отражала новое расположение. Кроме предоставления прозрачного доступа к хранилищам данных, общие папки, управляемые распределенной файловой системой, можно настроить в качестве партнеров по репликации. Это позволяет предоставить уровень устойчивости к ошибкам и балансировку нагрузки, которая, автоматически выполняется средствами распределенной файловой системы)[8].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чекмарев А.Н.* Восстановление системы. Процедуры резервного копирования и восстановления, С-Пб, 2000.
2. *Чекмарев А.Н., Вишнякова Д.Б.* Microsoft Windows 2000: Server и Professional. Русские версии. С-Пб, 2000.
3. Весселиус Джаап Резервирование с помощью Windows Server Backup Microsoft Exchange Server 2010, Tech Net Magazine, 30.04.2013
4. *Аланати, Сэм Р.* OracleDatabase 11g: руководство администратора баз данных, М.: «Вильямс», 2009.
5. Microsoft. Виртуализация и управление серверной инфраструктурой. М.: Русская редакция, С-Пб, 2009.
6. *Смирнов С.Н.* Работаем с IBM DB2: Учебное пособие М.: Гелиос, 2001. С-Пб, 2000.
7. Программное обеспечение IBM [Эл. ресурс], <http://www.ibm.com>
8. *Громов В.С., Тимофеев В.Н.* Системы противоаварийной защиты в АСУТП. Мир компьютерной автоматизации, № 3, 2003.

**TASKS OF MODERNIZATION OF A TERRITORIALLY DISTRIBUTED ACS
OF REAL TIME BY INTRODUCTION OF THE SERVER
"HOT RESERVATION"**

S. Nahatakyan¹, L. Melkumyan², M. Sargsyan¹

¹Russian-Armenian University

²Yerevan Research Institute of Mathematical Machines

ABSTRACT

Since the cost of development and, moreover, the introduction of large and complex systems is quite high, there are challenges for the optimal modernization of automated control systems already implemented and data availability. Most of the automated control systems developed in the past and still preserved to this day make extensive use of file servers that serve as repositories of important corporate information. Ensuring the reliability and the necessary effective management of file servers and their resources depends on the implementation of the means to solve these problems.

Keywords: modernization of automated management systems (AMS), file server, server of "hot reservation".

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ КАФЕДРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А.С. Овакимян¹, И.В. Ахумян¹, К.В. Отарян²

¹Российско-Армянский университет

²Иджеванский филиал ЕГУ

*anna.hovakimyan@rau.am, irina.hakhumyan@rau.am,
otaryan64@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается задача распределения учебной нагрузки кафедры, которое должно соответствовать определенным стандартам и ограничениям. В качестве основного критерия выступает уровень компетентности преподавателя в дисциплине, для оценки которого учитываются как поддающиеся количественному измерению факторы (например, коэффициенты, учитывающие общий педагогический стаж и стаж преподавания данной дисциплины), так и качественные показатели (например, ученую степень и ученое звание преподавателя, желание преподавателя вести данную дисциплину и т.п.). Также учитываются другие количественные показатели, варьируя значения которых можно получить различные варианты распределения учебной нагрузки. Для выбора оптимального решения предлагается использовать методы теории нечетких множеств и нечеткой логики.

Задача моделируется и решается с использованием программных модулей Solver среды MSExcel и Fuzzy Logic среды MatLab.

Ключевые слова: распределение учебной нагрузки, компетенция преподавателя, виды учебных работ, лингвистические переменные, нечеткие множества, логический вывод.

Введение

Актуальность данного исследования определена необходимостью поиска решения проблем повышения качества организации образовательной деятельности вуза. Одним из показателей качества функционирования

любого образовательного учреждения является оптимизация распределения учебной нагрузки кафедр между профессорско-преподавательским составом. Учебная нагрузка кафедры должна распределяться с учетом стандартов и ограничений, предусмотренных федеральными законами в сфере высшего образования [1]. Для оптимального распределения часов кафедры необходимо иметь возможность моделировать различные варианты, изменяя исходные данные с учетом пересмотра учебных планов факультетов и текучести кадров. Варьируя распределением планируемых часов нагрузки кафедры между ее профессорско-преподавательским составом по семестрам, необходимо таким образом спланировать учебный процесс, чтобы наибольшее количество часов по приоритетным типам работ назначалось наиболее компетентным преподавателям с учетом равномерности их загрузки по семестрам.

Эта задача является довольно трудоемкой, особенно в случае большого состава кафедры, в связи с чем задача автоматизации ее решения является актуальной и востребованной [2]. Но и в этом случае не исключается роль лица, принимающего решение (ЛПР), в качестве которого выступает заведующий кафедрой или его заместитель. Он может «вмешиваться» в процесс решения задачи на разных его этапах.

Исследование задачи оптимального распределения нагрузки показывает, что ее решение сводится к решению задачи о распределении конечного числа ресурсов с соблюдением ряда ограничений [3].

Предлагалось много способов решения данной задачи, основанных на разных математических моделях, но эффективность ее решения остается спорной [4–6]. Среди применяемых методов можно выделить подход, рассматривающий в качестве основного фактора квалификацию преподавателя и его компетентность в дисциплине [4]. Этот фактор играет существенную роль для обеспечения качества образования.

В данной статье рассматривается задача автоматизации процесса распределения учебной нагрузки кафедры между преподавателями. В качестве основного критерия выступает уровень компетентности преподавателя в дисциплине. Качество варианта распределения оценивается на основе степени его удовлетворения ряду критериев, установленных федеральными законами в сфере высшего образования [1].

Решение задачи разбито на два этапа.

На первом этапе генерируется вариант распределения учебной нагрузки кафедры в среде MSExcel при помощи пакета Solver. При этом задача формализуется с учетом допустимого формата задач оптимизации для решения средствами этого пакета. Варьируя в рамках допустимости некоторыми показателями, можно получить разные варианты распределения.

На втором этапе следует оценить качество каждого сгенерированного варианта распределения и выбрать наиболее приемлемый вариант. С этой целью вводится совокупность нечетких критериев, характеризующих вариант распределения учебной нагрузки, и методом нечеткого логического вывода определяется его качественная характеристика. Окончательный выбор варианта распределения возлагается на ЛПР.

Моделирование задачи распределения нагрузки кафедры в среде Excel

Задача о распределении учебной нагрузки кафедры относится к классу задач по оптимальному распределению ресурсов, когда известны и работы, и ресурсы, с помощью которых можно выполнить эти работы [7,8]. В качестве работ выступают разные виды учебной деятельности, такие как лекции, практические и лабораторные работы, семинары, практики, руководство научной работой студентов и т.д. В качестве ресурсов выступают преподаватели разной квалификации.

В предлагаемом нами подходе в качестве целевой функции задачи рассматривается функция вида

$$Y = \sum_i^m \sum_j^n X_{ij} \cdot K_{ij} \rightarrow \max,$$

где n – количество преподавателей (фактический штат кафедры), m – количество дисциплин (учебных работ), X_{ij} – количество часов, отведенных j -ому преподавателю на i -ую дисциплину, K_{ij} – коэффициент, отражающий компетентность j -го преподавателя в i -ой дисциплине.

Компетентность преподавателя определяется по следующей формуле:

$$K_{ij} = C_{ij} + M_{ij} + U_j + V_{ij},$$

где C_{ij} – коэффициент, учитывающий стаж преподавания i -ой дисциплины j -ым преподавателем, M_{ij} – коэффициент, учитывающий разработку методического материала (лекции, лабораторные работы и др.) по i -ой дисциплине у j -го преподавателя, U_j – коэффициент, учитывающий ученую степень и ученое звание преподавателя, V_{ij} – коэффициент, учитывающий желание j -го преподавателя вести i -ую дисциплину.

Вышеназванные коэффициенты определяются следующим образом.

$$C_{ij} = \frac{S_{ij}}{\max(S_{ij})} \cdot A_j \cdot \frac{1}{k},$$

где S_{ij} – стаж преподавания i -ой дисциплины j -ым преподавателем, k – количество претендентов на преподавание i -ой дисциплины, A_j – нормированный стаж j -го преподавателя, определяемый по формуле

$$A_j = \frac{a_j}{\max(a_j)},$$

где a_j – общий стаж j -го преподавателя, $\max(a_j)$ – максимальный стаж среди всех преподавателей.

Расчет коэффициента M_{ij} производится по формуле

$$M_{ij} = \frac{L_{ij}}{\sum_i L_{ij}} \cdot \frac{1}{k}$$

где L_{ij} – количество методических пособий по i -ой дисциплине, разработанных j -ым преподавателем, k – количество претендентов на преподавание i -ой дисциплины

Коэффициенту U_j , учитывающему ученую степень и ученое звание преподавателя, придадим перечисляемые значения (например, 0,1,2), а

коэффициенту V_{ij} , отражающему желание j -го преподавателя вести i -ую дисциплину, присвоим значение из диапазона $[0, 1]$.

Сложив все полученные коэффициенты по формуле подсчета компетентности преподавателей, получим таблицу компетентности, содержащую коэффициенты K_{ij} , отражающие компетентность j -го преподавателя по i -ой дисциплине. Данные в таблице свидетельствуют о целесообразности передачи ведения предмета тому или иному преподавателю.

При распределении нагрузки кафедры следует учитывать штатное расписание и общий объем учебных работ по всем дисциплинам.

Далее следует распределить нагрузку по преподавателям с учетом ряда ограничений:

1. По каждому из типов работ для каждого из преподавателей кафедры учитывается уровень его компетентности по выполнению данного типа работ.
2. Объем аудиторных часов у преподавателей разных категорий не должен превышать определенной доли от общего количества назначенных ему часов.
3. Нагрузка должна быть распределена с учетом годовой максимальной нагрузки по всем категориям преподавателей, в зависимости от занимаемой должности.
4. Объем часов преподавателя на учебный год не должен превышать средний объем годовой индивидуальной нагрузки по ВУЗу более чем на определенную величину.
5. Лекции по конкретной дисциплине на каждом потоке должен читать один преподаватель.
6. Экзамен у всего потока должен принимать преподаватель, читающий на этом потоке лекции. Зачет у группы должен принимать преподаватель, ведущий практические или лабораторные занятия.

Задача распределения нагрузки среди преподавателей решается при помощи надстройки Solver MSeXcelc максимизацией целевой функции. Распределение дисциплин и видов учебных работ между преподавателями осуществляется по наибольшему коэффициенту компетентности по данной дисциплине и данному виду работ.

Оценка качества варианта распределения учебной нагрузки на основе нечеткого логического вывода

Качество варианта распределения учебной нагрузки кафедры складывается из разных компонентов. Показателем качества может быть, например то, что количество выданных на кафедру часов равно количеству часов, распределенных между профессорско-преподавательским составом кафедры, что распределены все часы по разным типам работ, все преподаватели имеют нагрузку согласно штатному расписанию и др.

В настоящей работе для оценки качества сгенерированного в среде MSExcel варианта распределения вводятся нечеткие критерии, основанные на базовых значениях («плохой», «средний», «хороший») и мере возможности («точно», «скорее», «возможно») [9,10]. Для моделирования этих нечетких понятий вводятся лингвистические переменные и лингвистические термы. Лингвистической переменной является переменная «Вариант распределения», а в качестве ее значений выступают лингвистические термы, построенные на основе базовых значений и мер возможности.

Лингвистические термы представляются парами (мера возможности, базовое значение), например, «точно плохой», «точно хороший», «возможно средний» и т.д. Они базируются на четком множестве {плохой, средний, хороший} и определяются своими функциями принадлежности, принимающими значения 1, 0.75, 0.5, 0.35, 0.15. Например, «точно плохой» = {плохой /1, средний /0, хороший /0}, «возможно плохой» = {плохой /0.5, средний /0.75, хороший /0.15}.

Качество варианта распределения оценивается по разным критериям: например, количество выданных на кафедру часов распределено полностью, все преподаватели имеют нагрузку согласно штатному расписанию и др.

Каждую такую характеристику вновь опишем лингвистическими терминами вида (критерий, мера), где мера принимает значения «полностью», «в среднем», «частично».

Функции принадлежности этих термов строятся на основе определения соотношения результата фактического распределения к требуемому значению соответствующего показателя (это число из диапазона [0,1]).

Этот диапазон разобьем на интервалы $[0, 0.25]$, $[0.25, 0.75]$, $[0.75, 1]$, на которых моделируются понятия «в среднем», «частично», «полностью» и строятся их функции принадлежности соответствующего вида.

Экспертом формулируются правила нечеткого вывода вида [10]

*Если критерий 1 есть «полностью» и критерий 2 есть «полностью»
и критерий 3 есть «полностью»*

То Вариант распределения есть «точно хороший».

Оценка варианту распределения дается в результате нечеткого логического вывода, реализуемого пакетом FuzzyLogic в среде MatLab [10]. На вход системы логического вывода подаются конкретные значения входящих в правые части правил вывода нечетких критериев, которые определяются из итоговой таблицы распределения дисциплин между преподавателями, полученной в среде MSExcel.

Оптимальное распределение определяется экспертом, выступающим в качестве лица, принимающего решения (ЛПР).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геворкян Е.Н.* Временные требования, предъявляемые к образовательным учреждениям среднего, высшего и дополнительного профессионального образования при проведении лицензионной экспертизы и проверки их готовности к реализации образовательных программ. Положение «О государственной аккредитации высшего учебного заведения» (в редакции Постановления Правительства РФ от 01.02.2005 № 49)
2. *Затонский А.В.* Информационная система обеспечения качества образования в вузе. Математические методы в технике и технологиях: Материалы 19-й Международ. науч. конф., Воронеж, Т. 4, 2006. СС.173–177.
3. *Виноградов Г.П.* Распределение нагрузки между преподавателями кафедры. Вестник ТГТУ, № 1 (1), 2002.

4. *Григорян О.В.* Методика планирования учебной нагрузки с учётом результатов работы преподавателей. Научный журнал КубГАУ, №92, 2013.
<http://cyberleninka.ru/article/n/metodikaplanirovaniya-uchebnoy-nagruzki-s-uchyotom-rezultatov-raboty-prepodavateley>
5. *Султанова С.Н., Тархов С.В.* Модели и алгоритмы поддержки решений при распределении учебной нагрузки преподавателей. Вестник УГАТУ, Т.7, –№.3(16), 2006. СС.107–114.
6. *Нестеренков С.Н., Никульшин Б.В.* Математическая модель оптимального распределения часов нагрузки кафедры между профессорско-преподавательским составом. Доклады БГУИР, №.6 (76), 2013 СС. 42–47.
7. *Варламова С.А., Белобородова Е.В., Затонский А.В.* Принятие решений при распределении учебной нагрузки. Фундаментальные исследования. № 9, 2008, стр.22-31.
8. *Орлов А.И.* Теория принятия решений: учебник. М.: Экзамен, 2006. 574 с.
9. *Валландер Н.* Нечеткие множества. Нечеткая логика. 2004.
10. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. М., Радио и связь, 1982.

DISTRIBUTION OF THE TEACHING LOAD OF THE DEPARTMENT USING FUZZY LOGIC METHODS

A. Hovakimyan¹, I. Hakhumyan¹, K. Otaryan²

¹*Russian-Armenian University*

²*YSU Idjevan Branch*

ABSTRACT

The article deals with the task of distributing the academic load of the department, which must meet certain standards and restrictions. The main criterion is the level of competence of a teacher in a discipline, for evaluation of which both quantifiable factors and quality indicators are taken into account (for example, coefficients regarding

teaching experience, academic degree and academic status of a teacher, teacher's desire to teach this subject etc.). Other quantitative indicators are also taken into account, by varying of which it can be obtained different results of the distribution of the study load. To select the optimal solution, it is proposed to use the methods of the theory of fuzzy sets and fuzzy logic.

The task is modeled and solved in the MS Excel and MatLab environments using Solver and Fuzzy Logic modules respectively.

Keywords: study load distribution, teacher competence, types of educational work, linguistic variables, fuzzy sets, logical inference.

ПРИБЛИЖЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ОБЛАСТИ КРУГАМИ

В.С. Овсеян

Ванадзорский государственный университет им. Ов. Туманяна

hovar@inbox.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена задача покрытия плоской области кругами ограниченного радиуса. Рассматриваемая задача в последние годы приобрела большое значение в связи с развитием промышленной логистики, сенсорных сетей, мобильной телефонии и пр. Предложены приближенные алгоритмы, соответствующая программная система и критерий, по которому проведена оценка эффективности этих алгоритмов.

Ключевые слова: чебышевский центр, сенсорная сеть, покрытие области кругами.

Введение

В теории управления и при решении практических задач по размещению логистических объектов приходится решать задачу покрытия произвольной области кругами заданного радиуса R .

При размещения станций скорой медицинской помощи, аптек, бензо- и газозаправочных станций, размещение пунктов утилизации бытовых отходов и др. решение подобных задач может дать большой экономический и социальный эффект ([1–12]).

Работа посвящена разработке приближенных вычислительных методов решения прикладных задач размещения логистических центров. Разработана также соответствующая программная система.

где

$$\bullet F = S_{ob} / (\pi m R^2)$$

- S_{ob} – площадь области, подлежащей покрытию.
- R – радиус кругов, которыми необходимо покрыть область.
- m – число кругов, которыми покрывается область.

Отметим, что в общем случае нахождение точного аналитического решения подобной задачи не представляется возможным [2].

Известны разные алгоритмы для трех, четырехугольных областей, имеются теоретические исследования для разных случаев [1–3], а также примеры практического применения предложенных подходов [10–12], однако случай для произвольной области практически мало исследован.

2. Описание алгоритмов и вычислительных схем

Перед изложением численных алгоритмов нахождения наилучшего покрытия, приведем известные понятия геометрического ($G(x_g, y_g)$) и чебышевского ($CHEB(x_c, y_c)$) центров плоской дискретной области, образованной точками $M(x_i, y_i)$, ($i=1, 2, \dots, n$).

Координаты геометрического центра $M(x_g, y_g)$ (центра массы плоской однородной фигуры) определяются формулами:

$$x_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

Чебышевским центром [13] ограниченного множества M метрического пространства $X = (X, \rho)$ является элемент $x_0 \in X$, для которого

$$\sup_{y \in M} \rho(x_0, y) = \inf_{x \in X} \sup_{y \in M} \rho(x, y) \quad (4)$$

где $\rho(x, y)$ – расстояние между точками $x, y \in X$.

В работе предлагаются следующие приближенные алгоритмы и соответствующие вычислительные схемы покрытия заданной области V кругами фиксированного радиуса – R .

1. Алгоритм поворота области вокруг середины отрезка, образованного наиболее удаленными точками области V .

2. Алгоритм покрытия по горизонтально расположенному прямоугольнику наименьших размеров, полностью покрывающему область (алгоритм – АН),
3. Алгоритм покрытия по произвольно расположенному прямоугольнику минимальных размеров, полностью покрывающему область (алгоритм – АА),
4. Алгоритм покрытия по геометрическому центру (алгоритм – АG),
5. Алгоритм покрытия по Чебышевскому центру (алгоритм – АСН),
6. Алгоритм покрытия по серединной и параллельным ей линиям (алгоритм – АМ).

Применение этих алгоритмов могут дать разные результаты в зависимости от характера и свойств области V .

Предлагается следующая общая схема поиска наилучшего покрытия:

- Преобразование непрерывной области V в множество точек $M_i(x_i, y_i) \in V (i=1, 2, \dots, n)$ с практически удовлетворительной точностью δ .
- Последовательное применение всех перечисленных выше пяти алгоритмов покрытия и сравнение обеспечиваемыми ими эффективностей покрытия.
- Выбор наиболее эффективного покрытия.

2.1. Алгоритмы покрытия по прямоугольникам горизонтального и произвольного направлениям: АН и АА

Эти алгоритмы представляют из себя последовательность следующих шагов:

- для рассматриваемой области находят наиболее удаленные точки по горизонтальному и вертикальному направлениям строят горизонтальный прямоугольник, Рис.1) (алгоритм АН).
- находят две самые удаленные друг от друга точки (M_1 и M_2) области и две точки области N_1 и N_2 , которые максимально

от прямой, проходящей через точки M_1 и M_2 . По этим точкам строят прямоугольник произвольного направления (Рис.1) (алгоритм АА).

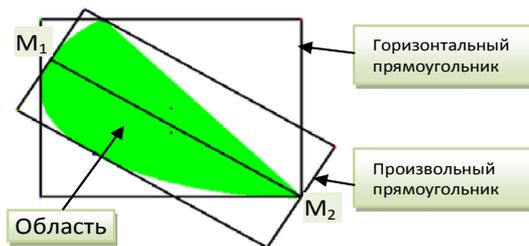


Рис. 1. Прямоугольники горизонтального и произвольного расположения.

- построенные прямоугольники разбивают на квадраты со стороной $h = R\sqrt{2}$

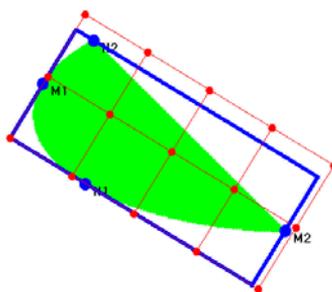


Рис. 2. Разбиение прямоугольника на квадраты со стороной $h=R\sqrt{2}$.

Обозначим через u и v соответственно ширину и высоту прямоугольника.

Очевидно, что отношения u/h и v/h в общем случае могут быть не целыми числами. В этом случае в качестве количества квадратов по ширине (k) и по длине (l) берут, соответственно, наименьшие целые числа, равные или превышающие соответственно u и v :

$$k = \text{int}(u/h) + 1, l = \text{int}(v/h) + 1$$

- каждый из квадратов покрывают кругом радиуса R , исключая те круги, которые не имеют общих точек с областью V (Рис.3.)

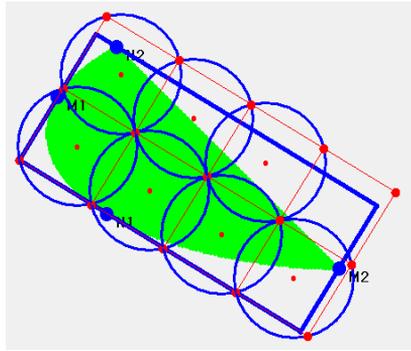


Рис. 3. Покрытие прямоугольной области кругами

2.2. Описание алгоритмов AG и АСН

Алгоритмы состоят из следующих шагов:

- находят геометрический (GC) и Чебышевский (СНС) центры области (Рис.4)

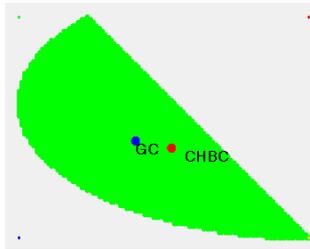


Рис. 4. Геометрический и Чебышевский центры области.

- начиная с центра (GC или СНС) последовательно по окраинам каждой окружности проводят круги радиуса R, пока очередной круг не окажется вне области (Рис. 5).

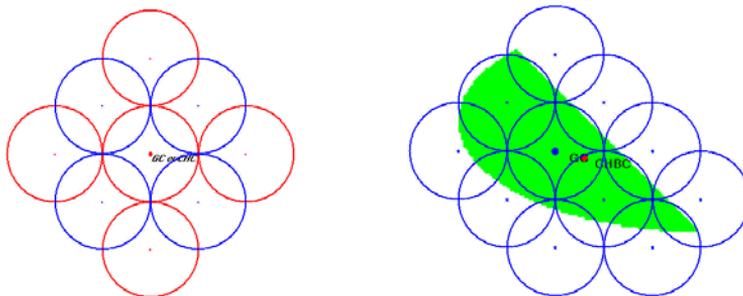


Рис. 5. Проведение кругов, начиная с центров: GC или СНС.

2.3. Описание алгоритма АМ

В этом случае

- находят средние точки области по вертикали или по горизонтали и проводят среднюю и параллельные ей линии, на расстоянии R (Рис. 6).

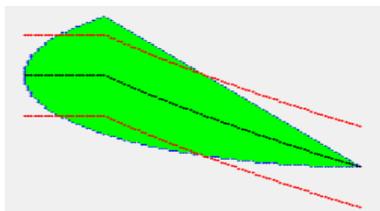


Рис. 6. Проведение средней и параллельных ей линий области.

- по каждой линии, начиная со средней и параллельным ей линиям, проводят круги радиуса R с центрами на расстоянии R , начиная с левой крайней точки.

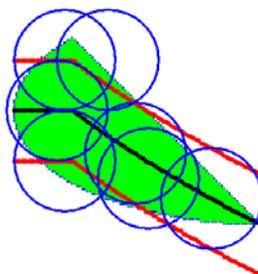


Рис. 7. Проведение кругов по средней и параллельно ей линиям.

Полученные по разным алгоритмам результаты сравнивают друг с другом по их показателю эффективности (3) и выбирают то покрытие, при котором эффективность покрытия максимальна.

По каждому алгоритму составлена программа на языке Visual Basic и образована единая программная система.

Для примера приведем описание алгоритма преобразования (дискретизации) области. Имеем область V , определяемую ограничениями:

$$f_i(x_i, y_i) \leq 0$$

Не нарушая общности можно предполагать, что область находится в первом квадранте и ее точки удовлетворяют условиям: $a \leq x \leq b$ и $c \leq y \leq d$.

Введем булеву переменную $u = (f_1(x_1, y_1) \leq 0) \text{ and } (f_2(x_2, y_2) \leq 0) \text{ and } \dots \text{ and } (f_n(x_n, y_n) \leq 0)$. Тогда алгоритм преобразования области на псевдокоде будет иметь следующий вид:

Input a,b,c,d, delta – точность преобразования области в множество точек.

Ограничения: $\{(f_1(x_1, y_1) \leq 0), (f_2(x_2, y_2) \leq 0), \dots, (f_n(x_n, y_n) \leq 0)\}$

Output l1 – число всех точек области, которое непосредственно зависит от delta

l2 – число крайних точек области, которое непосредственно зависит от delta

Множество всех точек области $\{ax(i), ay(i)\} (i=1, 2..l1)$

Множество крайних точек области $\{kx(i), ky(i)\} (i=1, 2..l2)$

Plob – площадь области

i=0, j=0, l2=0

For x=a to b step delta

q=0

For y=c to d step delta

u = $(f_1(x, y) \leq 0) \text{ and } (f_2(x, y) \leq 0) \text{ and } (f_n(x, y) \leq 0)$

l2=l2+1

If u then i=i+1

ax(i)=x

ay(i)=y

IF q=0 then j=j+1

kx(j)=x

ky(j)=y

q=1

end if

end if

end for

end for

```

l1=i-1
plob =(b-a)*(c-d)*(l1-1)/(l2-1)
end

```

Множества точек $M_1(ax(i), ay(i))(i=1, 2 \dots l)$ и $M_2(kx(i), ky(i))(i=1, 2 \dots l)$, которые в дальнейшем используются во всех алгоритмах.

3. Краткое описание программной системы, реализующей алгоритмы покрытия.

Для реализации описанных выше вычислительных алгоритмов составлены соответствующие программы на языке Visual Basic. Запуская программу ss.exe открывается следующее окно – главное меню программы, имеющее следующие составляющие:

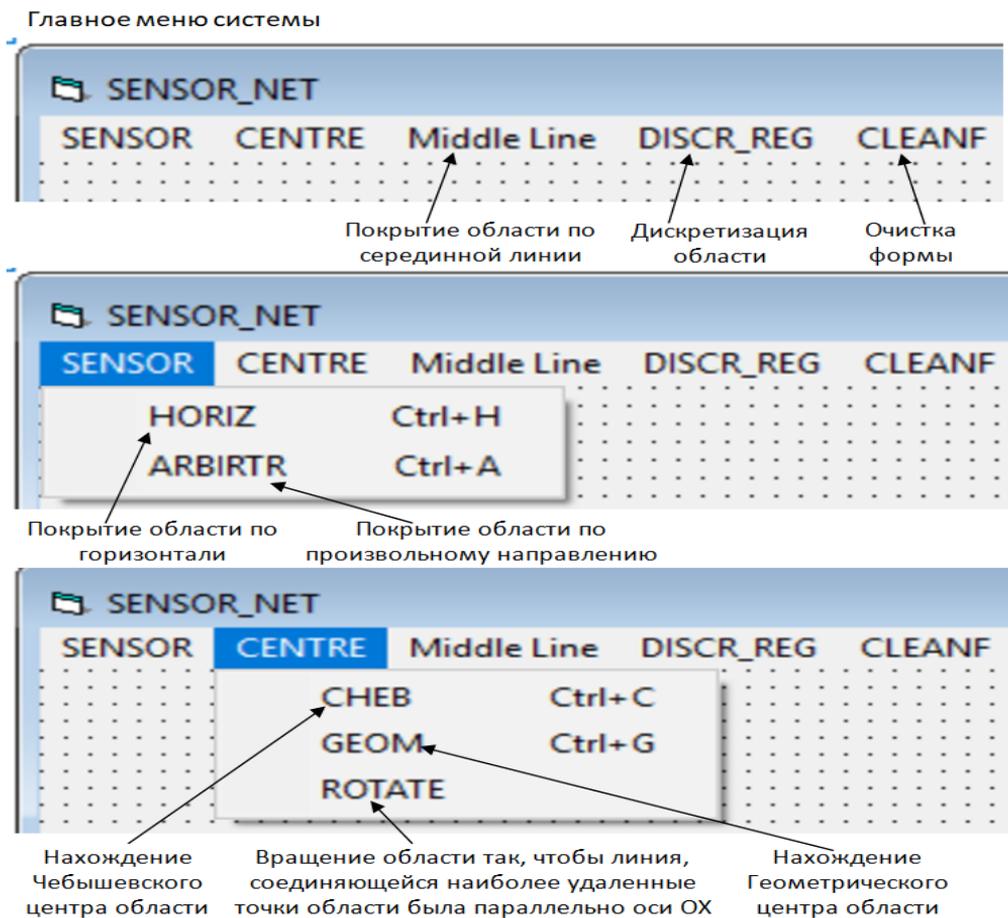


Рис. 8. Главное меню и его состав.

В качестве практического примера применения программной системы рассмотрим следующую задачу:

Дана область, образованная точками $M(x,y) \in D \subset R^2$ и удовлетворяющая следующим ограничениям:

$$\left. \begin{aligned} (x - 60)^2 + 5(y - 50)^2 &\leq 1600 \\ (x - 10)^2 + (y - 10)^2 &\geq 500 \\ (x - 20)(x - 50) + (y - 80)^2 &\geq 100 \\ (x - 60)^2 + (y - 20)^2 &\geq 500 \\ x + 0.2y &\leq 100 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для этой области определены геометрическое (GC(57.27,51.47)) и Чебышевское центры (CHBC(56,45)) (рис. 9). Как видно, они могут не совпадать.

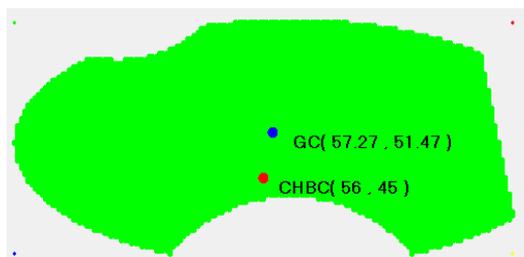


Рис. 9. Область, образованная ограничениями (6) и ее геометрические(GC) и Чебышевские(CHBC) центры.

По описанным выше алгоритмам получены следующие результаты по покрытию области D кругами радиуса R.

1. По горизонтально расположенному прямоугольнику минимальных размеров, покрывающему область D.

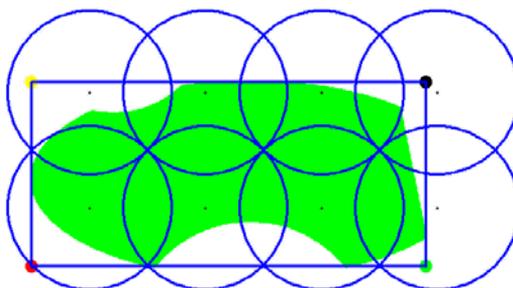


Рис. 10. График покрытия области D кругами радиуса R по алгоритму АН

2. По произвольно расположенному прямоугольнику минимальных размеров, покрывающему область D .

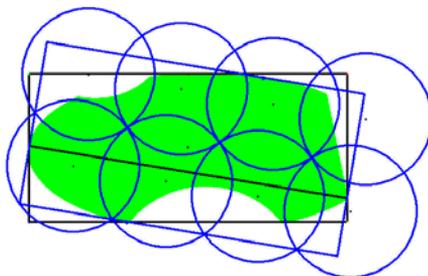


Рис.11. График покрытия области D кругами радиуса R по алгоритму AA

3. По алгоритму вокруг геометрического центра

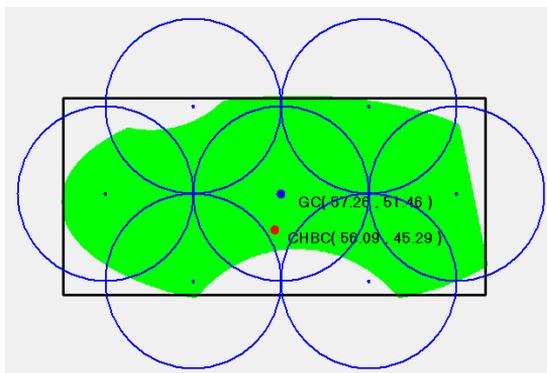


Рис. 12. График покрытия области D кругами радиуса R по алгоритму AG

4. По алгоритму вокруг Чебышевского центра

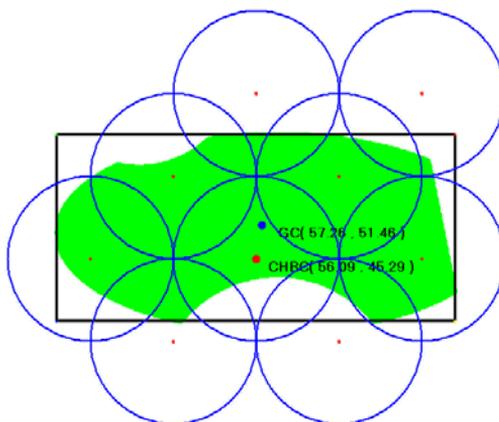


Рис. 13. График покрытия области D кругами радиуса R по алгоритму ACH

По алгоритму средней и параллельно ей линиям

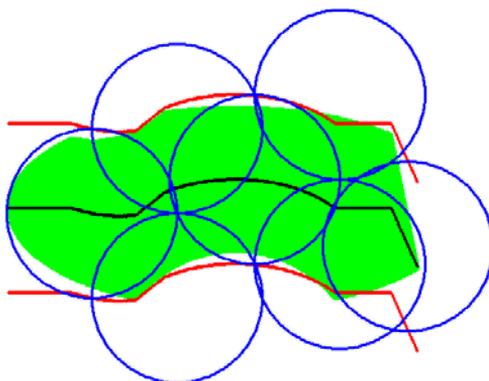


Рис. 14. График покрытия области D кругами радиуса R по алгоритму АМ.

Результаты применения различных алгоритмов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные по характеристикам покрытия области D кругами радиуса R разными алгоритмами.

№	Алгоритм размещения кругов	Δ	Площадь области	Радиус круга	Количество кругов	Степень эффективности покрытия (%)
1	По горизонтально расположенному прямоугольнику минимальных размеров, покрывающему область (АН)	0.1	1800	15	8	31.87
2	По произвольно расположенному прямоугольнику минимальных размеров, покрывающему область (АА)	-''-	1800	-''-	8	31.87
3	Вокруг геометрического центра (АВ)	-''-	1798.111	-''-	7	36.34
4	Вокруг Чебышевского центра (АСН)	-''-	1798.111	-''-	9	28.26
5	По серединной и параллельным ей линиям (АМ)	-''-	1798.111	-''-	7	36.01

Анализ табличных данных показывает, что в данном случае для области D наиболее подходящим алгоритмом покрытия является алгоритм АГ, когда покрытие производится вокруг геометрического центра области. В этом случае вся область покрывается 7 кругами, при этом доля оптимального покрытия составляет 36.34%.

Разумеется, для другой области наилучшим алгоритмом может быть другой и полезное покрытие будет другим.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Казаков А.Л., Лебедев П.Д.* Построение наилучших круговых аппроксимаций множеств на плоскости и на сфере, М., ИПУ РАН, 16–19 июня 2014г.
2. *Лебедев П.Д., Бухаров Д.С.* Аппроксимация многоугольников наилучшим набором кругов // Известия Иркутского государственного университета, сер. «Математика», 2010, Т. 3, № 4.
3. *Лебедев П.Д., Ушаков А.В.* Аппроксимация множеств на плоскости оптимальными наборами кругов // Автоматика и телемеханика, 2012, 3, СС. 79–90.
4. *Kurzban A.B., Valyi I.* Ellipsoidal calculus for estimation and control. Boston: Birkhauser, 1997. 220p.
5. *Гусев М.И.* Оценки множеств достижимости многомерных управляемых систем с нелинейными перекрестными связями // Тр. ИММ УрО РАН. 2009. Т. 15. 4. СС. 82–94.
6. *Гаркави А.Л.* О существовании наилучшей сети и наилучшего поперечника множества в банаховом пространстве // Успехи матем. наук. 1960. Т 15. Вып. 2. СС. 210–211.
7. *Гаркави А.Л.* О наилучшей сети и наилучшем сечении множеств в нормированном пространстве // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1962. Т. 26. 1. СС. 87–106.
8. *Гаркави А.Л.* О чебышевском центре и выпуклой оболочке множества // Успехи матем. наук. 1964. Т. 19. Вып. 6. СС. 139–145.

9. *Гаркави А.Л.* Обусловном чебышевском центре компактного множества непрерывных функций // Матем. заметки. 1973. Т. 14. N4. СС. 469–478.
10. *Казаков А.Л., Лемперт А.А.* Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автоматика и телемеханика. 2011. 7. СС. 50–57.
11. *Лемперт А.А., Казаков А.Л., Бухаров Д.С.* Математическая модель и программная система для решения задачи размещения логистических объектов // Управление большими системами. 2013. Вып. 41. СС. 270–284.
12. *Бухаров Д.С., Казаков А.Л.* Программная система «ВИГОЛТ» для решения задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Вычислительные методы и программирование. 2012. Раз. 2. СС. 65–74

**APPROXIMATE METHODS AND SOFTWARE IMPLEMENTATION
OF THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF COVERING
AN ARBITRARY PLANE REGION BY CIRCLES**

V. Hovsepyan

Vanadzor State University after Hovhannes Toumanyán

hovar@inbox.ru

ABSTRACT

The problem of covering a plane domain with circles of bounded radius is examined. A criterion is proposed and a comparison of several algorithmic solutions is made. The task has acquired great importance in recent years in connection with the development of mobile telephony, industrial logistics, etc.

Keywords: Chebyshev Center, sensor network, coverage of the area with circles.

ՆԵՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ՏՈՊՈԼՈԳԻԱՅԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄ ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ա.Ս. Հովակիմյան¹ Ա.Գ. Մարգարյան², Չ. Մովսիսյան²

¹ Հայ-Ռուսական համալսարան

² Երևանի պետական համալսարան

*anna.hovakimyan@rau.am, siranushs@ysu.am,
movchinar@gmail.com*

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում դիտարկվում է երկարատև կարճաժամկետ հիշողության (Long Short-Term Memory – LSTM) տեսքի ռեկուրենտ նեյրոնային ցանցերի տոպոլոգիայի օպտիմալացման խնդիրը: Ենթադրվում է, որ այդ ցանցերը օգտագործվում են կանխատեսման խնդիրների համար: Որպես ցանցի տոպոլոգիան որոշող պարամետրեր դիտարկվում են մուտքային շերտի նեյրոնների (window size) և թաքնված շերտի գազաթների (number of units) քանակները: Օպտիմիզացիայի խնդիրը լուծելու համար կիրառվում է գենետիկ ալգորիթմ, որի սկզբնական պոպուլյացիան կազմված է ուսուցման արդյունքում գեներացված նեյրոնային ցանցերից՝ տոպոլոգիան որոշող պարամետրերի պատահական արժեքներով:

Մշակված է ծրագրային համակարգ, որը գտնում է տվյալ առարկայական տիրույթի տվյալների վրա հիմնված կանխատեսման խնդիրը լուծող նեյրոնային ցանցի օպտիմալ տոպոլոգիա: Մշակված գործիքը փորձարկված է քանու ուժգնության կանխատեսման խնդրի համար:

Հիմնաբառեր՝ ռեկուրենտ նեյրոնային ցանցեր, երկարատև կարճաժամկետ հիշողություն, նեյրոնային ցանցի տոպոլոգիա, գենետիկ ալգորիթմ:

Ներածություն

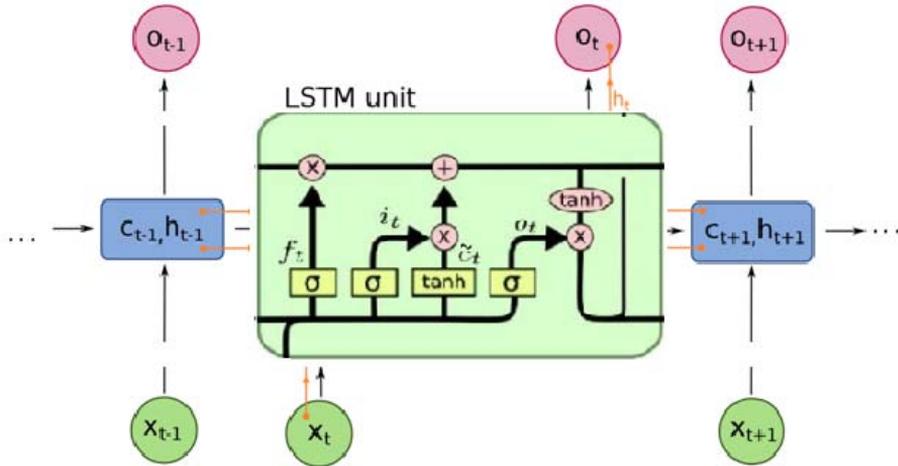
Ներդրումային ցանցերն օգտագործվում են մի շարք ոլորտներում: Օգտագործված ոլորտներում լավ արդյունքի հասնելու համար անհրաժեշտ է ընտրել ցանցի ճիշտ տոպոլոգիա, որն որոշվում է ցանցի մուտքային և թաքնված շերտերի ներդրումների քանակով: Ցանցի տոպոլոգիան սովորաբար ձևավորվում է էքսպերտի կողմից փորձարկումների արդյունքում: Այդ գործընթացը բավականին ժամանակատար է, ուստի խնդիր է առաջանում այն ավտոմատացնելու:

Ներդրումային ցանցերի կառուցման խնդիրը հանգում է մի շարք պարամետրերի սահմանելուն, նախքան տվյալների վրա ցանցի ուսուցումը սկսելը:

Աշխատանքի նպատակն է գենետիկ ալգորիթմի միջոցով որոշել պարամետրերի այնպիսի արժեքներ, որը կբերի տվյալ առարկայական տիրույթի տվյալների վրա հիմնված կանխատեսման խնդիրը լուծող ռեկուրենտ ներդրումային ցանցի օպտիմալ տոպոլոգիայի:

Ռեկուրենտ ներդրումային ցանցեր և գենետիկ ալգորիթմներ

Ռեկուրենտ ներդրումային ցանցը (RNN) ցանց է ցիկլերով, որը կարողանում է պահպանել ինֆորմացիան: Ցիկլը թույլ է տալիս ($t-1$) քայլում x_{t-1} մուտքային ազդանշանին համապատասխան էլքային h_{t-1} արժեքը փոխանցել t -րդ քայլ: Յուրաքանչյուր քայլի էլքային արժեքը կախված է ընթացիկ քայլի մուտքային ազդանշանից և նախորդ քայլերից հաղորդված ինֆորմացիայից (նկ. 1): Սակայն քայլերի միջև հեռավորության մեծացման հետ RNN-ները դժվարանում են ինֆորմացիան փոխանցել քայլերի միջև:



Նկ. 1. Ռեկուրենտ նեյրոնային ցանց

Վերջին խնդիրը լուծվում է մի քանի եղանակով: Աշխատանքում դիտարկվում են RNN տիպի երկարատև կարճաժամկետի շողության տեսքից անցերը (Long Short-Term Memory – LSTM): Դրանք RNN-ի անալոզն են, բայց յուրաքանչյուր թաքնված գազաթ ունի 4 շերտ [1,2]:

LSTM ցանցերի ուսուցումը կատարվում է ժամանակի ընթացքում սխալի հետադարձ տարածման մեթոդով [1-3]:

Ցանցի ուսուցման սխալանքը արտահայտում է n ($n \geq 1$) օրինակներից կազմված ուսուցանող հավաքածուի վրա ուսուցանված ցանցի n -րակական բնութագիրը: Վերջինս հաշվարկվում է տարբեր եղանակներով: Աշխատանքում օգտագործվել է միջին քառակուսային սխալանքը՝ RMSE:

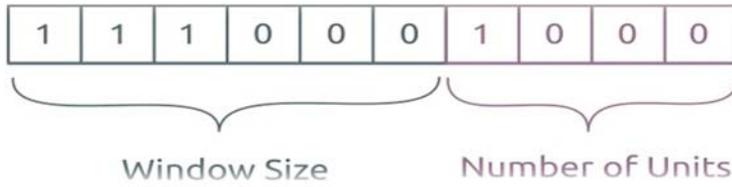
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs,i} - Y_{model,i})^2}{n}}$$

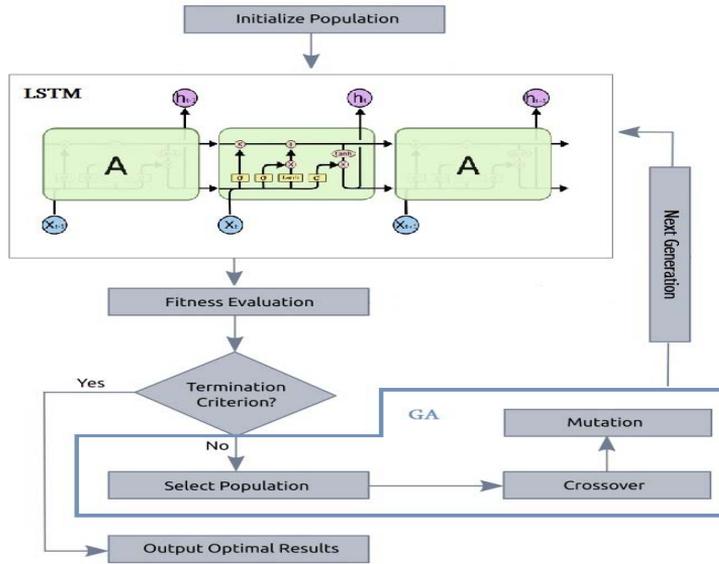
որտեղ $Y_{obs,i}$ -ը ցանկալի ելքային արժեքն է մոդելի $X_{obs,i}$ մուտքային տվյալի համար, իսկ $Y_{model,i}$ -ն՝ մոդելի փաստացի ելքային արժեքը:

Գենետիկ ալգորիթմները (Genetic Algorithms – GA) էվրիստիկ որոնման և օպտիմիզացիայի մեթոդներ են, որոնց հիմքում ընկած է բնության մեջ գործող ընտրության սկզբունքը [4, 5]:

Ուսումնասիրվող խնդրում գենետիկ ալգորիթմի պոպուլյացիանիբենից ներկայացնում է ուսուցանված ցանցերի տոպոլոգիաները ներկայացնող քրոմոսոմների հավաքածուն: Քրոմոսոմները կոդավորվում են 10 երկարությամբ երկուական զանգվածի տեսքով, որտեղ առաջին 6 բիթերի պարունակությամբ տրվում է պատուհանի չափը (Window Size), իսկ հաջորդ 4 բիթերի պարունակությամբ՝ թաքնված շերտի զագաթների քանակը (Number of Units) (նկ. 2): Պոպուլյացիայի տարրի (տեսակի), այսինքն տվյալ տոպոլոգիայով ցանցի, պիտանելիությունը հակադարձ համեմատական է ուսուցանված ցանցը բնութագրող միջին քառակուսային սխալանքի գնահատականին:

Աշխատանքում տեսակի ընտրությունը կատարվում է ըստ նրա պիտանելիության չափի: Ընտրության օպերատորի միջոցով ընտրվում է երկու տեսակ (ծնողներ), որոնց համար կատարվում է մեկ կետանի կարգավորված խաչասերում: Կետը ընտրվում է 6-րդ և 7-րդ բիթերի միջև և փոխանակվում են ծնող-քրոմոսոմների առաջին և երկրորդ հատվածները համապատասխանաբար: Խաչասերումից առաջացած որդիներ-տեսակները մուտացիայի են ենթարկում որոշակի հավանականությամբ: Քրոմոսոմների որևէ բիթին վերսիայի է ենթարկվում [4-6]: Այնուհետև առաջացած որդի-տեսակների պիտանելիությունն է հաշվարկվում, որը համեմատվում է ծնողների պիտանելիության հետ: Հաջորդ սերունդ անցնում են «լավագույները»՝ մաքսիմալ պիտանիները: Գենետիկ ալգորիթմի համար որպես աշխատանքի կանգառի պայման համարվում է սերունդների սահմանափակ քանակը: Գենետիկ ալգորիթմի աշխատանքը կարելի է նկարագրել հետևյալ դիագրամով (նկ. 3):





Նկ. 3. Գենետիկ ալգորիթմի աշխատանքի դիագրամ

Համակարգը փորձարկվել է քամու ուժգնության կանխատեսման խնդրի համար՝ գենետիկ ալգորիթմի ստորն դիտարկված պարամետրերի դեպքում.

- Generation_size=100
- Generation_count=50
- Gene_lenght = 10, Window_size_lenght = 6, Number_of_units =4,
- Mutpb = 0.1
- Cxpb = 0.6

Աղյուսակ 1-ում ներկայացված է մշակված ծրագրային համակարգի աշխատանքի արդյունքները՝ քամու ուժգնության կանխատեսման խնդրի համար:

Window Size	Number of Units	Validation RMSE
35	15	0.0998766162
9	10	0.1054462331
15	4	0.0985950033
44	8	0.0950128194
46	8	0.0887755748
13	4	0.0985346284
47	15	0.0998058638
43	10	0.0996080734
34	11	0.0983118583
47	12	0.1024061348
42	15	0.1042505894

Ստացված տեսակներից ընտրվում է լավագույնը՝ ամենաբարձր պիտանելիության ցուցանիշով. WindowSize=46, NumberofUnits=8, RMSE=0.0887755748: Պարամետրերի այս արժեքներով գեներացրած LSTM մոդելը չլիտարկված տվյալների դեպքում տալիս է հետևյալ արդյունքը (աղյուսակ 2):

BestWindowSize	BestNumberofUnits	TestRMSE
46	8	0.0656975479

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Gers F.* Long Short-Term Memory in Recurrent Neural Networks. Lausanne, EPFL 2001

2. Olah C. Understanding LSTM Networks // <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>.
3. *Britz D.* Recurrent Neural Networks Tutorial // <http://www.wildml.com/2015/09/recurrent-neural-networks-tutorial-part-1-introduction-to-rnns/>.
4. *Bodenhofer U.* Genetic Algorithms: Theory and Applications. Linz-Hagenberg 2003/2004
5. *Koehn P.* Combining Genetic Algorithms and Neural Networks. Knoxville, 1994.
6. *Brownlee J.* Time Series Prediction with LSTM RNNs in Python with Keras // <https://machinelearningmastery.com/time-series-prediction-lstm-recurrent-neural-networks-python-keras/>.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А.С. Овакимян¹, С.Г. Саркисян², Ч. Мовсисян²

¹*Российско-Армянский университет*

²*Ереванский государственный университет*

*anna.hovakimyan@rau.am, siranushs@ysu.am,
movchinar@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается задача оптимизации топологии рекуррентных нейронных сетей с долговременной краткосрочной памятью (Long Short Term Memory – LSTM). Предполагается, что эти сети используются для задач прогнозирования. В качестве параметров топологии сети рассматриваются количество нейронов входного слоя (window size) и количество нейронов скрытого слоя (number of units). Для решения задачи оптимизации используется механизм генетического алгоритма, для которого начальная популяция состоит из сгенерированных в результате обучения нейронных сетей со случайными значениями варьируемых параметров.

Разработана программная система, которая ищет оптимальную топологию нейронной сети, решающей задачу прогнозирования в данной предметной области. Разработанный инструмент апробирован на примере задачи прогнозирования интенсивности ветра.

Ключевые слова: рекуррентные нейронные сети, долгая краткосрочная память, топология нейронной сети, генетический алгоритм.

ԳԻՏԵԼԻՔՆԵՐԻ ՍՏՈՒԳՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ԹԵՍՏԵՐԻ
ՁԵՎԱԶԱՓԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՎ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Ն.Ն. Խուբլարյան

ՎՊՀ, ԻՏՄՄ ամբիոն, դասախոս

Գ.Տ. Մանուկյան

*ՎՊՀ, Էլեկտրոնային կրթական տեխնոլոգիաների կառավարման և
սպասարկման բաժին, ցանցային ադմինիստրատոր*

n_khublaryan@mail.ru, gormal93@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հայաստանում նոր թափ է ստանում էլեկտրոնային տեխնոլոգիաների կիրառումը ուսուցման գործընթացում, մասնավորապես գիտելիքների ստուգման իմաստով: Դրանք կիրառվում են թեմատիկ քննությունների, դպրոցական ավարտական քննությունների, բուհի ընդունելության քննությունների, աշխատանքի ընդունման հարցազրույցների և այլ դեպքերում: Թեստային համակարգերը ունենում են տարբեր ալգորիթմներ: Այսօր արդիական են ադապտիվ ալգորիթմները: Թեստային հարցերը կարող են լինել տարբեր ձևաչափի, որոնք հետաքրքիր են դարձնում թեստավորման գործընթացը: Մենք ուսումնասիրել ենք տարբեր հարցումների ձևաչափեր և մշակել սեփական համակարգը:

Հիմնաբառեր` թեստեր, ուսուցում, էլեկտրոնային համակարգ, գիտելիք, ստուգում:

Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների զարգացման հետ մեկտեղ, Հայաստանի Հանրապետությունում (ՀՀ) նոր թափ է ստանում էլեկտրոնային տեխնոլոգիաների ներդրումը ուսուցման գործընթացում: Առավել մեծ ուշադրություն է դարձվում գիտելիքների ստուգման էլեկտրոնային համակարգերի վրա:

Թեստավորման էլեկտրոնային համակարգերը օգտագործվում են բազմաբնույթ բնագավառներում: Օրինակ՝ առարկայական ընթացիկ թեմատիկ քննություններ, դպրոցական ավարտական քննություններ, բուհի ընդունելության քննություններ, աշխատանքի ընդունման հարցազրույցներ և այլն: Թեստավորման, գնահատման և ուսուցման ավտոմատացված համակարգերի ներդրումը լայն տարածում է ստանում ՀՀ-ում:

Թեստերի առաջացման ճշգրիտ և ամբողջական պատմությունը հնարավոր չէ վերականգնել: Այնուամենայնիվ, նշենք այդ պատմության մի քանի կարևոր փուլեր.

- հին Բաբելոն - անց էին կացվում գրագետների դպրոցների շրջանավարտների քննություններ;
- հին Եգիպտոս - օգտագործվում էր դասընթացից ստացած գիտելիքների ստուգման համակարգեր;
- հին Հունաստան - անց էին կացվում ստուգումներ հատուկ բարդության մաթեմատիկական խնդիրների միջոցով;
- հին Չինաստան - օգտագործվում էր առաջին մասնագիտական կողմնորոշմամբ ստուգումները պաշտոնի թեկնածուների ստուգման համար;
- հին Հնդկաստան - իրականացվում էր իմաստունության ստուգում հատուկ խաղերի միջոցով;
- հին Վիետնամ - անց էին կացվում զինվորական և քաղաքացիական պաշտոնյաների գիտելիքների պարբերական ստուգումներ;

- Անգլիա - առաջին անգամ օգտագործվում էր գրավոր աշխատանքի ուսուցման արդյունքի ստուգման օբյեկտիվության բարձրացման համար;
- ԱՄՆ - լույս տեսավ առաջին առարկայական գիրքը, որը բաղկացած էր թեստային հարցերից;
- Ֆրանսիա - առաջին փորձերն էին կատարվում թեստավորման միջոցով երեխաների գիտելիքների ստուգման գործում;
- Ժամանակակից աշխարհ - մեծ կիրառություն է ստացել գիտելիքների թեստային ստուգումը, ինչպես նաև անց են կացվում քննություններ:

Համակարգչային թեստերի ստեղծումը կարելի է իրագործել հետևյալ հաջորդականությամբ.

- գիտելիքների նպատակային մոդելների ձևավորում;
- թեստային միջավայրի նախագծում;
- թեստային առաջադրանքների ձևավորում և բովանդակայնացում;
- ամբողջական համակարգչային թեստի ձևավորում;
- համակարգի փորձարկում;
- վերլուծում և ճշգրտում:

Ձևակերպենք հայտնի համակարգչային թեստերի տեսակները և մեկնաբանենք դրանք:

Ստանդարտ թեստեր.

- **Մեկ ճիշտ պատասխանի ընտրությամբ հարցեր** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ ընտրվում է թվարկված տարբերակներից միակ ճիշտ պատասխանը:

▪ **Մեկ սխալ պատասխանի ընտրությամբ հարցեր** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ ընտրվում է թվարկված տարբերակներից միակ սխալ պատասխանը:

▪ **Երկու և ավելի ճիշտ պատասխանների ընտրությամբ հարցեր** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ ընտրվում է թվարկված տարբերակներից երկու և ավելի ճիշտ պատասխան:

▪ **Ճիշտ պատասխանի լրացում** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ տրված դաշտում լրացվում է ճիշտ պատասխանը: Պատասխանը կարող է լինել մեկ բառ կամ մեկ թիվ:

Ժամանակակից թեստեր.

▪ **Էլեմենտների դասակարգում** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ անհրաժեշտ է տրված տարրերը դասակարգել ըստ նշված երկու հայտանիշների: Տարրերը պետք է տեղադրվեն համապատասխան հատկանիշների սյունակներում:

▪ **Համապատասխանեցում** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ անհրաժեշտ է ստեղծել համապատասխանություն երկու բազմության տարրերի միջև: Առաջին բազմության տարրերն իրենցից ներկայացնում են օբյեկտներ, երկրորդինը՝ հատկանիշ, կառուցվածք և այլն:

▪ **Ճիշտ հաջորդականության կառուցում** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ անհրաժեշտ է տրված տարրերը ստանալ ճիշտ հաջորդականություն՝ ըստ նախօրոք նշված պայմանի կամ պայմանների:

▪ **Բաց թողնված բառի ընտրություն** - թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ անհրաժեշտ է տրված հնարավոր տարբերակներից (թափվող ցուցակից կամ բառերի բազմությունից) ընտրել և տեղադրել բաց թողնված բառը:

▪ **Մտքի ազատ շարադրանք** – թեստային առաջադրանք, որի կատարման ժամանակ անհրաժեշտ է շարադրել տրված առաջադրանքի պատասխանը մի կամ մի քանի նախադասության միջոցով:

Այս ամենը հաշվի առնելով, մենք մշակել ենք գիտելիքների ուսուցման և ստուգման տարբեր ձևաչափերի հարցադրումներ պարունակող ավտոմատացված թեստային համակարգ: Համակարգ մտնելիս հարկավոր է լրացնել որոշակի դաշտեր, պակաս դաշտ թողնելիս գալիս է հաղորդագրություն-զգուշացում, այն լրացնելու մասին: Բուն թեստավորման գործընթացը սկսում է միայն այն դեպքում, երբ տվյալները լրացված են ամբողջականորեն:

Ներկայացնենք մեր համակարգում առկա տարաբնույթ թեստային հարցեր.

1. մեկ ճիշտ պատասխանի ընտրությամբ հարց



Նկ. 1

2. մի քանի ճիշտ պատասխանի ընտրություն



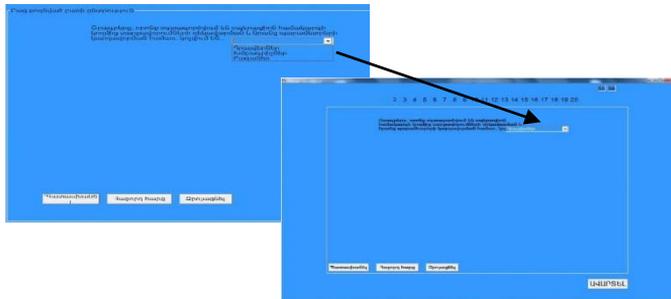
Նկ. 2

3. Ճիշտ պատասխանի ներմուծում



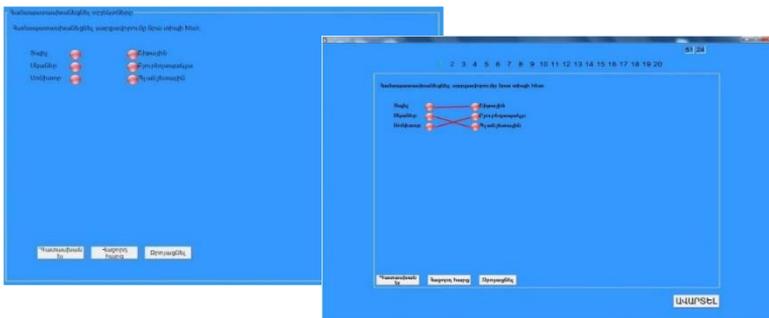
Նկ. 3

4. Բաց թողնված բառի ընտրություն



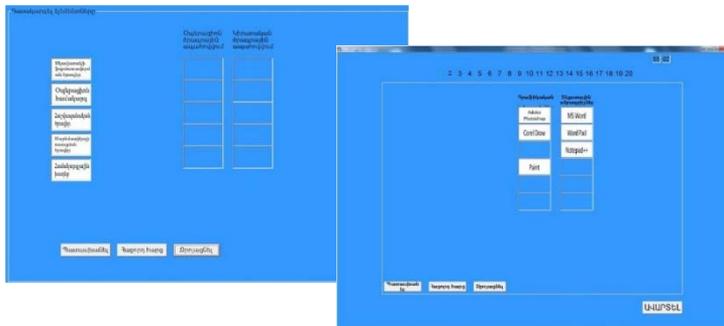
Նկ. 4

5. Համապատասխանեցում



Նկ. 5

6. Էլեմենտների դասակարգում (կիրառել ենք քարշ տալ գցել տեխնոլոգիան)



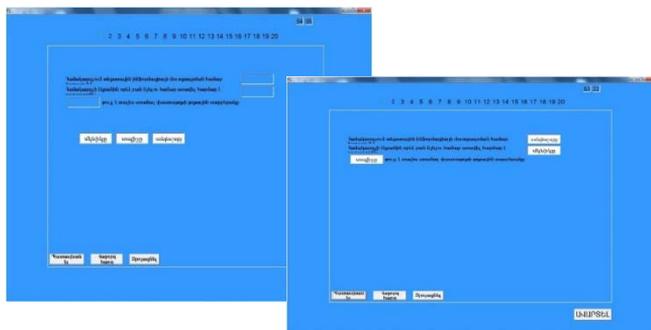
Նկ. 6

7. Հաջորդականության կազմում



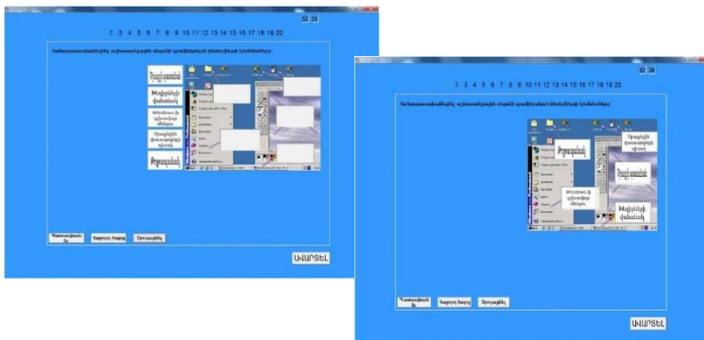
Նկ. 7

8. Բաց թողնված բառի տեղադրում



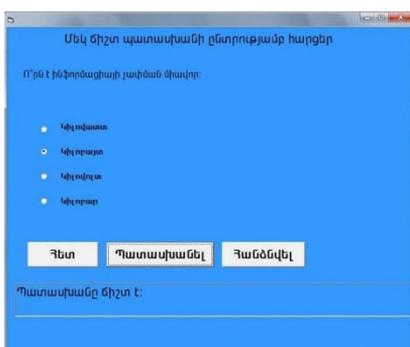
Նկ. 8

9 □ Համապատասխանեցում

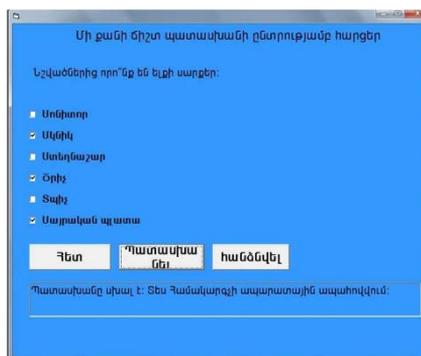


Նկ. 9

Առաջադրվող թեստի համար տրված է կոճակներ՝ «պատասխանել» և «հանձնվել»: Սեղմելով «պատասխանել» կոճակին, հայտնվում է հաղորդագրություն՝ պատասխանի ճիշտ (Նկ. 10) կամ սխալ (Նկ. 11) լիելու մասին, սխալի դեպքում տրվում է նաև այն թեմայի վերնագիրը, որին վերաբերում է հարցը: Թեմայի վերնագիրը հուշում է, եթե դուք սկզբում նշել եք, որ ուսուցանող թեստավորում եք ընտրում, համակարգում կա նաև պարզապես թեստավորում: Վերջին դեպքում թեմայի վերնագիրը չի հուշվում:

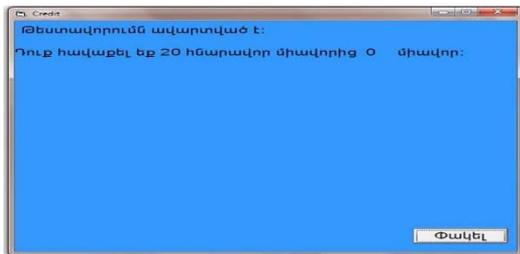


Նկ □ 10



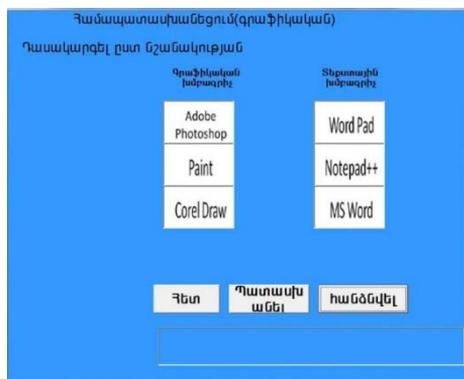
Նկ. 11

Թեստավորումն ավարտելուց հետո էկրանին հայտնվում է պատուհան, որտեղ նշվում է, որ թեստավորումն ավարտվել է և երևում է հաղորդագրություն թեստավորվողի հավաքած միավորների վերաբերյալ (նկ. 12):



Նկ. 12

Մեղմելով «**հանձնվել**» կոճակը, համակարգն ավտոմատ պատասխանում է ընթացիկ հարցին (Նկ. 13):



Նկ. 13

Ուսումնական հաստատությունների վարկանիշը չափվում է ոչ միայն դասավանդման ընդհանուր մակարդակով և ճանաչված դասավանդողներով, այլև սովորողների գիտելիքների վերահսկման համակարգի արդյունավետությամբ:

Մեր հեղինակած թեստավորման համակարգը հետապնդում է 2 նպատակ՝ ոչ միայն ուսուցիչն է ստուգում աշակերտի գիտելիքները, այլ

նան աշակերտն ինքն է ստուգում իր գիտելիքները, հնարավորություններն ու կարողությունները (սա ուսուցանում թեստավորմամբ ճշուրդում):

Գնահատման ավտոմատացված համակարգերը բազմազան են: Սակայն այդ համակարգերում հիմնականում տեղ են գտնում պարզագույն թեստերի ստեղծման ադապտիվ ալգորիթմներ: Այդպիսի համակարգերում ցանկալի է, որ լինեն գրաֆիկական և այլ պատկերազարդ հարցեր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Խուրլարյան Ն., Հարությունյան Հ.* Организация тренинга в системах электронного обучения, Մխիթար Գոշ, Վանաձոր, 2010թ. N 3, էջ 162–164:
2. *Виштан О.В.* Критерии создания электронных учебных материалов. Педагогика. 2003. № 8.
3. *Герасимова Г.* Компьютерное тестирование на уроках информатики, Информатика и образование. 2006. № 9.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ФОРМАТОВ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Н.Н. Хубларян

ВГУ, каф. ИЭММ, преп.

Г.Т. Манукян

ВГУ, отд. упр. и обслуж. эл. обуч. тех.

n_khublaryan@mail, rugormal 93@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В Армении набирает силу использование электронных технологий в процессе обучения, особенно в плане тестирования знаний. Эти технологии используются в тематических школьных, вступительных экзаменах, опросах при трудоустройстве и многом другом. Системы тестирования имеют разные алгоритмы. Сегодня распространены адаптивные алгоритмы. Тестовые вопросы могут быть разных форматов, что делает процесс тестирования интересным. Мы изучили различные форматы запросов и разработали нашу собственную систему.

Ключевые слова: тесты, обучение, электронное система, знание, проверка.

ФИЗИКА

РАЗРАБОТКА И РАЗВЕРТКА АВТОНОМНЫХ СТАНЦИЙ ВИДЕОМОНИТОРИНГА

В.Г. Аветисян, С.Г. Эйрамджян, П.Г. Агасарян

Российско-Армянский университет

avahan@mail.ru, eyrsuren@yahoo.com, pagasar@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрен процесс разработки на основе солнечных панелей, автономных станций видеомониторинга окружающей среды и установки на территории национального парка «озеро Арпи». Рассмотрены также программно-аппаратные средства компании Hikvision для организации на базе сетей LTE удаленного беспроводного видеонаблюдения на мобильных устройствах.

Ключевые слова: видеонаблюдение, солнечные панели, 4G, LTE.

Введение

В настоящее время проблема охраны окружающей среды в Армении является чрезвычайно актуальной. Особое место в данной проблеме занимает вопрос браконьерства, и, как следствие, возникновение угрозы исчезновения некоторых видов животных. Решением указанной проблемы может стать применение автономных станций видеомониторинга окружающей среды. В рамках данного проекта, объектом нашего внимания стал национальный парк «Озеро Арпи». Согласно требованию Заказчика (некоммерческая организация озеро Арпи), были разработаны и установлены ав-

тономные станции видеомониторинга окружающей среды, которые обеспечивают рейнджеров национального парка возможностью мониторинга территории заповедника через стационарные ПК или мобильные устройства в круглосуточном режиме. Данное решение является важным фактором в быстром реагировании и предотвращении ущерба, наносимого браконьерами, но что не менее важно, специалисты теперь имеют возможность изучать состояние, а также динамику изменения популяций редких видов животных, обитающих на территории национального парка. В данной статье подробно рассмотрен процесс разработки, установки и ввода в эксплуатацию станций видеомониторинга.

Материал и методы

В процессе выполнения проекта стояла необходимость разработки 2-х типов станций – с поворотными камерами, которые устанавливались бы на берегу озера и обеспечивали обзор значительной части побережья, и со стационарными камерами, позволяющими осуществлять наблюдение за фиксированными зонами.

Исходя из специфики местоположения размещения (отсутствие источников электропитания и кабельного интернет-канала) было принято решение для обеспечения автономности станции, в качестве источника питания использовать солнечные панели и аккумуляторы для резервного электропитания, а в качестве средства обеспечения сети интернет – роутеры Huawei B310s с поддержкой стандарта беспроводных сетей 4GLTE. Ниже представлена схема подключения (*Рисунок 1*).



Рисунок 1. Схема подключения станции (станция с поворотной камерой).

В силу своих достоинств по отношению к поликристаллическим (более высокий КПД, надежность, долговечность) [1] для построения системы были выбраны солнечные панели монокристаллического типа. Для различных типов станций были выбраны солнечные панели со следующими характеристиками (Таблица 1):

Таблица 1. Параметры монокристаллических солнечных панелей для 2-х типов станций – с поворотными и фиксированными камерами.

Параметр	Станция с фиксированными камерами	Станция с поворотными камерами
Номинальная мощность Вт	285	325
Выходное напряжение открытой цепи В	41	45.53
Ток короткого замыкания А	9.4	9.29
Напряжение при номинальной мощности В	32.5	37.03
Ток при номинальной мощности А	8.8	8.82

В системах автономного электроснабжения вводятся устройства, которые отключают нагрузку от аккумуляторных батарей если они недопустимо разряжены, а также отключают источник энергии (фотоэлектрическую батарею, ветротурбину и т.п.) если аккумуляторы заряжены [2]. В данном случае это контроллер заряда, работающий по технологии МРРТ (Maximum Power Point Tracking – Отслеживание Точки Максимальной Мощности), которая позволяет получать максимальную мощность на выходе фотомодулей, путем анализа вольтамперной характеристики и последующего подбора подходящего значения нагрузки. Контроллер заряда имеет 1 вход для подключения источника питания (солнечных панелей), 1 вход/выход для подключения накопителей заряда (аккумуляторов) и 1 выход для подключения нагрузки.

В станциях были использованы аккумуляторные батареи, изготовленные по технологии AGM (Absorbent Glass Mat). Классический свинцово-кислотный аккумулятор – это корпус, разделённый на отсеки, в которые залит электролит – раствор серной кислоты, и в этот раствор погружены пластины, разделённые сепараторами – микропористым пластиком, между положительными и отрицательными пластинами протекает ток. Технология AGM использует пропитанный жидким электролитом пористый наполнитель отсеков корпуса из стекловолокна. Микропоры этого материала заполнены электролитом не полностью, что позволяет использовать свободный объем для рекомбинации газов. В числе главных преимуществ данных аккумуляторов – конструкция, не требующая обслуживания; клапанная регулировка, которая предотвращает утечку кислоты и, как следствие, коррозию клемм; более безопасная работа – при корректной зарядке батарей исключается возможность выделения газов и опасность взрыва.

Расчет емкости аккумуляторов исходил из необходимости обеспечения до 2-х дней автономной работы для станций со стационарными камерами и до 1 дня для станций с поворотными камерами и ведения круглосуточной записи, в условиях отсутствия солнечного света. Расчет производился по формуле 1:

$$C = W \times T \times 100, \quad (1)$$

где C – емкость в аккумуляторной батарее в А/ч, W – значение подключенной нагрузки в кВт, T – время автономной работы в ч.

Имея нагрузку 13 Вт. в станциях с стационарными камерами (7 Вт – камера, 5 Вт – LTE роутер) для обеспечения 48 часов автономной работы, было получено значение емкости аккумулятора – 62.4 А/ч. В данном случае был использован 1 аккумулятор со значением емкости 70 А/ч.

При нагрузке в 65 Вт. в станциях с подвижными камерами (60 Вт – камера, 5 Вт – LTE роутер) для обеспечения 24 часов автономной работы, было получено значение емкости аккумулятора – 156 А/ч. В данном случае было установлено 2 аккумулятора, каждый со значением емкости 100 А/ч. При суммарной емкости аккумуляторных батарей в 200 А/ч, расчетное время автономной работы станции – 30ч.

Система видеонаблюдения схематично состоит из сетевого видеорежистратора с подключенными жесткими дисками, а также камер, подключаемых через кабель типа витая пара или беспроводную сеть интернет к сетевым портам регистратора. В данном случае к каждой камере подключен 4GLTE роутер HuaweiB310s с предустановленной SIM картой, имеющей статический IP адрес. Видеорежистратор при этом был расположен в административном здании, и, в свою очередь, подключен к сети Интернет. Таким образом, коммутация сетевого видеорежистратора и сетевых камер происходила через сеть Интернет. В процессе настройки, в программном обеспечении видеорежистратора прописывались заранее известные IP-адреса каждой камеры, что позволяло вести круглосуточную запись видеопотока непосредственно на видеорежистратор

Ниже приведены образцы собранного монтажного ящика с активным оборудованием (*Рисунок 2*), а также собранной рабочей станции (*Рисунок 3*).

В рамках данного проекта на территории национального парка было установлено 11 автономных станций, расположение которых изображено на рисунке 4. Места расположения станций были заранее обговорены с Заказчиком и исходили из необходимости обеспечения видеонаблюдения зон привычного обитания характерных для данного района редких видов животных.



Рисунок 2. Монтажный ящик с активным оборудованием – контроллер заряда, LTE роутер Huawei B310s, AGM аккумулятор Varta 12В 70А/ч.



Рисунок 3. Установленная автономная станция видеомониторинга окружающей среды.

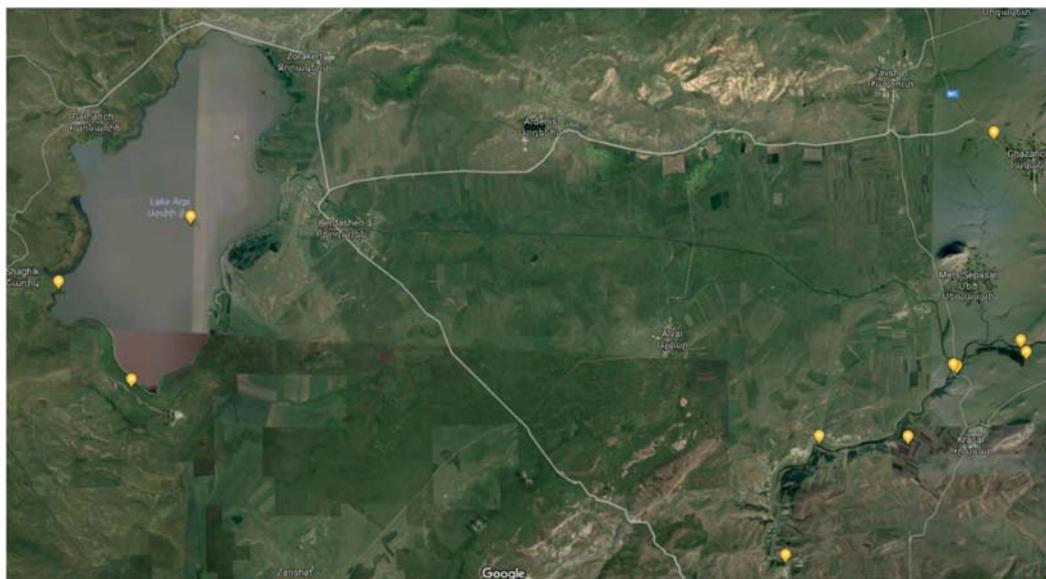


Рисунок 4. Схема расположения станций (указаны оранжевыми метками).

Станции были введены в эксплуатацию 29 августа 2018 года, и с тех пор ведут круглосуточный мониторинг и запись в штатном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грабовецкая К.А., Жиленко Д.М., Макаренко В.А., Рогозина Д.А., Хворова Т.С., Артамонова Е.Ю.* Обзор солнечных панелей для систем автономного питания // Молодой ученый. 2016. № 22.3. СС. 29–32.
2. *Козюков Д.А., Цыганков Б.К.* Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей солнечных фотоэлектрических установок.

DEVELOPMENT AND INSTALLATION OF AUTONOMOUS VIDEOMONITORING STATIONS

V. Avetisyan, S. Eyranyan, P. Aghasaryan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

The article describes the process of design and implementation of autonomous video monitoring stations, installed on territory of the national park “Arpi Lake”. There are also considered software and hardware systems of Hikvision company which allow to organize remote wireless video surveillance based on LTE networks, on mobile devices.

Keywords: Video surveillance, solar panels, 4G, LTE.

РАЗРАБОТКА ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ МІМО В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

А.К. Агаронян, Х.С. Хачатрян, Г.З. Сугян

*Российско-Армянский университет,
Ереванский научно-исследовательский институт средств связи*

aharaharonyan@gmail.com, khachatryan.khach@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной работе предлагается структурная схема системы для определения местоположения объекта или объектов, в которой используется технология МІМО. Применена данная технология, так как имеет ряд преимуществ: улучшение пропускной способности, при этом не расширяя частотную полосу; высокая скорость передачи информации; улучшение качества передаваемого сигнала.

Ключевые слова: МІМО система, антенна МІМО, смеситель вниз, смеситель вверх.

Введение

Аббревиатура **МІМО** раскрывается как **Multiply Input Multiply Output** – множественный вход и множественный выход. МІМО – это технология пространственного кодирования сигнала, которая дает возможность увеличить полосу пропускания канала, используя систему, состоящую из двух или более антенн для приема и передачи сигнала от излучателя [1–3]. В системах беспроводной связи технология МІМО играет ключевую роль в улучшении скорости передачи данных и пропускной способности канала. Чтобы в полной мере использовать технологию МІМО желательно реализовать как можно больше антенн, например, 2x2 МІМО, 4x4

MIMO, 1x2MIMO, 3x2MIMO и т.д [4]. На рисунке 1 изображена блок-схема MIMO-системы.

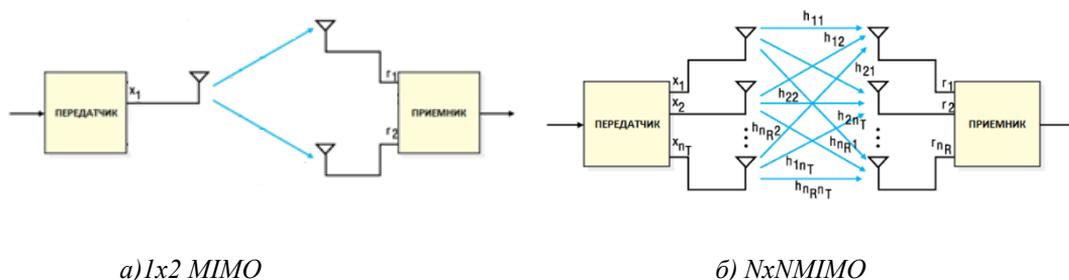


Рис. 1. Блок-схема системы MIMO.

Материал и методы

Целью данной работы является разработка системы мониторинга за объектом, которая строится на основе MIMO-технологии, а именно: 1x2 MIMO. Структурная схема предлагаемой системы изображена на рисунке 2, где одна излучающая антенна установлена на движущемся объекте, а остальные два – уже на приемной части системы.

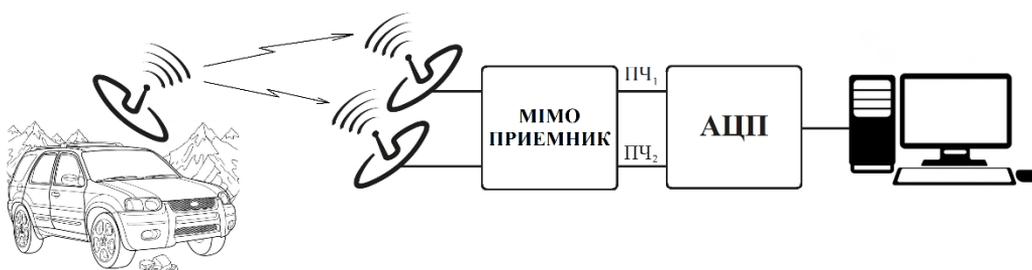


Рис. 2. Структурная схема предлагаемой системы мониторинга за движущимся объектом.

Принцип работы системы таков, что в движущемся объекте установлена антенна и смеситель вверх (схема смесителя вверх изображена на рисунке 3). Антенна, установленная на объекте, излучает в течение времени.

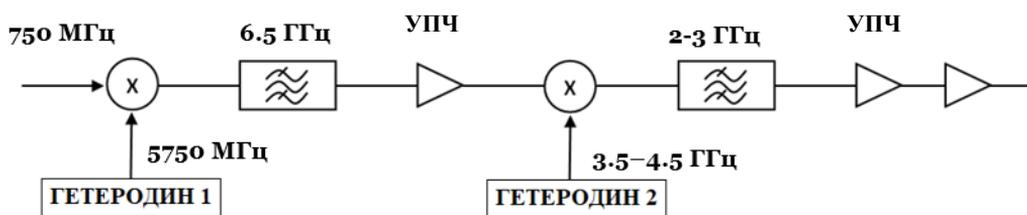


Рис.3.Схема смесителя вверх.

В приемной части установлена система антенн ММО, которая, в свою очередь, состоит из смесителя вниз (рисунок 4), далее установлен аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), оцифрованный сигнал передается на персональный компьютер (ПК), а отображение движения объекта наблюдается на мониторе (см. рисунок 2).

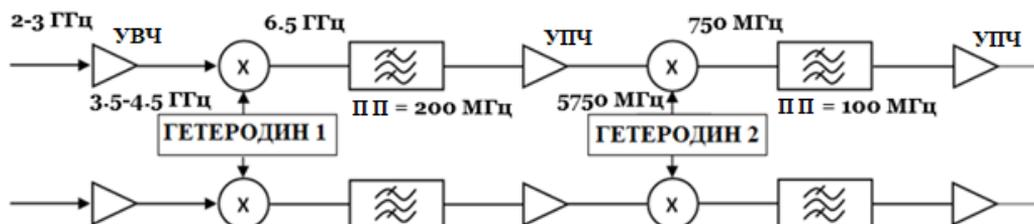


Рис. 4. Схема смесителя вниз.

Смесители состоят из усилителя высокой частоты (УВЧ), смесителя, гетеродина, фильтра промежуточной частоты и усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Если объект равноудален от антенн, сигнал принимается антеннами в одно и то же время, в обратном случае сигнал будет принят раньше той антенной, которая расположена ближе к объекту, и лишь с некоторой задержкой Δt будет принят на второй антенне. Соответственно, если сигнал при-

нут антеннами в разное время, то они будут отличаться друг от друга фазами. После приема сигнала по разным каналам системой ММО, сигнал оцифровывается и передается на персональный компьютер, где, используя данные параметры, а именно: момент приема сигнала, разность фаз сигнала, уровень принимаемого сигнала, а так же положение антенн, производится определение положение объекта.

Антенны данной системы излучают в диапазоне от 2,4 ГГц до 2,8 ГГц, поэтому для передачи сигнала на движущемся объекте используется смеситель вверх. А после приема высокочастотного сигнала и для дальнейшей его обработки на аналогово-цифровом преобразователе, на приемном конце перед АЦП в системе ММО используется смеситель вниз.

Заключение

В заключении можно сделать вывод, что система ММО оправдала себя как перспективная технология в системах, где нужны высокие скорости передачи, либо подавление эффекта замирания сигнала широкополосного радиодоступа со скоростями в сотни Мб/с. В данной работе была представлена система использующая технологию ММО, которая дает возможность определить координаты движущегося объекта в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zekry A., Ghoname R.* Internatioanl journal of computer applications // “Design of a planar MIMO Antenna”, April 2015.
2. *Ingason T., Göteborg L.-H.* Line-of-Sight MIMO for Microwave Links Adaptive Dual Polarized and Spatially Separated Systems, master of Science thesis in communication engineering, Department of Signal and Systems, Chalmers University of Technology – Sweden, 2009. P.117.
3. *Слюсар В.* Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2005. № 8. СС. 52–58.
4. *Летов И.* Multiple Input Multiple Output [Эл. ресурс] Режим доступа: <http://celnet.ru/mimo.php>

DEVELOPMENT OF THE RECEIVING-TRANSMITTING MODULE USING THE MIMO TECHNOLOGY IN THE CENTIMETER RANGE

A. Aharonyan, K. Khachatryan, G. Sugyan

*Russian-Armenian University
Yerevan Telecommunication Research Institute*

aharaharonyan@gmail.com, khachatryan.khach@gmail.com

ABSTRACT

This paper proposes a block diagram of a system for determining the location of an object or objects using MIMO technology. This technology has been applied, as it has a number of advantages: improved throughput, while not expanding the frequency band; high speed information transfer; improving the quality of the transmitted signal.

Keywords: MIMO system, antenna MIMO, down converter, up converter.

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА (ZnO)

О.Л. Айвазян¹, Р.К. Овсепян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет РАУ

²Институт физических исследований ИФИ

aganyes@gmail.com

АННОТАЦИЯ

На основе разработанной технологии локального диффузного легирования определенных участков пленки ZnO донорной (Ga) и акцепторной (Li) примесью созданы диоды с $p-n$ переходами. Исследование фотоэлектрических свойств пленок ZnO с акцепторной примесью ионов лития. Ставятся эксперименты по получению пленок с p -типом проводимости. С использованием пленок p -типа $ZnO:Li$ и $n-ZnO:Ga$ будут созданы $p-n$ -переходы. Сначала будут изучены фотоэлектрические характеристики полученных $p-n$ -переходов и механизм переноса носителей заряда в этих пленках, влияние отжига на тип и механизм проводимости.

Ключевые слова: солнечный фотоэлемент ультрафиолетового излучения, космического и высокогорного применения, тонкопленочный, легированный оксид цинка.

Введение

ZnO -пленки широкозонные полупроводники n -типа. Известно также, что легирование ZnO различными элементами, позволяет получать пленки с новыми интересными оптическими и электрическими свойствами. Например, легирование $ZnO:Li$, Al , Ga или F увеличивает проводимость пленки без ухудшения пропускания в видимой области, легирование ионами Li увеличивает его удельное сопротивление. При соответствующей технологии легирования [1], можно получить пленки $ZnOp$ -типа, на основе только пленок ZnO можно создать $p-n$ -переходы [2]. Использование как чистых, так и

легированных пленок ZnO в качестве материала для создания УФ – фотоприемников рассматривается в [3,4]. В полупроводниках существуют два механизма переноса заряда: перенос заряда в зоне проводимости из-за дрейфа носителей и перенос заряда носителями, возбужденными в локализованные состояния вблизи уровня Ферми в зоне примесной проводимости.

Эксперимент

Для изготовления СЭ на основе пленок ZnO , исследованы электрические и фотоэлектрические свойства пленок ZnO легированных литием или галлием. Проведены исследования механизмов проводимости для постоянного и переменного токов. Кроме создания СЭ, полученные результаты могут быть использованы для создания УФ–фотоприемников. Легированные литием ZnO , могут быть использованы в качестве основного чувствительного слоя гетероструктуры.

В качестве подложек использовался монокристаллический сапфира с размером $20 \times 30 \text{ мм}^2$ и ориентацией (0001). Пленки ZnO были получены методом электронно-лучевого вакуумного напыления. Они имели ориентацию [0001] перпендикулярно плоскости подложки. На каждой подложке были получены фотоэлемент с площадью 1 см^2 . В качестве омических контактов к $p-CuInSe_2$ использовался металлический молибден $Mo/CuInSe_2$, а к $Ag/n-CdS$, полученный контакт Ag/CdS проходил электрическое формирование. Металлические контакты (2–4) шт. были выведены на сапфировую подложку. Этот метод напыления приводит к созданию пленок с дефицитом кислорода, поэтому проводился дополнительный отжиг пленок на воздухе для насыщения кислородом. Такой отжиг приводит к уменьшению кислородных вакансий и, как следствие, к уменьшению донорных центров. Мишени для напыления изготавливались методом твердофазного синтеза с добавлением донорной примеси Ga или акцепторной примеси Li.

Измерения фотопроводимости и времени релаксации фотопроводимости проводились модулированным оптическим излучением при постоянном напряжении смещения. В качестве источника УФ излучения использовалось излучение светодиода L-7113UV ($h\nu = 3.14 \text{ эВ}$), интенсивность ко-

того на поверхности пленки составляла 5.2 мВт/см^2 . В качестве омических контактов на поверхность пленки ZnO наносился металлический алюминий, и таким образом создавалась планарная структура МПМ.

Для определения зависимости удельного сопротивления пленок по длине образцов и величины падения напряжения на контакте Al-полупроводник применялся метод движущегося зонда. Сбор данных и управление экспериментом осуществлялись с помощью системы DAQ-board фирмы “National Instruments”. Холловская подвижность измерялась методом Ван-дер-Пау при напряженности магнитного поля 1–2 Т. Кристаллическое качество, и ориентация пленок оценивались с помощью дифрактометра “DRON-3” с использованием излучения $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=0.1542 \text{ нм}$) [5, 6].

Измерения фотопроводимости при постоянном токе проводились при фиксированном напряжении смещения ($\pm 160 \text{ В}$). Измерения фотопроводимости на переменном токе в диапазоне $10^2 \div 10^4 \text{ Гц}$ проводились с мостовой схемой, а в более высокочастотном диапазоне ($5 \times 10^4 \div 3 \times 10^8 \text{ Гц}$) с использованием Q-метром (E4-7, E4-11)[7].

Результаты исследования

Полученная планарная структура металл-полупроводник Al-ZnO:Li, имела линейную ВАХ обусловленную омическим характером контакта. Барьера Шоттки, в котором преобладает компонент термоэлектронной эмиссии тока над туннельной компонентой, можно оценить высоту барьера Φ_D из выражения для омического контакта с удельным сопротивлением R_C [8]:

$$R_C = (k/qA^{**}) \exp(\Phi_D/kT) \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; A^{**} – эффективный коэффициент Ричардсона, q – заряд электрона. Коэффициент Ричардсона можно получить из уравнения: $A^* = 4\pi q m^* k^2 / h^3$, $A^{**} = A^* m^*$, где $m^* \approx 0,27$ [9] – эффективная масса носителя заряда (предполагается, что величина эффективной массы носителя заряда не зависит от концентрации лития).

Для ZnO пленок A^{**} оценивается приблизительно $\sim 35 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$. Измеренное значение удельного сопротивления омического контакта $Al-ZnO:Li$ составляет $R_c = 0,009 \text{ Омсм}^2$. Высота барьера Шоттки Φ_D была определена равной $0,42 \text{ эВ}$ для темнового тока.

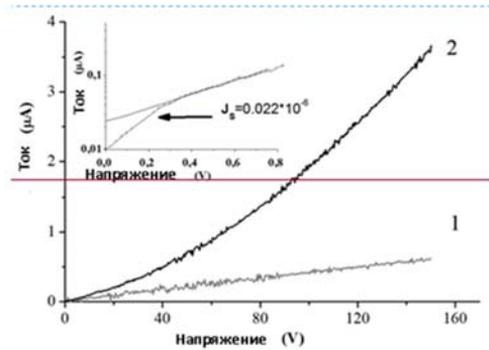


Рисунок 1. Вольт-амперная характеристика в структуре $Al-ZnO:Li-Al$.

На рис. 1 показана вольт-амперная характеристика в плоской структуре $Al-ZnO:Li-Al$ ($Li-0,8$ ат.%) для темновой проводимости (кривая 1) и фотопроводимости (кривая 2). В обоих случаях характеристики ВАХ симметричны для положительных и отрицательных напряжений, поэтому показаны только положительные ветви. Темновая ВАХ линейная, это означает омический характер контактов с малой высотой барьера. Характеристики световой ВАХ, имеет экспоненциальное поведение, что свидетельствует о существовании барьера Шоттки со значительной высотой Φ_{ph} . Можно вычислить высоту барьера Шоттки из выражения:

$$J_s = A^{**} T^2 \exp(-\Phi_{ph} / kT) \quad (2)$$

Ток насыщения J_s определяется по графику ВАХ на полулогарифмическом масштабе (вставка на Рис.1). Пересечение линии прямой линии с осью I дает значение тока насыщения $J_s = 0,022 \times 10^{-6} \text{ A}$, что соответствует плотности тока ($5 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2$). Таким образом, высота барьера Шоттки равна $\Phi_{ph} = 0,98 \text{ эВ}$.

На рис. 2 показана величина фототока в зависимости от интенсивности УФ-облучения, использовался светодиод L-7113UV ($h\nu = 3.14 \text{ эВ}$),

оптическое излучения плавно возрастало в диапазоне $0 \div 200 \text{ мкВт/см}^2$. Фотоотклик рассчитывался по формуле ($M = I/W$), где I – ток, W – мощность УФ-излучения. Полученные на основе эксперимента (рис. 2), величина фотоотклика, приведенное на единичной поверхности образца, составлял примерно $0,017 \text{ А/Вт}$. Величина фотоотклика, для различных образцов варьировалась в диапазоне $M = 0.017 \div 0,02 \text{ А/Вт}$.

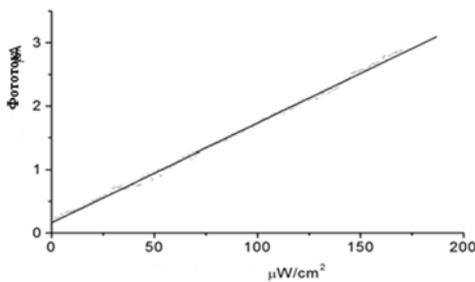


Рисунок 2. Зависимость фототок от интенсивности УФ-излучения в структуре $\text{CdS/ZnO:Li/CuInSe}^2$.

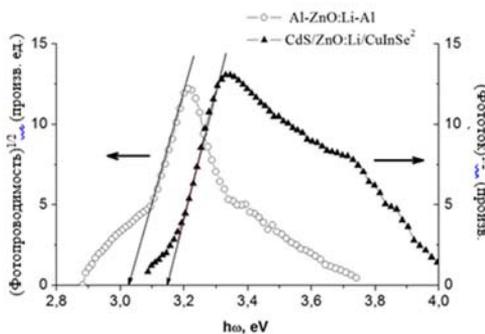


Рисунок 3. Спектральные зависимости тока фотопроводимости для планарной структуры Al-ZnO:Li-Al фототока вертикальной гетеро-структуры $\text{CdS/ZnO:Li/CuInSe}^2$.

На рис. 3 показаны спектральные зависимости тока фотопроводимости для планарной структуры Al-ZnO:Li-Al и фототока вертикальной, гетероструктуры $\text{CdS/ZnO:Li/CuInSe}^2$ пленка ZnO:Li выполняет роль i -слоя.

Спектральная зависимость фотопроводимости позволила определить энергию активации для фотопроводимости ($\sim 3,15$ эВ), а спектральная зависимость тока фототока позволила оценить энергию уровня Ферми. Разница между этими значениями определяет высоту барьера Шоттки. Здесь необходимо отметить, что пленка ZnO: Li имеет зазор между энергетической зоной $\sim 3,33$ эВ [8]. Поэтому, когда энергия фотона превышает энергию запрещенной зоны, $h\nu > E_g$, происходит генерация электронно-дырочных пары.

Фототок возникает, если энергия фотона превышает барьерное значение p - n перехода $CdS/CuInSe_2$, $h\nu > \Phi_{ph}$, тогда электроны возбуждаются и вводятся в зону проводимости полупроводника [10].

Выводы

Исследованы легированные Li пленки ZnO, которые предназначены для использования в гетероструктурах $CdS/ZnO:Li/CuInSe_2$ для высокоэффективного преобразования УФ излучения. Исследована зависимость фототока гетероперехода от энергии фотона. Получено высокоэффективное преобразование фотонов в спектральном диапазоне (3,4÷3,8) эВ. Исследованные гетероструктуры с использованием разработанной технологии пленок ZnO:Li, позволяют создать солнечные элементы, предназначенные для использования в высокогорных областях и на космических аппаратах.

Исследованная структура показала высокий коэффициент в области от 3.1 до 3.6 эВ т.е. от 0,387 мкм до 0,345 мкм для преобразования видимого и ближнего ИК излучения необходимо создать структуры p - i - i - n с двумя или тремя i слоями для УФ видимого и ИК излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamamoto T. Codoping for the fabrication of p-type ZnO, Thin Solid Films, 420/421, 100–106, 2002.
2. Bian M., Li X.M., Zhang C.Y., Chen L.D., Yao Q., Appl. Phys. Lett., 84, 3783–3785, 2004.
3. Sharma P., Sreenivas K., Rao K.V.J., Appl. Phys., 93, 3963, 2003.

4. Yang W., Hullavarad S.S., Nagaraj B., Takeuchi I., Sharma R.P., Appl. Phys. Lett., 82, 3424–3429, 2003.
5. Aghamalyan N.R., Ghambaryan I.A., Goulanian E.Kh., Hovsepyan R.K., Kostanyan R.B., Petrosyan S.I., Vardanyan E.S., Zerrouk A.F., Semicon. Sci. and Technol., 18, 525–529, 2003.
6. Aghamalyan N.R., Goulanian E.Kh., Hovsepyan R.K., Vardanyan E.S., Zerrouk A.F., Physica Status Solidi (a), 199, 425–430, 2003.
7. Aghamalyan N.R., Hovsepyan R.K., Poghosyan A.R., Proceedings SPIE, 5520, 161–167, 2004.
8. Sze S.M., Physics of Semiconductor Devices, Berlin-New York, Wiley&Sons, 264, 1981.
9. Hummel R.E., Electronic Properties of Materials Springer Berlin 373, 1992.
10. Bube R.H., Photoelectronic Properties of Semiconductors, Cambridge, Cambridge University Press, 318, 1992.

PHOTOCONDUCTIVITY OF HETEROSTRUCTURES BASED ON ZINC OXIDE

H. Ayvazyan¹ R.K. Hovsepyan^{1,2}

¹*Russian-Armenian University*

²*Institute for Physical Research IPR*

aganyes@gmail.com

Investigated photoelectric properties of ZnO film with lithium acceptor impurity, received with electron-beam deposition. Received films with *p*-type conductivity. Created *p-n* junctions with *p*-type ZnO:Li and *n*-type ZnO:Ga films. A compensated ZnO: Li semiconductor was used as a photovoltaic cell *i*-layer, lithium ions are used as acceptor impurities, and as donor impurities are used oxygen vacancies. Investigated photoelectric characteristic of that *p-n* junctions and transfer mechanism. Investigated impact of annealing on transfer mechanism.

Keywords: ultra-violet solar cell, cosmic and high mountainous application, thin films, zinc oxide doping.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК CdTe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ

Геворкян В.А.¹, Аводжян К.Э.², Мангасарян Н.Р.¹, Саакян П.М.¹

¹Российско-Армянский университет

²Институт радиофизики и электроники НАН РА

vladimir.gevorgyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена разработке методики получения тонких пленок CdTe с помощью модифицированного метода вакуумного термического дискретного испарения. Исследованы влияние послеростового термоотжига на наноструктурные характеристики морфологии поверхности пленок CdTe. Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) определены характер зернистости поверхности пленок, гистограмма их распределения и шероховатость поверхности пленок CdTe до и после термической обработки.

В данной работе по спектрам пропускания и отражения с интерференционными эффектами (область слабого поглощения ($\hbar\omega < E_g$)) конвертным методом определены такие важные оптические параметры пленок CdTe как показатель преломления $n(\lambda)$, коэффициент поглощения $\alpha(\lambda)$, показатель поглощения $k(\lambda)$. В области сильного поглощения ($\hbar\omega > E_g$) определены значения коэффициента поглощения $\alpha(\lambda)$ и ширина запрещенной зоны для пленок, которые подвергались послеростовой термической обработке. Показано, что пленки, полученные методом вакуумного термического дискретного испарения характеризуются высоким совершенством кристаллической, а значения оптических параметров совпадают с оптическими параметрами монокристаллического CdTe.

Ключевые слова: вакуумное термическое испарение, теллурид кадмия, показатель преломления, коэффициент поглощения, показатель поглощения.

Введение

Тонкопленочный теллурид кадмия (CdTe) в настоящее время рассматривается как один из наиболее перспективных полупроводниковых материалов для разработки эффективных тонкопленочных солнечных элементов (СЭ) благодаря оптимальной ширине запрещенной зоны 1.5 эВ и большим значением коэффициента поглощения. В наземных условиях СЭ на основе базового слоя CdTe имеют максимальный среди однопереходных полупроводниковых СЭ теоретический коэффициент полезного действия (кпд) около 30%.

В последние годы в связи с интенсивным развитием рынка фотовольтаических преобразователей (ФВП) важное место начали занимать также и ФВП для портативной электроники на основе гибких и легких подложках.

В настоящее время максимальная эффективность СЭ на основе CdTe достигается при использовании метода сублимации CdTe из ограниченного объема (CSS технология) при высоких температурах подложки 550°C – 650°C . Такая технология неприменима для получения СЭ, как на недорогих (низкотемпературных) стеклянных подложках, так и на гибких подложках в качестве которых используются полиимидные пленки, допускающие нагрев лишь до 450°C . Для создания СЭ на гибких подложках необходимо применять низкотемпературные методы осаждения не только пленок CdTe , но и всех остальных гетероструктурных слоев СЭ.

Среди перспективных низкотемпературных методов для производства СЭ на основе CdTe наиболее приемлемыми являются методы магнетронного распыления [1] и физического вакуумного испарения [2]. Из этих двух методов наилучшие результаты получены с использованием метода вакуумного термического испарения, так как этот метод обеспечивает возможность формирования более совершенных и более бездефектных слоев по сравнению с методом магнетронного распыления.

Несмотря на отмечанные выше положительные особенности метода вакуумного термического испарения данным методом трудно получать пленки полупроводниковых соединений A_2B_6 строго стехиометрического состава и высоким совершенством кристаллической из-за большого отличия парциальных давлений исходных компонентов A_2 и B_6 групп. Более

приемлимым для получения пленок соединений A_2B_6 представляется разработанный нами модифицированный метод вакуумного дискретного испарения. Однако, несмотря на привлекательность данного метода, для получения пленок стехиометрического состава, в литературе очень ограниченное количество работ посвящено применению этого метода для осаждению тонких пленок халькогенидных соединений, в частности CdS и CdTe [3–5]. В связи с вышеизложенным весьма актуальным представляются исследования по получению пленок CdTe методом вакуумного дискретного испарения и изучения их характеристик.

Методика эксперимента

- Экспериментальная установка для осаждения пленок CdTe методом вакуумного дискретного испарения

Для осаждения пленок CdTe нами впервые использовался разработанный модифицированный метод вакуумного дискретного испарения. Устройство состоит из бункера для размещения частиц испаряемого материала для порционной и контролируемой подачи частиц CdTe в предварительно нагретый испаритель.

- Методика получения пленок CdTe

Пленки CdTe осаждались на предварительно очищенные стеклянные подложки. Процесс испарения проводился в вакуумной камере при давлении $1.5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. В качестве исходного материала использовались кристаллический CdTe с чистотой 99.999% с размерами частиц 50 - 100 мкм. Подача частиц исходного материала осуществлялась дискретными порциями. Подача каждой следующей новой порции частиц исходного материала проводилась только после полного испарения всех частиц, содержащихся в тигле. Температура подложки задавалась и контролировалась с помощью резистивного нагревателя.

Полученные результаты и их обсуждение

- Результаты исследований морфологии поверхности пленок CdTe.

Исследованы влияние послеростового термоотжига на наноструктурные характеристики поверхности пленок CdTe. Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) определены характер зернистости поверхности пленок CdTe, гистограмма их распределения и шероховатость поверхности. Результаты этих исследований, представленные на рис.2 показывают, что разработанный метод вакуумного дискретного испарения позволяет получать крупнозернистые пленки CdTe с средними размерами зерен около 0,7 мкм, которые получаются только с помощью высокотемпературной CSS технологии.

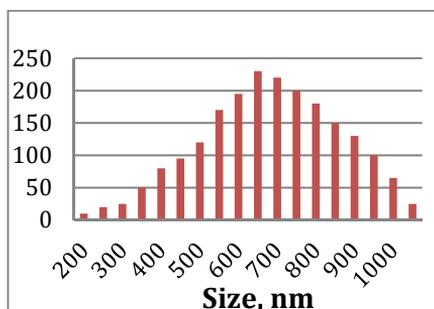
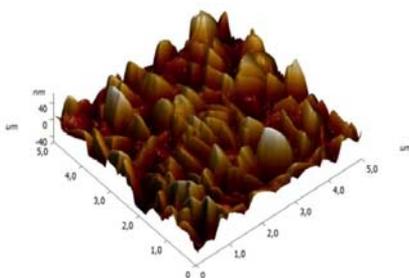


Рис.1. АСМ изображения и гистограмма распределения зернистости поверхности пленок CdTe после термообработки при температуре 350°C.

- Результаты исследований оптических характеристик пленок CdTe

Нами по спектрам пропускания и отражения с интерференционными эффектами (область слабого поглощения) (рис.2) конвертным методом [6] определены такие оптические параметры пленок CdTe как, показатель преломления $n(\lambda)$, показатель поглощения $k(\lambda)$, коэффициент поглощения $\alpha(\lambda)$, представленные на рис. 3. Исследованы влияние технологических условий роста пленок на эти оптические характеристики.

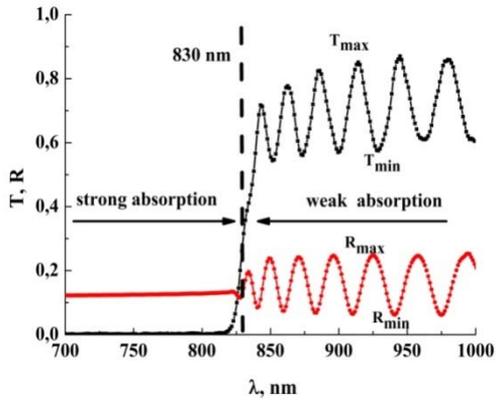


Рис.2. Спектры пропускания и отражения с интерференционными эффектами (область слабого поглощения $h\nu < E_g$) пленок CdTe.

В области сильного поглощения ($h\nu > E_g$) определены значения коэффициента поглощения $\alpha(\lambda)$ и ширина запрещенной зоны для пленок CdTe, которые 30 мин. подвергались послеростовой термической обработке на воздухе при температуре 350⁰C (рис.4а и 4б, соответственно).

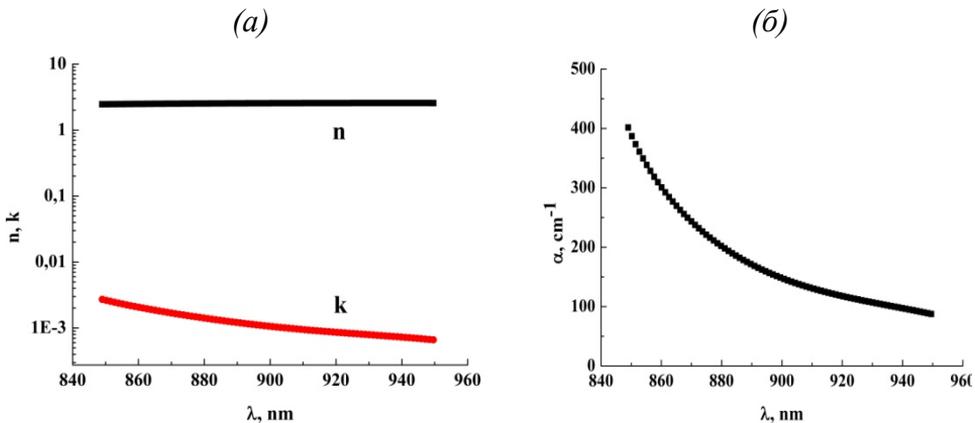


Рис.3. Зависимость показателя преломления $n(\lambda)$, показатель поглощения $k(\lambda)$ (а) и коэффициента поглощения $\alpha(\lambda)$ (б) от длины волны для пленок CdTe в области слабого поглощения ($h\nu < E_g$).

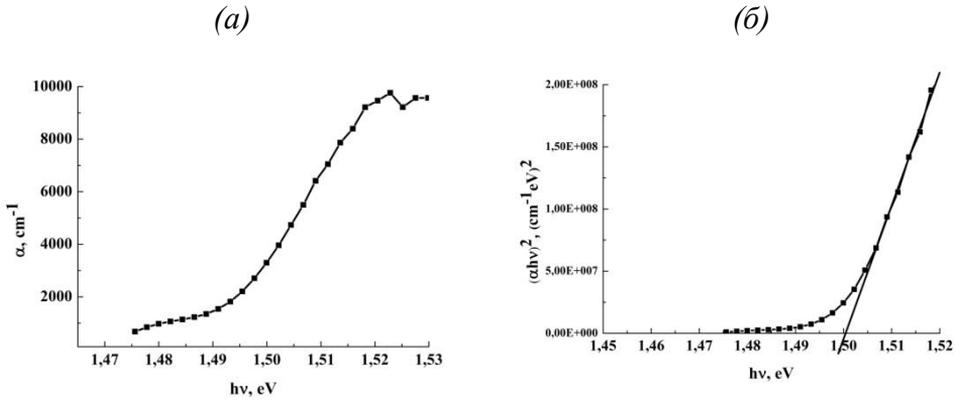


Рис.4. Зависимость коэффициента поглощения $\alpha(\lambda)$ (а) и $(\alpha \cdot \hbar\omega)^2$ (б) от энергии фотона для пленок CdTe в области слабого поглощения ($\hbar\omega < E_g$).

В области края сильного собственного поглощения ($h\nu > E_g$) коэффициент поглощения тонких пленок для прямых разрешенных переходов хорошо описывается формулой [7]:

$$\alpha \cdot h\nu = B \sqrt{(h\nu - E_g)}$$

где E_g – ширина запрещенной зоны полупроводника, $h\nu$ – энергия падающего фотона, B – постоянная. На рис. 4б приведена зависимость величины $(\alpha \cdot h\nu)^2$ от $h\nu$.

Путем метода линейной экстраполяции определялось значение ширины запрещенной зоны пленок CdTe. Полученное значение $E_g = 1,5$ эВ совпадает со значением E_g для объемного монокристаллического CdTe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alvin D. Compaan, Akhlesh Gupta, Sunghyun Lee, Shanli Wang, Jennifer Drayton, Solar Energy, Volume 77, Issue 6, December 2004, PP. 815–822.
2. Salavei A., Rimmaudo I., Piccinelli F., Romeo A. Thin Solid Films 535 (2013) 257–260.
3. Gevorkyan V.A., Reymers A.E., Nersesyan M.N., Arzakantsyan M.A. Journal of Physics: Conference Series 350, 012027 (2012).

4. *Salah Abdulla Hasoon, Issam M. Ibrahim, Raad M.S. Al-Haddad, Shurooq S. Mahmood.* International Journal of Current Engineering and Technology 4(2), 594 (2014).
5. *Gevorgyan V.A., Hakhoyan L.A., Mangasaryan N.R., Gladyshev P.P.* Chalcogenide Letters , Vol. 13, No. 8, August 2016. PP. 331–338.
6. *Swanepoel R.* Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon, J. Phps. E: Sci. Instrum. Vol. 16, 1983. PP. 1214–1222.
7. *Tauc J., Grigorov R., Vancu A.* Physica Status Solidi 15, 627 (1966).

**DETERMINATION OF THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF CdTe
FILMS DEPOSITED BY A VACUUM THERMAL DISCRETE
EVAPORATION METHOD**

V. Gevorgyan¹, K. Avjyan², N. Mangasaryan¹, P.Sahakyan¹

¹*Russian-Armenian University*

²*Institute of Radiophysics and Electronics of NAS RA*

ABSTRACT

This paper is devoted to the development of methods for producing thin CdTe films using a modified method of vacuum thermal discrete evaporation. The effect of post-growth thermo annealing on the nanostructural characteristics of the surface morphology was studied. Using atomic force microscopy (AFM), we determined the nature of the graininess on the surface, the histogram of their distribution and the surface roughness of the CdTe films before and after the thermal annealing. In the present work using the transmission and reflection spectrum with interference effects (weak absorption region ($\hbar\omega < E_g$)) the optical parameters of CdTe films such as refractive index $n(\lambda)$, absorption coefficient $\alpha(\lambda)$, absorption index $k(\lambda)$ are determined by the envelope method. In the region of strong absorption ($\hbar\omega > E_g$), the values of the absorption coefficient $\alpha(\lambda)$ and the energy band gap of thermal annealed CdTe films have been determined. It is shown that the films obtained by the method of vacuum thermal discrete evaporation are characterized by high crystalline perfection, and the values of the optical parameters coincide with the optical parameters of single-crystal CdTe.

Keywords: vacuum thermal evaporation, CdTe, refractive index, absorption coefficient, absorption index.

ОСОБЕННОСТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А.В. Дарьян, С.Р. Тадевосян

Российско-Армянский университет

daryan.ara@gmail.com, tad.sus.94@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной работе были изучены преимущества пятого поколения мобильной связи, рассмотрены проблемы, связанные с потерями мощности сигнала и способы их решения. Рассмотрены технологии реализации сетей 5G. Проведено сравнение потерь мощности в свободном пространстве на различных частотах и расстояниях. Исследованы основные направления развития систем связи следующего поколения.

Ключевые слова: 5G, Массив MIMO, mmWave технология, спектральная эффективность.

1. Введение

Востребованность мобильной связи в различных сферах деятельности требует дальнейшего развития беспроводных технологий – от новых стандартов, таких как 802.11ax и Wi-Gig, до 5G [1]. В первую очередь это связано с увеличением числа пользователей и требованием повышения скорости передачи. На Рис.1 приведён график роста скорости со сменой поколений сетей, а также предположительный рост, который потребуется в 5G. Уже это традиционное требование ставит перед разработчиками сложные технические проблемы. Теснота в эфире требует освоения новых, причём высокочастотных радиодиапазонов, учитывая повышение скорости передачи. При этом, сильное затухание волн миллиметрового диапазона требует повышения мощности передатчиков, что неприемлемо как с технической, так и экономической точек зрения. Поэтому резко встал вопрос разработки

прогрессивных технологий передачи сигналов, в частности, внедрения новых методов модуляции и принципов пространственной селекции. Для достижения целей 5G требуются новые технологии как на физическом, так и на уровне MAC (Media Access Control) [1].

Вместе с тем, современный этап развития сетей отличается тем, что предполагает скачок в технологиях конвергенции сетей, а также некоторых приложений, не свойственных беспроводным сетям. Это эфирное вещание через беспроводные сети, прямая связь между техническими устройствами, в том числе мобильными, системы телеуправления, сбора данных с систем мониторинга и многое другое. Для обслуживания подобных приложений сотовый стандарт 5G должен обеспечить повышение пропускной способности системы, значительное улучшение времени отклика (задержки цифрового сигнала) и, в то же время, снижение энергопотребления.

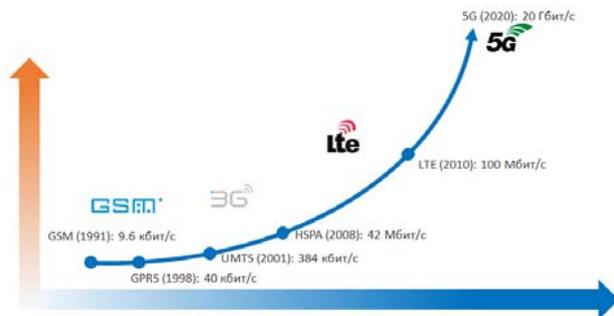


Рис. 1. Эволюция мобильных сетей.

Существует еще много предположений о том, какая именно производительность будет для устройств в каждом из вариантов использования. В целом, сетевые провайдеры и мобильные операторы оценивают примерно в 10 000 раз больше трафика, срока автономной службы батареи до 10 лет и задержки менее 1 мс.

2. Ключевые приложения для 5G

МСЭ (Международный союз электросвязи) и теперь 3GPP определили 3 ключевых приложения для 5G, представленных на рисунке ниже, которые включают мобильную широкополосную связь [1]. В верхней части

рисунка показано, что мобильная широкополосная связь (Enhanced Mobile Broadband) фокусируется на расширении пользовательского интерфейса. Предполагается увеличение пользовательского трафика в 10,000 раз, достижения скорости 100 Мбит/с, а также обеспечение гигабитных скоростей для специальных приложений.

Внизу слева представлено направление развития сетей M2M (Machine-to-Machine)[2], то есть устройств, использующих беспроводную связь для взаимодействия внутри сети и с другими сетями. Предполагается, что эти устройства не требуют обслуживания, то есть работают в автономном режиме. Такими устройствами могут быть датчики, камеры наблюдения или иные устройства, осуществляющие сбор информации, а также осуществляющие дистанционное взаимное управление. Для устойчивой работы таких систем необходимо обеспечить бесперебойное электропитание сроком не менее 10 лет.

Правая часть на Рис.2 справа – это область применения 5G для критически важных приложений, где требуется сверхнадежность и низкая задержка. Это может быть дистанционная система мониторинга или управления наземным или воздушным транспортом. К примеру, международная систем ГМССБ или GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) использующая современные наземные, спутниковые и судовые системы радиосвязи, предполагает использовать 5G для усовершенствования способов аварийной связи.

Требования 5G приводят к значительным изменениям, таким как технология использования миллиметровых волн для достижения более высокой пропускной способности, более низкие ценовые показатели для обеспечения IoT (Internet of Things) и более высокая надежность для обеспечения критически важных беспроводных приложений [2].

Основные положения по стандартизации 5G разрабатывает 3GPP (3rd Generation Partnership Project) – консорциум, организованный в 1998 году для разработки спецификации для мобильной телефонии.



Рис. 2. Сферы применения 5G.

3. Частоты

В своем последнем выпуске МСЭ обновил список частот для мобильной связи. Однако регулирование не является основным ограничением выбора диапазона mmWave. На Рис.3 представлен спектр поглощения радиоволн при распространении в свободном пространстве. Как видно из рисунка, атмосферное поглощение ограничивает использование некоторых полос (пики поглощения). Сочетание правил МСЭ и практических измерений поглощения отражает следующие полосы для сетей следующего поколения: 25, 25–29,5 ГГц, 37–40 ГГц и 66–76 ГГц. Однако даже в рекомендуемых диапазонах есть основные и второстепенные спецификации, которые необходимо учитывать.

На Рис. 4 показаны потери свободного распространения, рассчитанные для разных частот и на разных расстояниях: от 850 МГц до 76 ГГц и от 10 м до 10 км. Фактически некоторые из частот, для которых рассчитывается потеря свободного распространения, находятся в существующих спецификациях некоторых стандартов. Остальные частоты, такие как 38 ГГц или

76 ГГц, являются частотами кандидатов для сети следующего поколения. Сравнивая потери для 850 МГц и 76 ГГц, мы видим, что разница составляет почти 40 дБ, т.е. в 10 000 раз. Очевидно, что повышение мощности не может являться решением данной проблемы.

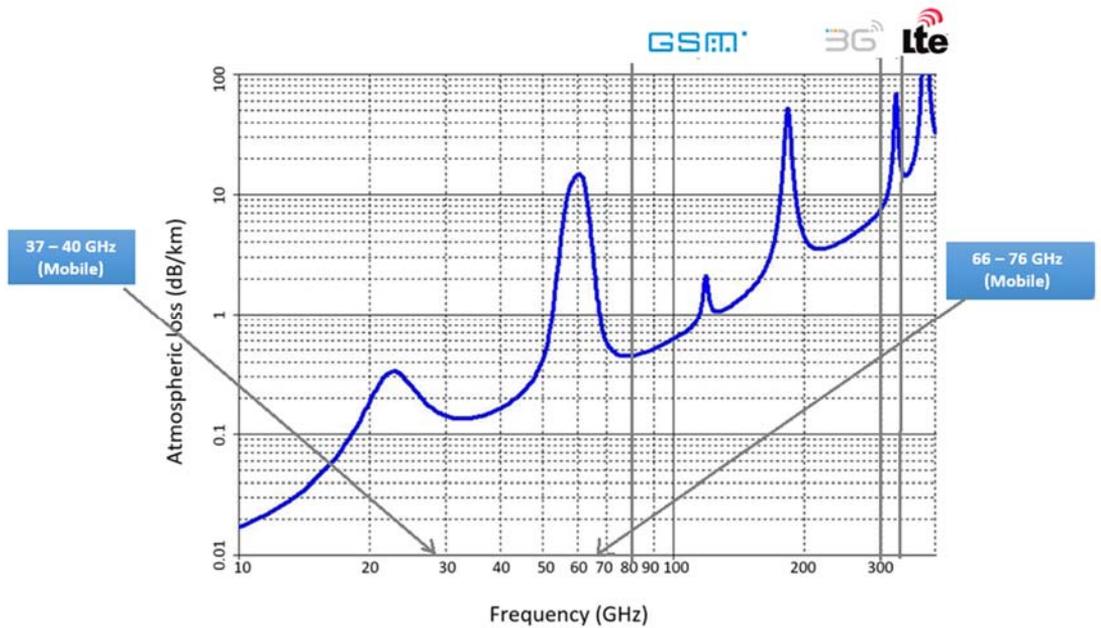


Рис. 3. Спектр потерь при распространении радиоволн в свободном пространстве.

	850MHz	2.4GHz	3.6GHz	28GHz	38GHz	60GHz	76GHz
10m	51.03	60.04	63.57	81.38	84.04	88.0	90.06
100m	71.03	80.04	83.57	~40dB	104.04	108.0	110.06
500m	85.01	94.02	97.55	10,000x	118.02	121.98	124.04
1km	91.03	100.04	103.57	121.38	124.04	128.0	130.06
10km	111.03	120.04	123.57	141.38	144.04	148.0	150.06

Рис. 4. Потери в свободном пространстве.

Первый шаг к решению данного вопроса состоит в уменьшении размеров сот и тем самым в сокращении расстояния между базовыми станциями. Однако этого не достаточно. Здесь требуется применение таких технологий, как Массив ММО [3], направленные антенны [3], спектрально-эффективные сигналы [4] и другие способы, оптимизирующие соотношение между мощностью, шириной полосы и помехоустойчивостью сигнала. Только совместные меры могут дать требуемую энергетическую эффективность.

4. Технологии Массив ММО и mmWave

На Рис.5 представлены направления развития систем связи следующего поколения. Например, такие технологии, как Массив ММО и mmWave, обеспечивают более высокую пропускную способность и более высокую эффективность использования сети. Технология Массив ММО позволяет достичь целей расширенного использования мобильного широкополосного доступа.

Кроме того, новые Multi-Rat технологии улучшают использование полосы пропускания.

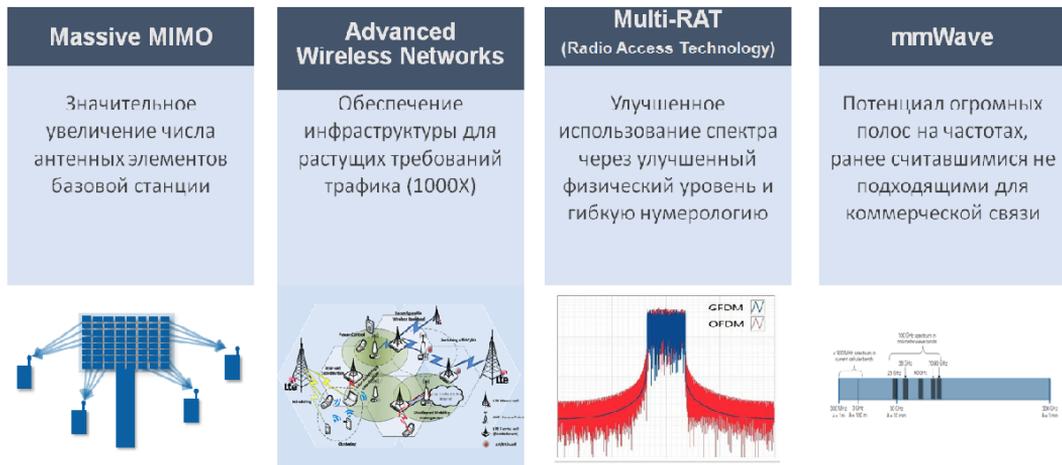


Рис. 5. Направления развития систем связи следующего поколения.

Мобильные сети первого поколения и последующие поколения используют многоканальные и ММО-варианты антенн. Например, сети GSM применяют сигнальную антенну, а современные системы LTE теоретически могут использовать до 8 передающих и 8 приемных антенн. Сегодня прототипы Массив ММО используют 128 каналов и более. Хотя еще точно нельзя сказать, сколько антенн будет задействовано в системах 5G в будущем, но наиболее вероятным является использование 64 и 128 антенн [5]. Рассмотренные технологии оказывают наибольшее влияние на радиооборудование будущих беспроводных систем [3].

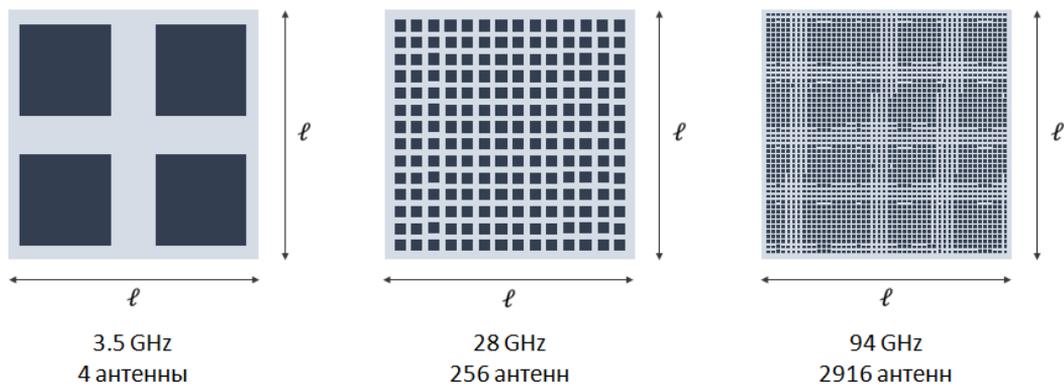
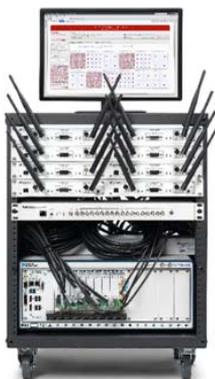


Рис. 6. Фазированная антенная решетка.

Применение фазированной антенной решетки (ФАР) и высокой частоты передачи данных имеет то преимущество, что по мере увеличения частоты длина волны становится меньше и, соответственно уменьшаются и размеры антенн (Рис.6). Последнее приводит к возможности разместить в одну и ту же область больше антенн по сравнению с их количеством при меньших частотах. Большое число антенн повышает помехоустойчивость связи в варианте ММО, а также позволяет получить лучшую диаграмму направленности. Кроме того, при меньшей длине волны и при том же размере области размещения антенн получаем более узкие лучи. Тем самым мы получаем энергетический выигрыш, компенсирующий потери в свободном пространстве.



Возможности

- 4-128 антенн
- 50 МГц – 6 ГГц
- Полоса 20 МГц
- Двухнаправленная связь в реальном времени
- До 12-и абонентов одновременно
- Возможность работы с многоантенными абонентами

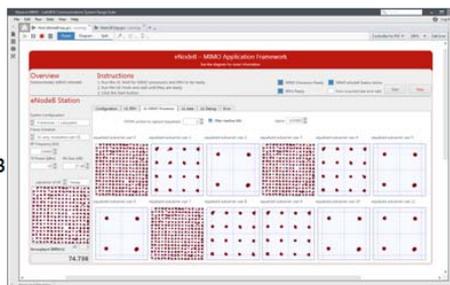


Рис. 6. Прототип системы Массив ММО.

Прототипы технологий Массив ММО и mmWave (Рис.6) были разработаны и изготовлены в Армении и были представлены на выставке DigiTecExpo 2017-2018 гг.[6]

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/2005-ran_r16_schedule
2. <http://www.ni.com/white-paper/53095/en/>
3. <http://www.ni.com/white-paper/52382/en/#ref2>
4. Тадевосян С.Р. Оценка спектральной эффективности ортогональной многочастотной модуляции // Ученые записки физического факультета московского университета № 4, 1841101 (2018).
5. <http://anel.am/5g-mimo>
6. <https://www.digitec.am/gallery>

FEATURES OF THE FIFTH GENERATION OF MOBILE COMMUNICATIONS

A. Daryan, S. Tadevosyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

In this work, the advantages of the fifth generation of mobile communications, as well as some issues related to the loss of signal power and how to solve them are studied. The technology implementation of 5G networks are reviewed. A comparison of power losses in free space at various frequencies and distances has been made. The main development vectors of the next generation communication systems are investigated.

Keywords: 5G, Massive MIMO, mmWave technology, spectrum efficiency.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

М.В. Маркосян, В.Г. Аветисян, А. К. Агаронян, В.А. Варданын

*Российско-Армянский университет,
Ереванский научно-исследовательский институт средств связи*

aharaharonyan@gmail.com, v.vardanyan00@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной работе предлагается линейная антенная решетка для кругового обзора с одной точкой возбуждения. Такие антенные решетки используются в качестве излучателей плоских антенных решеток, перпендикулярной линии расположения излучателей в линейной решетке. Это позволяет упростить конструкцию решетки, что приводит к уменьшению стоимости решетки. Представлены результаты микрополосковой антенны вертикальной поляризации для систем ближней радиолокации сантиметровых волн.

Ключевые слова: сантиметровый диапазон, фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, радиолокационная система ближнего действия.

Введение

Появление микрополосковых антенных устройств вызвано потребностью в легких, тонких, комфортных и дешевых антенных устройствах. Любое микрополосковое антенное устройство представляет собой лист диэлектрика небольшой толщины с тонким медным покрытием с обеих сторон. На одной стороне расположены излучающий элемент, цепи питания, управления и согласования. Другая металлическая сторона антенной платы служит экраном. Подобные плоские антенные решетки используются в обзорных наземных радиолокаторах, в бортовых радиолокаторах с синтезированной апертурой для мониторинга земной поверхности [1, 2].

В данной работе предлагается линейная антенная решетка для кругового обзора с 16-ю точками возбуждения. Это позволяет упростить конструкцию решетки, что приводит к уменьшению стоимости системы.

В связи с этим, для обеспечения высокой точности работы, нужно иметь достаточно узкий луч (в горизонтальной плоскости), по сравнению с вертикальной плоскостью. Для реализации данной решетки было проведено исследование с следующими исходными данными (данные были определены и улучшены путем анализа параметров аналогичный (РЛС): рабочая полоса частот 8.9–9.15 ГГц, ширина луча решетки по горизонтальной плоскости 1.5° , ширина луча решетки по вертикальной плоскости 20° , коэффициент усиления решетки 27 дБ, уровень боковых лепестков в горизонтальной плоскости < -19 дБ.

Теоретические расчеты для реализации линейной антенной решетке

В качестве излучателя в данной линейной антенной решетке используется прямоугольный полосковый резонатор. Определено теоретическое расстояние между двумя элементами данной решетки, соответственно по формуле $dx(y) = \frac{\lambda}{1+|\sin \theta|} = 19\text{мм} [3]$. Учитывая исходные данные по ширине ДН решетки в двух плоскостях получаем число элементов по горизонтальной плоскости $N_x=64$, а по вертикальной плоскости – $N_y=4$. Соответственно длина решетки по направлению горизонтали будет $L_x=N_x*19=1300\text{мм}$, а по вертикали $L_y=N_y*19=80\text{мм}$.

Численное моделирование линейной решетки в диапазоне 8.9–9.15 ГГц

Основываясь на входные требования нашей задачи, целесообразно линейную решетку разделить на подрешетки, которые будут питаться из одной точки (Рис.1). Если данную решетку представить в координатной системе XOY, то число элементов по оси OX составит 64, а по оси OY 4 элемента. В этом случае проведено численное моделирование данной решетки с помощью программы CADFEKO.

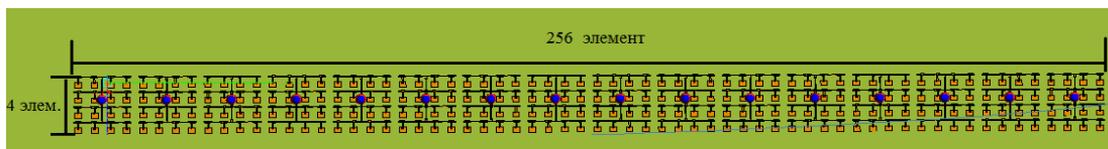


Рис.1. Общий вид ФАР в интерфейсе программы CADFEKO.

Проведены работы моделирования решетки, состоящей из 16 подрешеток, с общим количеством 256 излучающих элементов (рис.2). На рис.2 представлено ДН данной решетки в формате 3D.

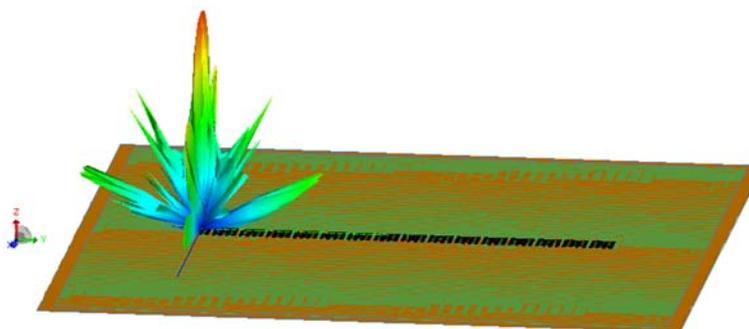


Рис.2. ДН-решетки в виде 3D.

В результате моделирование решетки получены следующие данные: ширина ДН решетки на уровне -3дБ в вертикальной и горизонтальной плоскости составляет 1.5° и 20° , соответственно. Уровень боковых лепестков в вертикальной плоскости составляет -13дБ, а в горизонтальной плоскости ниже -14дБ, коэффициент усиления примерно 25 дБ. Ниже, на Рис. 3 представлены уже полученный результаты моделирования ДН решетки, состоящей из 16 подрешеток, в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Далее проведены исследовательские работы с целью улучшения боковых лепестков антенной решетки (так как в случае равномерных амплитудных распределений уровень боковых лепестков составляет примерно 13 дБ).

Для проведения моделирования был выбран программный пакет MATLAB [4]. При моделировании ФАР в MATLAB, были введены основные геометрические параметры решетки (рабочий диапазон, число подрешеток по оси OX) и применено амплитудное распределение Тейлора [2].

Так как в нашем случае ФАР состоит из 16-и подрешеток, то с помощью программы MATLAB получено индивидуальное амплитудное распределение для этих подрешеток, которые представлены ниже.

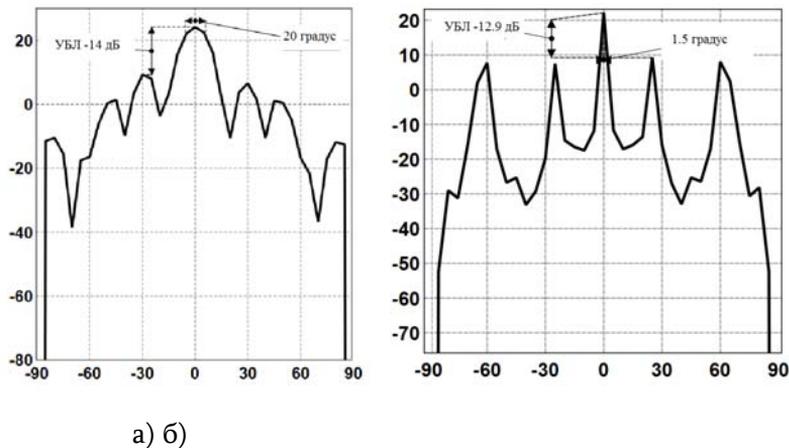


Рис.3. ДН решетки полученная путем моделирования: а) горизонтальной плоскости, б) вертикальной плоскости.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.22	0.35	0.50	0.70	0.89	1	1	1	1	1	1	0.89	0.70	0.50	0.35	0.22

После этих работ проведено новое моделирование решетки в программе CADFEKO, используя Тейлоровское амплитудное распределение. В этом случае ДН-антенной решетки имеет вид, представленный на Рис. 4, где уровень боковых лепестков составляет 20дБ.

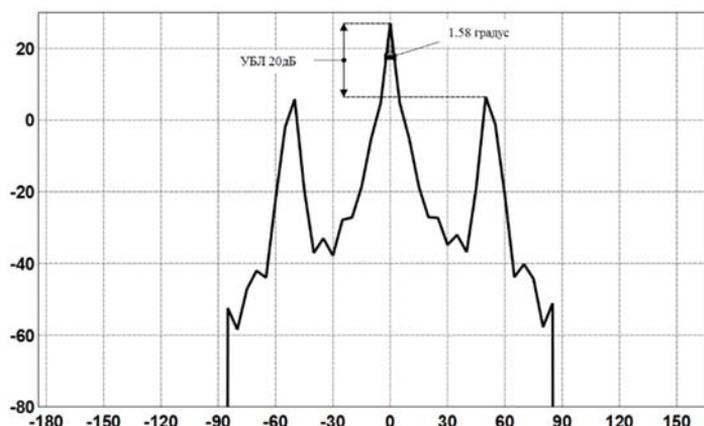


Рис.4. ДН решетки полученная путем моделирования используя распределение Тейлора для подавления боковых лепестков.

Заключение

Таким образом, с помощью численного моделирования была организована структура ФАР, которая состоит из 16 подрешеток. Эта конструкция ФАР позволяет сократить число приемо-передающих модулей и уменьшить стоимость системы, так как один модуль обеспечивает работу 16 излучающих и принимающих элементов. Данная система ФАР может быть предназначена для секторного обзора по курсу. Иными словами, с помощью вращения решетки можем осуществлять обзор пространства по горизонтальной плоскости. В связи с этим, для обеспечения высокой точности формируется достаточно узкий луч в горизонтальной плоскости, по сравнению с вертикальной плоскостью. Численное моделирование проводилось с помощью известных программ электродинамического моделирования CADFEKO и MATLAB в X-диапазоне частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Skolnik M.I.* Radar handbook, second edition, San Francisco, California, 1990

2. Вендик О.Г., Парнес М.Д. Антенны с электрическим сканированием, 2001.
3. Markosyan M.V., Avetisyan V.H., Aharonyan A.K., Davtyan R.A. The microstrip phased array antenna of centimeter waves range. International Conference on Microwave & THz Technologies and Wireless Communications IRPhE' 2018
4. Конструирование и расчет полосковых устройств /Под ред. И.С. Ковалева. М.: Советское радио, 1974.
5. <http://www.tutorialspoint.com/matlab>

THE NEAR RANGE RADAR SYSTEM DESIGN

M. Markosyan, V. Avetisyan, A. Aharonyan, V. Vardanyan

*Russian-Armenian University
Yerevan Telecommunication Research Institute*

aharaharonyan@gmail.com, v.vardanyan00@gmail.com

ABSTRACT

In this paper a linear phased array antenna for a circular scan with a single point of excitation is proposed. This type of antenna arrays are used as patch antenna array elements, which are perpendicular to the line of elements in a linear array. This allows to simplify the design of the array, which is decreasing costprice of the array. The results of the design of a micro-strip vertical polarization phased array antenna for centimeter-wave near range radar systems are presented.

Keywords: centimeter range, phased antenna array, radiation pattern, near range radar system.

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ «МТОМ» И ТЕНДЕЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

Д.А. Никогосян, В.Г. Аветисян

Российско-Армянский университет

david.nikoghosyan98@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Инфокоммуникации – отрасль экономики, возникшая на основе интеграции информационных и телекоммуникационных технологий, в которых системы связи используются как средства передачи информации различной природы на любые расстояния. Инфокоммуникационные сети с каждым днем играют все большую роль не только в управленческих и производственных процессах, но и в повседневной жизни. В результате бурного развития этой новой отрасли возникает необходимость статистического анализа темпа роста и своевременной информации о направлениях развития инфокоммуникации, а также их прогнозирования на ближайшие годы. Такая информация представляет значительный интерес как для производителей сетевого оборудования, так и для индивидуальных пользователей. Прогнозирование темпа роста и направлений развития инфокоммуникационных систем актуальна также и для корректировки учебных программ в тех высших учебных заведениях, в которых уже готовят специалистов по проектированию и обслуживанию современных телекоммуникационных систем.

В данной статье подробно рассмотрены этапы развития инфокоммуникационных сетей связи за последние сто лет, т.е. по сути с момента их формирования. Проведен статистический анализ и графически показана динамика роста сетей связи. Дана классификация сетей по сферам применения. Проведен сравнительный анализ темпа роста различных типов инфокоммуникационных сетей, с акцентированием на сети “МтоМ”, рост которых имеет наибольший показатель. Показаны предполагаемые направления и темпы развития инфокоммуникационных сетей на ближайшие годы.

Ключевые слова: инфокоммуникационные сети, сети “МтоМ”, интернет вещей.

1. Введение

В настоящее время наблюдается ярко выраженная тенденция к объединению различных типов информационных технологий в единый компьютерно-технологический комплекс, где особое место принадлежит средствам телекоммуникации, которые в состоянии обеспечить самые разнообразные сетевые варианты связи. В результате бурного развития этой новой отрасли возникает необходимость статистического анализа темпа роста и своевременной информации о направлениях развития инфокоммуникации, а также прогнозирования как на ближайшее годы, так и на более отдаленное будущее. Такая информация представляет значительный интерес как для производителей сетевого оборудования, так и для индивидуальных пользователей.

В данной статье подробно рассмотрены этапы развития инфокоммуникационных сетей связи за последние сто лет, т.е., по сути, с момента их формирования. Проведен статистический анализ и графически показана динамика роста как локальных, так и многоуровневых сетей связи. Дана классификация сетей по сферам применения (можно перечислить). Проведен сравнительный анализ темпа роста различных типов инфокоммуникационных сетей, с акцентированием на сети “MtoM”, рост которых имеет наибольший показатель. Показаны предполагаемые направления и темпы развития инфокоммуникационных сетей на ближайшие годы. Особое внимание обращается на перспективность использования инфокоммуникационных технологий и создание единого виртуального пространства для коммерческих предприятий и государственных организаций.

1. Статистический анализ инфокоммуникационных сетей

Поскольку понятие инфокоммуникационных технологий включает в себя различные типы сетей: телеграф, телефон, пейджер, факс и т.д., для получения объективного статистического анализа необходимо определить критерий их оценки. Этот критерий оценки должен быть определен для различных типов сетей. Из-за большого количества типов сетей, которые в значительной степени отличаются друг от друга по способу передачи информации, определить универсальный критерий их оценки представляется не-

возможным. Поэтому мы выделили те виды инфокоммуникационных сетей, которые в последние годы получили наиболее активное развитие и на сегодняшний день составляют подавляющее большинство по количеству абонентов/устройств. К их числу относятся Интернет, телефонная (проводная и беспроводная/сотовая) связь, а также межмашинное взаимодействие.

Последние из перечисленных инфокоммуникационных сетей, является очень молодым направлением (его становление приходится на начало нашего тысячелетия), поэтому требует дополнительного пояснения. В литературе это направление более известно как Machine to Machine (MtoM). Оно представляет собой общее название технологий под которым подразумевается обмен информацией между приборами↔машинами. К примеру: банкоматы, платежные терминалы, охранные системы безопасности и т.д. Благодаря развитию MtoM-сетей в наш обиход вошел еще один новый часто используемый термин. Это так называемые «интернет-вещи» “InternetofThings” (IoT). Под этим термином подразумеваются все те приборы, которые взаимодействуют между собой при помощи Интернета [1]. Динамика этих направлений за последние несколько десятков лет приводится на Рис. 1.

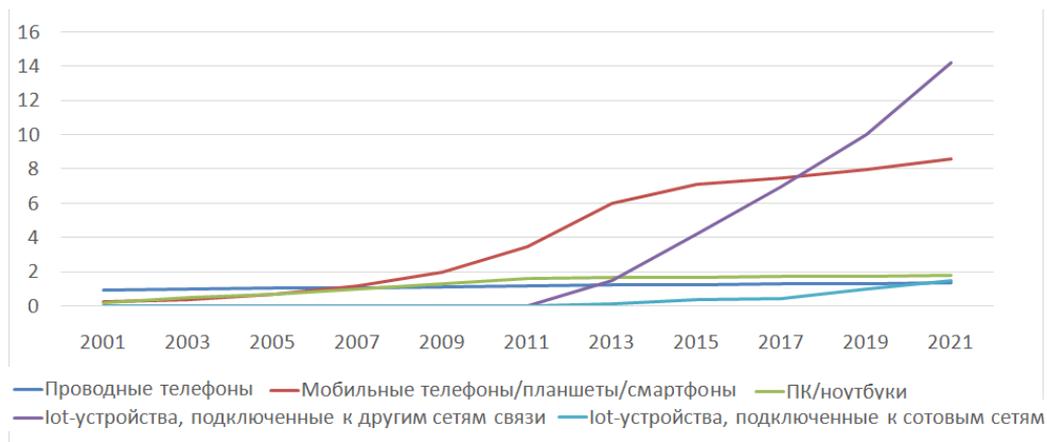


Рисунок 1. Количество (млрд) подключенных устройств по категориям.

Как видно по Рис. 1, наибольший рост имеют IoT-устройства, подключенные к другим сетям связи. Можно предположить, что в самом ближайшем будущем они займут лидирующее положение. MtoM-сети находятся в более выгодном положении в плане перспектив развития, так как «диалог» машины с машиной не требует больших объемов передаваемой информации, следовательно, и больших скоростей, по сравнению с другими взаимодействиями. Основное различие межчеловеческого или человек-машинного взаимодействия (IoT-устройства, подключенные к сотовым сетям) относительно к межмашинному взаимодействию является более высокое энергопотребление, которое обусловлено тем, что при переходе от человеческого языка (звук, картинка, видео) к машинному и, наоборот, объем информации становится большим, следовательно, требуется большая скорость передачи, а значит и более высокое энергопотребление [2].

3. Методы реализации “MtoM”-сетей на основе сотовой связи

На сегодняшний день самые новейшие варианты сотовой связи, которые активно используются в повседневной жизни, это – 4G и LTE (Long Term Evolution) [3]. Однако они потребляют достаточно много энергии, и, следовательно, передавать информацию таким методом невыгодно. Более того, во многих случаях у нас не бывает возможности (да и невыгодно с финансовой точки зрения) проводить постоянное питание к прибору (датчику), и приходится использовать аккумуляторы или же простые батарейки, и в этом случае малое энергопотребление уже становится одним из основных требований. В будущем одним из возможных решений данной задачи, по всей видимости, станет стандарт NB-IoT (Narrow-Band IoT), который разрабатывается консорциумом 3GPP с 2016 года. Стандарт представляет собой беспроводную, узкополосную, двухстороннюю сеть (связь), разработанную, в первую очередь, для “MtoM”-взаимодействия с низким энергопотреблением и в частотном диапазоне 200 кГц. Консорциум представляет три варианта реализации:

1. Stand-alone. Для реализации первого варианта нужно будет выделить отдельный частотный спектр шириной 200кГц. Преимуществом дан-

ного решения является, что интерференция с другими технологиями минимальна, однако может понадобиться от 300 до 600 кГц полезного спектра, что требует больших затрат (см. Рис. 2.а).

2. In-band. Для второго варианта NB-IoT и LTE будут работать в одном частотном диапазоне, но несущая NB-IoT имеет большую на 6 дБ мощность по сравнению с ресурсными LTE. Данный вариант актуален в плане экономии частотного ресурса, однако вероятность интерференции с другими каналами LTE возрастает (см. Рис. 2.б).

3. Guard-Band. В этом случае не потребуется выделять отдельный спектр. Он будет реализован в защитном спектре сетей LTE, который так же будет иметь повышенную на 6-9 дБ мощность. Данный вариант актуален в плане экономии полезного ресурса, однако, в этом случае ухудшаются параметры защитного диапазона (см. Рис. 2.в).

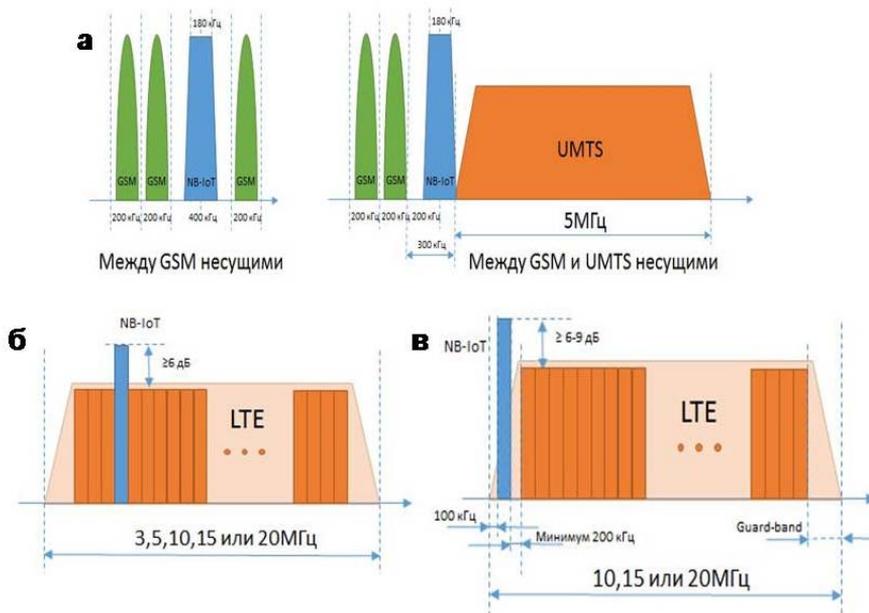


Рисунок 2. Методы реализации МтМ сетей на основе сотовой связи.

Следует отметить, что для реализации NB-IoT нет необходимости создавать специальное программное обеспечение на базовой станции, по-

сколько развертывание сети будет проходить на уже существующем действующем стандарте GSM. В будущем данный стандарт будет интегрирован в пятое поколение сотовой сети т.е.5G [4], которое 3GPP (3rd Generation Partnership Project) консорциум закончит в 2020 году. Согласно графику NGMN (Альянс мобильных сетей нового поколения), еще один год потребуются для коммерческого развертывания. По их же требованию новое поколение сотовой сети 5G будет сверхширокополосной, и, следовательно, будет возможна передача информации малого объема, т.е. с ее помощью возможно будет осуществить массовую межмашинную связь.

4. Структурная схема LoRa (Long Range)

Проблему потребления большого количества энергии при передаче информации можно решить с помощью уже существующих и использующихся маломощных и широкополосных сетей, например, таких, как (LPWAN) SigFox, LoRa , Weightless и т.д.

По сути говоря, LoRa (Long Range) представляет собой линейно-частотную модуляцию (ЛЧМ) или CSS (Chirp Spread Spectrum), но в большинстве случаев под аббревиатурой “LoRa” подразумевается вся совокупность системы как на физическом уровне LoRa, так и под “софтовом” LoRaWAN [5]. Ширина канала LoRa составляет 125кГц с максимальной скоростью 5 Кбит/с. Время автономной работы конечных устройств с питанием от одного аккумулятора типа размера АА доходит до 10 лет (в режиме приема информации – от 9,7 мА, в режиме передачи – от 40мА, в режиме сна – от 200 нА). Сеть LoRa так же обладает высокой помехоустойчивостью за счет демодуляции сигналов на уровне ~20 Дб, т.е. ниже уровня шумов. В математическом виде ЛЧМ сигнал имеет следующей вид:

$$x(t) = A_0 \cdot \cos \left(\omega_0 \cdot t + \frac{\mu}{2} \cdot t^2 \right), \text{ где } \frac{T_{sym}}{2} \leq t < \frac{T_{sym}}{2},$$

и описывается следующими параметрами: BW – ширина спектра радиосигнала; f_0 ; $\omega_0 (= 2\pi f_0)$ – центральная (несущая) частота радиосигнала; f_H ; ($= f_0 - BW/2$); $\omega_H (= 2\pi f_H)$ – нижняя частота радиосигнала; f_B ; ($= f_0 + BW/2$); $\omega_B (= 2\pi f_B)$ – верхняя частота радиосигнала; SF – коэффициент расширения спектра (изменяется в диапазоне от 7 до 12);

$T_{sym} = 2SF/BW$ – длительность радиосигнала; $\mu = BW/T_{sym}$ – скорость изменения частоты радиосигнала; $B = BW \cdot T_{sym} = 2SF$ – база радиосигнала.

Архитектурная схема работы системы LoRa представлена на Рис. 3. Базовая станция (шлюз) слушает эфир, и когда она фиксирует запрос устройства, то отвечает ему на частоте обращения и пересылает считанную информацию сетевому серверу. По сути базовая станция представляет собой приемник-передатчик. Сетевой сервер же, в свою очередь, решает, от какого шлюза наиболее актуально принимать информацию, так как одна и та же информация может приходиться от нескольких шлюзов одновременно. Обработкой информации занимается сервер приложений и после этого, при необходимости, пересылает ответ.

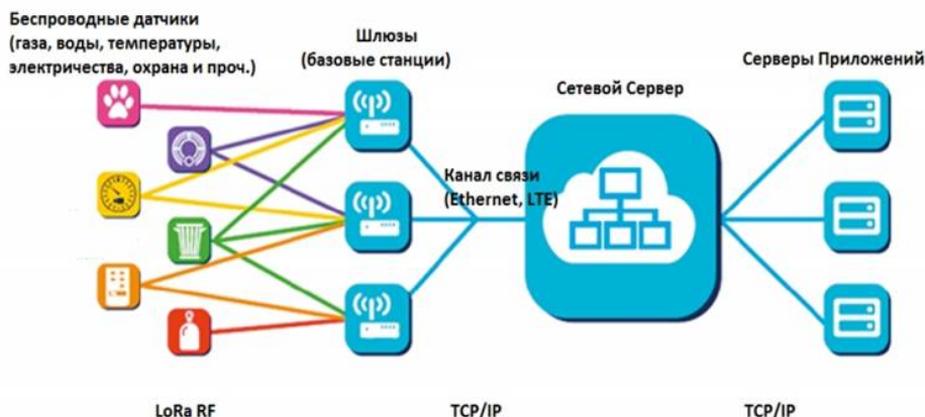


Рисунок 3. Структурная схема LoRa (Long Range).

5. Заключение

В работе проведен статистический анализ темпов развития инфокоммуникационных сетей по категориям и показано, что сети MtoM уже сегодня имеют наибольший темп роста. Современные 4G и LTE варианты сотовой связи из-за потребления большого количества энергии нерентабельны для инфокоммуникационных технологий. Показано, что задачу экономического потребления энергии при передаче информации можно решить с помощью уже существующей маломощной и широкополосной сети LoRa.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mattern, Friedemann; Floerkemeier, Christian* (2010). From the Internet of Computer to the Internet of Things . Informatik-Spektrum. 33 (2): PP.107–121.
2. *Burger, Valentin; Darzanos, George; Dramitinos Manos; et al.* (2015), Report on Definition of Use-cases and Parameters, European Seventh Framework Project, 219 p.
3. *Luo, Chao* (2017), Physical layer on the radio path, 3gpp.org 58. 3GPP TSG RAN WG6.
4. *Dave*. 5G NR Only 25% to 50% Faster, Not Truly a New Generation. wirelesone. news. Retrieved 2018-06-25.
5. *Sornin N., Luis M., Eirich T. et al.* (2015), LoRaWAN Specification, Semtech Corporation, V1.0.

INFO COMMUNICATION NETWORKS “MTOM” AND TENDENCY OF THEIR DEVELOPMENT

D. Nikoghosyan, V. Avetisyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

Infocommunication is a branch of economy that has arisen on the basis of the integration of information and telecommunication technologies, in which communication systems are used as means of transmitting information of various nature over any distance. Each day infocommunication networks play an increasing role not only in management and production processes, but in everyday life as well. As a result of rapid development of this new branch, there is need of statistical analysis of the growth rate and timely information on the directions of infocommunication development, as well as prediction for the coming years. This kind of information is of great interest for network equipment manufacturers and for individual users as well. Predicting the growth rate and directions of development of infocommunication systems is also

relevant for the adjustment of curricula in those higher educational institutions where specialists in design and maintenance of modern telecommunication systems are already being trained.

This article describes in detail the stages of development of infocommunication networks over the past hundred years, i.e. essentially from the moment of their formation. A statistical analysis is carried out and the growth dynamics of communication networks is graphically shown. Classification of networks by spheres is given. Comparative analysis of the growth rate of various types of infocommunication networks is carried out, with an emphasis on the network “MtoM”, the growth of which has the highest rate. The proposed directions and rates of development of infocommunication networks for the coming years are shown.

Keywords: infocommunication networks, “MtoM” networks, Internet of things.

RESEARCH OF THE THERMOELECTRIC PROPERTIES OF THE COMPOUND Sb_2Te_3

A. Papikyan¹, S. Harutyunyan^{1, 2}

¹Russian-Armenian University, ²Institute of Physical Research

arman.pap@gmail.com, sergeyhar56@gmail.com

ABSTRACT

The thermoelectric properties (thermoelectric power and resistivity) are measured over a wide temperature range of 5 – 350 K of the samples based on the compound Sb_2Te_3 . The properties of a single-crystal Sb_2Te_3 , the film of Sb_2Te_3 with a thickness of 100nm and a system consisting of a successively deposited films $\text{Sb}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{S}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ have been investigated. The comparative characteristics of the samples are given. For all samples based on the results of the measurements, the thermoelectric power factor is obtained, which gives information about the effectiveness of these materials.

Keywords: Thermoelectric Power Factor, Sb_2Te_3 films.

1) Introduction

The direct energy conversion between heat and electricity based on thermoelectric effects¹⁾ is a topic of long-standing interest in condensed matter materials science. The most important parameter determining whether a given solid is a potentially useful thermoelectric material is the dimensionless figure of merit (ZT). Therefore, during the past decades most efforts have been concentrated on improvement of ZT of thermoelectric materials around room temperature with the aim to develop better, more efficient and ecologically safe coolers on thermoelectric materials.²⁾

In this work, the Sb_2Te_3 films have been studied, in particular. Antimony telluride is rhombohedral (belongs to the space group $R\bar{3}m$), a narrow band-gap,

p-type semiconductor. The structure consists of alternate layers of antimony and tellurium atoms normal to the threefold axis. This results in anisotropy in many properties. Antimony telluride has a low Seebeck coefficient because of high degenerate hole concentrations generated by antimony antisite defects, which is mitigated in our case by suppressing antisite defect formation using sulfur doping.³⁾

2) Methods

The figure of merit of thermoelectric material is given by the following equation: $Z = S^2 \sigma / \kappa$, where S is the thermoelectric power or the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity, κ is the thermal conductivity and T is the absolute temperature.

In our study the measurements have been performed on the Sb₂Te₃ single crystal, Sb₂Te₃ and Sb₂Te₃/Sb₂S₃/Sb₂Te₃ thin films. The thin films (around 100 nm thickness) have been obtained using thermal vacuum deposition technique on glass substrates. Subsequently the films have been annealed at 180°C temperatures in nitrogen atmosphere during 5 hours.

The measurements of thermopower and resistivity was carried out to evaluate the value of power factor ($S^2 \sigma$) for the obtained samples. The power factor gives an indication the efficiency of the samples in thermoelectric applications. We will review each contributing variable and discuss the difficulties of their measurements.

2.1. Electrical Resistivity

The most frequently used technique for measurement of resistivity is the four-probe bar measurement, which employs a sample in the form of a parallelepiped (bar) with two pairs of contacts (four probes), as shown in Fig. 1.

One pair of the probes serves to inject current through large area ohmic contacts at the ends of the bar and the other pair, separated from the current contacts, measures the voltage drop along the length of the bar. The electrical resistivity ρ is given as: $\rho = R A / L$, where R is the resistance, L the distance between the voltage probes and A - the cross-sectional area of the sample.

typical experimental set-up to measure the resistivity of a sample is shown in the Fig.1 a,b, where $I=V/R$.

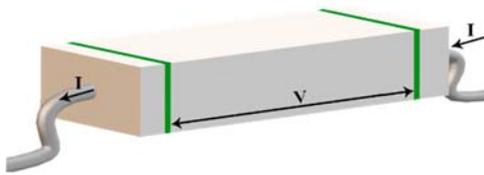


Fig 1.a) Four Probe Measurements for Single Crystal

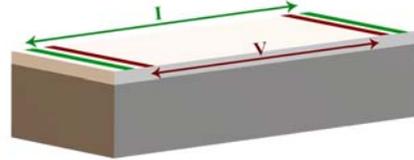


Fig 1.b) Four Probe Measurements for Thin Films

2.2. Seebeck Coefficient

Measurements of Seebeck coefficient between 5 and 350 K were performed by a longitudinal DC steady-state method on specially designed setups for films (Fig. 2).



Fig. 2) 1 – Sample, 2 – heater, 3 – hot contact, 4 and 5 - contacts at the cold end, 6 - electrical insulator.

By definition, $S = \Delta V / \Delta T$, involves simultaneous determination of thermoelectric voltage ΔV arising as a consequence of an imposed temperature difference ΔT between two points along the sample length. In a steady state condition, at a given temperature, a small temperature gradient was developed across the sample. Typically, ΔT is set in the range of 0.3-1 K monitored by the copper-constantan thermocouple. The resulting thermo-emf ΔV was

continuously recorded by a digital nano-voltmeter. By varying ΔT , a statistically averaged S value was derived from the slope of a ΔV vs. ΔT plot.

3. Experimental results and discussion

In the Fig. 3 the $\rho(T)$ data of the studied samples are presented. As it was expected the single crystal shows semimetal behavior – low resistivity and increasing resistivity with temperature in the whole temperature range.

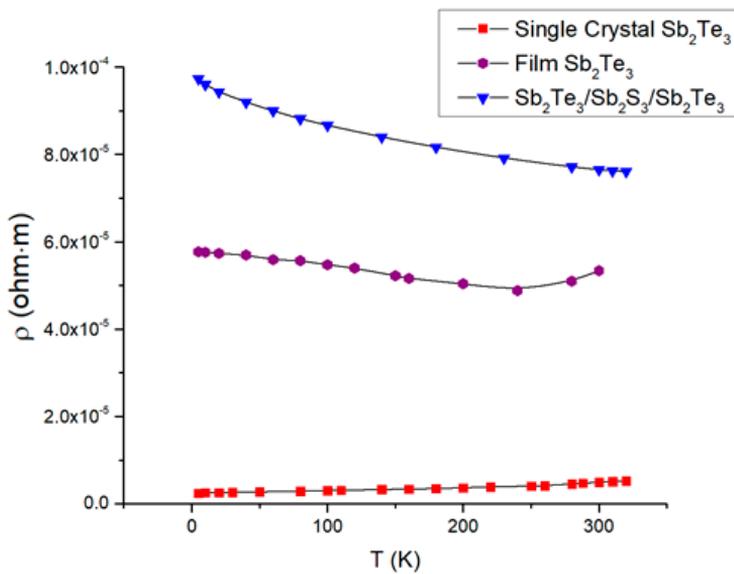


Fig. 3) Resistivity ρ (ohm/m) of the a) Single Crystal Sb_2Te_3 , b) Film Sb_2Te_3 and c) Structure $\text{Sb}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{S}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ correspondingly, from absolute Temperature T (K).

The thin Sb_2Te_3 film, in contrary, shows semiconductor behavior from 250 K down to 5 K and semimetal behavior at higher temperatures. Such a behavior can be explained by applied not enough annealing time and temperature that led to partly amorphous structure, which in turn implies higher resistivity. The resistivity behavior of $\text{Sb}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{S}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ demonstrates semiconductor behavior in the whole temperature range of measurement, which indicates not enough annealing time and temperature. However, there is also some uncertainty in the doping concentration of sulfur S and it is necessary to reach its optimal concentration.

The films in our studies had a positive Seebeck coefficient, confirming that the films are *p*-type. Our observations show that the Seebeck coefficient of the samples increases with temperature. In the Fig. 4 the $S(T)$ data of the studied samples are presented.

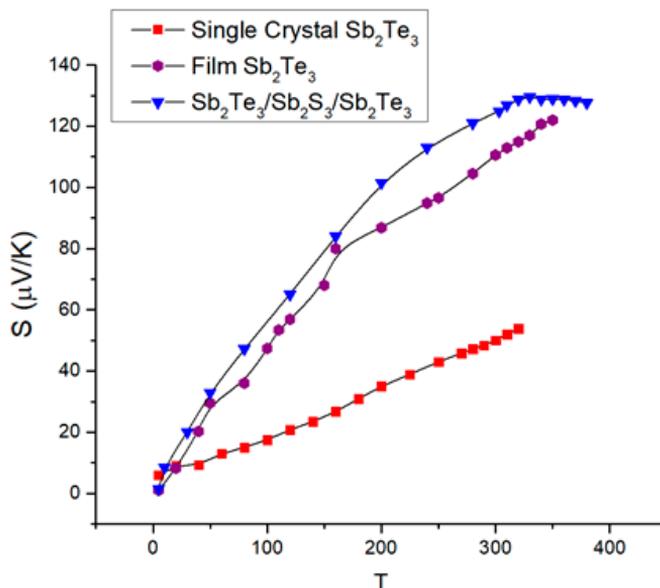


Fig. 4) Seebeck coefficient S ($\mu V / K$) of the a) Single Crystal Sb_2Te_3 , b) Film Sb_2Te_3 and c) Structure $Sb_2Te_3/Sb_2S_3/Sb_2Te_3$ correspondingly, from absolute Temperature T .

The Seebeck coefficient of the single crystal at room temperatures is lowest among others, which can be explained by its anisotropy and that measurement of S was carried out in a-b plane with highest electrical conductivity and lower Seebeck coefficient. The thin Sb_2Te_3 film is polycrystalline and its Seebeck coefficient value is higher than for single crystal and correspond to value indicated in literature. The Seebeck coefficient of $Sb_2Te_3/Sb_2S_3/Sb_2Te_3$ structure shows slightly higher value among the measured samples. This result we associate with doping element – sulfur, the concentration optimization of which can enhance Seebeck coefficient more. We assume that doping with sulfur, which has a higher electronegativity than Te , decreases hole concentration by suppressing antisite Sb_{Te} formation, thereby offering a means for increasing S .

As we see the single crystal shows the best power factor at room temperatures. And this value nearly three times higher than the value for films. This results mainly from the higher electrical conductivity of single crystal. Power factor of the films are nearly the same that encourage us to do measurements on other different concentrations of sulfur to increase power factor more.

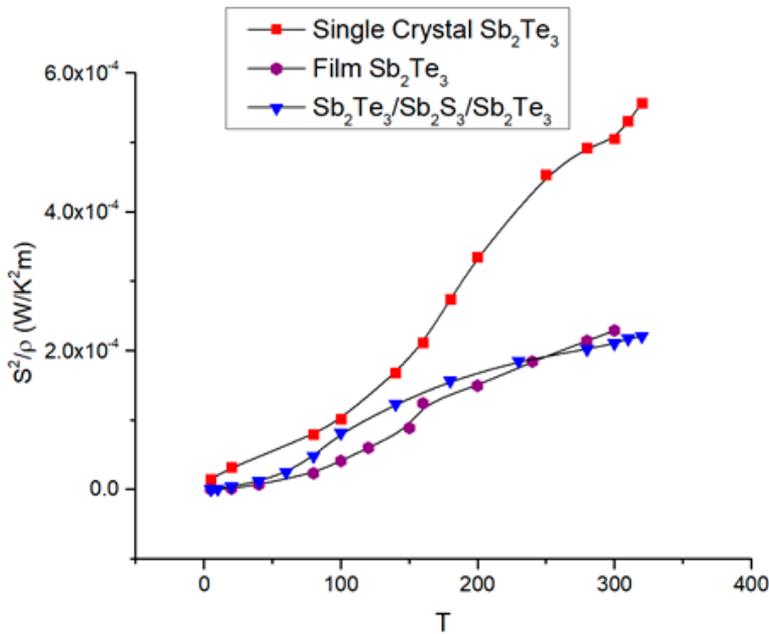


Fig. 5) Parameter S^2/ρ (W/m^2K^2) of the a) Single Crystal Sb_2Te_3 , b) Film Sb_2Te_3 and c) Structure $Sb_2Te_3/Sb_2S_3/Sb_2Te_3$ correspondingly, from absolute Temperature T .

BIBLIOGRAPHY

1. Ørsted H.C., *Ann. Chim. Phys.*, 22 (1823) 375.
2. Rowe D.M., *Innov Int. J. Energy Syst. Power*,1(2006) 13.
3. Rutvik J. Mehta, Yanliang Zhang *Nano Lett.*12, 9, 4523–4529 (2012).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЯ Sb_2Te_3

А.К. Папикян¹, С.Р. Арутюнян^{1, 2}

¹*Российско-Армянский университет,*

²*Институт Физических Исследований*

АННОТАЦИЯ

В широком диапазоне температур 5–350 К измерены термоэлектрические свойства (термоэдс и удельное сопротивление) образцов на основе соединения Sb_2Te_3 . Исследовались свойства монокристалла Sb_2Te_3 , пленки Sb_2Te_3 толщиной 100 нм, а также системы $\text{Sb}_2\text{Te}_3/\text{S}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$, состоящей из последовательно напыленных пленок. Приводятся сравнительные характеристики этих образцов. Для всех образцов, основываясь на результатах измерений, получен фактор термоэлектрической мощности, позволяющий судить об эффективности этих материалов.

Ключевые слова: термоэлектрические свойства, монокристалл Sb_2Te_3 , пленка Sb_2Te_3 .

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ ШОТТКИ Sb-n-InSb

С. Г. Петросян^{1,2}, А. Хачатрян²

¹Российско-Армянский университет, Армения

²Институт радиофизики и электроники НАН Армении, Армения

stepan.petrosyan@rau.am

АННОТАЦИЯ

Вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики контактов металл-полупроводник Sb-n-InSb с барьером Шоттки, созданных методом лазерно-импульсного осаждения и последующего термического отжига, были измерены при температуре 77К. Сравнивая с теорией таких контактов, учитывающей в общем случае наличие туннельно-прозрачного диэлектрического зазора и поверхностных состояний на границе раздела диэлектрический слой-полупроводник, были определены все параметры контакта. Структуры обладали также большой фоточувствительностью в области 3-5 мкм и могут быть использованы для создания эффективных, широкополосных и быстродействующих фотоприемников среднего ИК диапазона.

1. Введение

Среди полупроводниковых соединений A_3B_5 антимонид индия (InSb) имеет минимальную ширину запрещенной зоны (0.23 эВ при 77К), максимальную подвижность для электронов (более $10^6 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ в не сильно легированном материале при 77К) и широко применяется для изготовления малоинерционных фотоприемников среднего ИК диапазона (3-5 мкм), соответствующего одному из атмосферных окон прозрачности [1-3]. Такие фотоприемники получили широкие применения в тепловидении, системах обнаружения и наведения [4-6]

Кроме фотодиодов на основе p-n – гомо- (гетеро-) переходов большой интерес привлекают и фотоприемники на основе поверхностно-барьерной структуры типа контакта полупрозрачный металл - полупроводник, в которой область объемного заряда и контактное поле прилегают непосредственно к металлическому электроду, через который облучают приемник [7]. Излучение в основном поглощается в обедненной области полупроводника, а созданные электронно-дырочные пары быстро и эффективно разделяются внутренним электрическим полем. Такие фотоприемники просты в изготовлении, так как требуют одну основную операцию - нанесение тонкого металлического слоя, причем оно может реализоваться различными технологическими методами [7]. Известно, что часто изготовленные диоды Шоттки далеки от идеальности и их физические свойства контролируются не столько разностью в работах выхода полупроводника и металла, сколько суммарным действием поверхностных (интерфейсных) состояний на границе раздела фаз и туннельно прозрачного окисного слоя (диэлектрического зазора), существующего как правило между металлом и полупроводником, на котором происходит частичное падение контактной разности потенциалов и внешнего напряжения [7-9]. При большой концентрации поверхностных состояний заряд на этих уровнях может полностью стабилизировать высоту потенциального барьера, которая уже слабо зависит от работы выхода металла.

Для Шоттки контактов на основе такого узкозонного полупроводника как InSb наличие диэлектрического зазора и поверхностных состояний является более критичным, поскольку ожидаемая высота барьера в условиях отсутствия инверсионного слоя небольшая, порядка 0.1 эВ. Поэтому для создания Шоттки контакта необходимо выбирать металлс работой выхода не очень сильно отличающейся от работы выхода n-InSb, равной около 4.6 эВ при легировании 10^{15} см^{-3} и электронного сродства 4.59 эВ [1]. Поскольку согласно литературным данным Sb имеет работу выхода ~ 4.5 эВ [10], то мы ожидали, что его выбор в качестве металлического электрода позволит получить Шоттки диод Sb-n-InSb, обладающий не только хорошими выпрямляющими свойствами, но и большой фоточувствительностью в среднем ИК диапазоне.

В даноной работе методом лазерно-импульсного осаждения были созданы Шоттки контакты Sb-n-InSb, измерены и анализированы их вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики. Измерены также спектры фоточувствительности изготовленных фотодиодов Шоттки.

Для анализа измеряемых электрических характеристик, сравнения с экспериментом и определения параметров созданных поверхностно-барьерных структур будут использованы теоретические выражения, выведенные вобщей модели контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки при учете наличия тонкого промежуточного диэлектрическим слоя и поверхностных состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрический слой [7-9]. Будут оценены эффективная толщина диэлектрического зазора и плотность поверхностных состояний.

2. Экспериментальные детали

В качестве подложек для изготовления диодов Шоттки были использованы пластины нелегированного n-InSb с ориентацией (111). Слои антимонода были осаждены в вакууме 10^{-6} мм.рт.ст. методом лазерно-импульсного осаждения. Был использован ниодимовый лазер ($\lambda = 1.064$ мкм) со следующими параметрами: длительность импульса 30 нс, частота импульсов 0.1 Гц, энергия одного импульса 0.35 Дж. Оптимальное расстояние между подложкой и мишенью из металлического Sb было 50мм, при котором интенсивность фокусированного лазерного излучения на поверхности мишени была $8 \cdot 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$.

Перед осаждением поверхность подложки была подвергнута плазменной очистке. Процесс лазерного осаждения был низкотемпературный, температура подложки поддерживалась при температуре 25°C . Толщина осажденного слоя контролировалась числом импульсов с тем расчетом, что под воздействием одного лазерного импульса на подложке осаждается слой с толщиной 25 нм. Далее при температуре 450°C структура была подвергнута термическому отжигу в течении 30 мин. Металлический контакт из Sb имел вид диска с диаметром 3 мм. Омические контакты к подложке и к металлическому слою были созданы последующим термическим напыле-

нием, соответственно, In и In/Cu. Для проведения электрических и фотоэлектрических измерений образцы помещались в азотный криостат с оптическим окном из NaCl. Для измерения вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик были использованы приборы Keithly 6514/e и E7-11.

3. Результаты и обсуждения

Вольт-амперные (I- U) и вольт-фарадные (C-U) характеристики диодов Шоттки были измерены при температуре 77К. На рис. 1 и 2 представлены зависимости тока от приложенного напряжения в прямом и обратных направлениях. Коэффициент выпрямления диода при $U = \mp 0.1$ В был равен 12. Из-за небольшой величины высоты барьера прямой ток через диод был относительно велик и поэтому при сравнении с теорией следует учитывать падение внешнего напряжения на квазинейтральной части InSb. Известно, что прямая ветвь диода Шоттки с учетом диэлектрического зазора и поверхностных состояний при $U > 3kT/q \approx 20$ мВ имеет вид [9,10]:

$$I = I_s \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right), \quad (1)$$

где

$$I_s = A^* A T^2 \exp\left[-\frac{2}{h}(2m^* \chi)^{1/2} \delta\right] \exp(-q\phi_{b0}/kT) \equiv A^* A T^2 \exp(-q\phi_b/kT). \quad (2)$$

Здесь $A^* = 4\pi q m^* k^2 / h^3$ эффективная постоянная Ричардсона, A – площадь диода, $q\phi_{b0}$ – высота барьера для электронов из металла, а

$$q\phi_b = q\phi_{b0} + \frac{2kT}{h}(2m^* \chi)^{1/2} \delta, \quad (3)$$

есть эффективная высота барьера для перехода электронов из металла в полупроводник с учетом термической активации и последующего туннелирования. Входящие в (1)-(3) δ , χ – представляют толщину и среднюю высоту барьера, образованного диэлектрическим слоем, через который туннелируют электроны, m^* – эффективная масса электрона, h, k – постоянные Планка и Больцмана, соответственно, q – величина элементарного заряда, an – фактор идеальности диодной характеристики. При сравнении с экспе-

риментом учет падения напряжения на последовательно включенном сопротивлении R объема полупроводника можно легко произвести заменив в (1) величину U на $(U - IR)$. С учетом этого на рис. 1 представлена модифицированная вольт-амперная характеристика в полупологарифмическом масштабе, наклон которой дает фактор идеальности характеристики. Мы получили, что $n = \frac{q}{kT} \frac{d \ln I}{dU} = 1.3$.

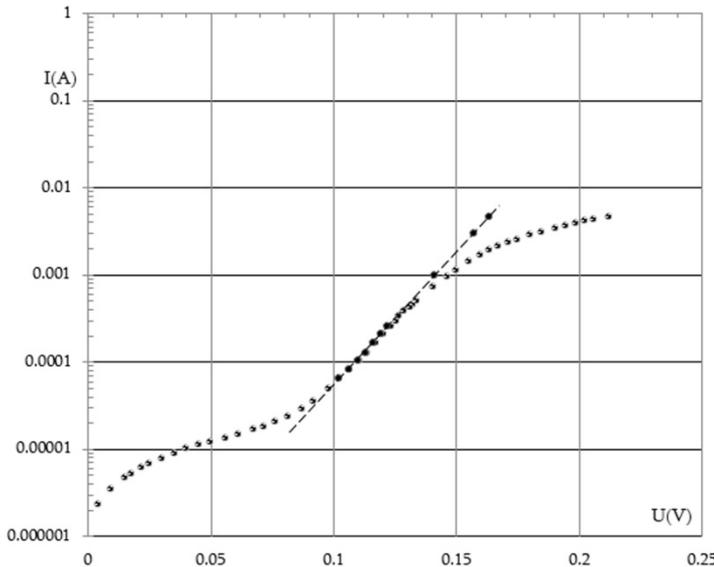


Рис. 1 Прямая ветвь вольт-амперной характеристики диодов Sb-n-InSb, построенная в полупологарифмическом масштабе. Подгоночная величина последовательного сопротивления объема n-InSb, при которой точка на графике при $U > 0.13$ В соответствует линейной зависимости, была равна 45 Ом.

Как видно из графика при малых напряжениях смещения (< 0.08 В) наблюдается некоторый избыточный ток, что по видимому обусловлено генерационно-рекомбинационными процессами на границе раздела и в области объемного заряда диода [9].

Экстраполируя модифицированную вольт-амперную характеристику к нулевому напряжению мы можем найти величину тока I_s , а с ее помощью согласно (2) определить эффективную высоту барьера $q\phi_b = kT \ln(A^*A$

T^2 / I_s). Для контакта с площадью $A = 7 \text{ мм}^2$, $I_s = 6 \cdot 10^{-8} \text{ мА}$, взяв постоянную Ричардсона для InSb равную $1.70 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \text{К}^{-2}$ [9], получим $q\phi_b = 140 \text{ мэВ}$.

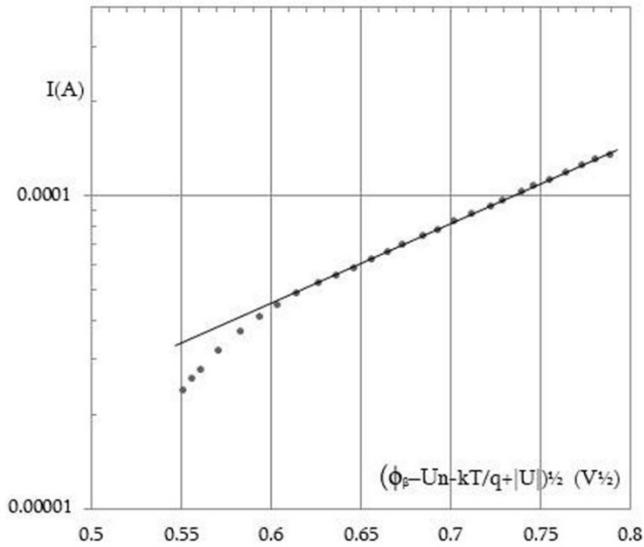


Рис. 2 Обратная ветвь вольт-амперной характеристики диодов Sb-n-InSb, представленная как зависимость логарифма обратного тока $\ln |I|$ от величины $(\phi_{b0} - U_n - \frac{kT}{q} + |U|)^{1/2}$.

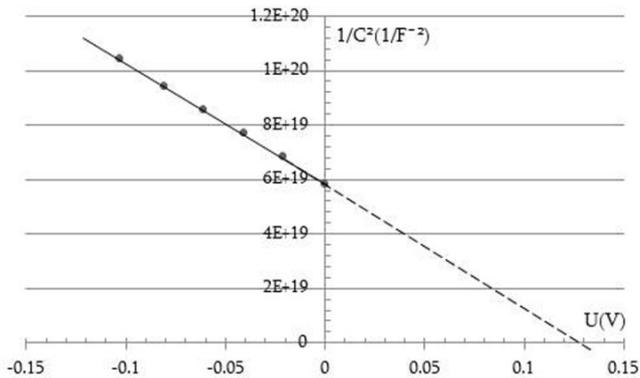


Рис. 3 Зависимость $1/C^2$ диода от приложенного напряжения.

Вольт-фарадная характеристика при обратных смещениях была измерена на частоте 120 кГц при 77 К. Зависимость $1/C_2$ от U линейна и представлена на рис. 3. Из этого графика можно оценить концентрацию ионизованных доноров в InSb [9] по формуле

$$N_D = -2 \left[q \epsilon_s \epsilon_0 \frac{d}{dU} \left(\frac{A}{C} \right)^2 \right]^{-1}, \quad (4)$$

где $\epsilon_s = 17.88$ диэлектрическая проницаемость InSb [1], а $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/М}$ – диэлектрическая постоянная. В результате получаем $N_D = 1.77 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Как известно [11] пересечение прямой $1/C_2$ с осью напряжений дает характерное напряжение для диода Шоттки

$$U_0 = \left[\left(\varphi_{b0} - U_n - \frac{kT}{q} \right)^{1/2} + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left(\frac{q \epsilon_s N_D}{2 \epsilon_0} \right)^{1/2} \right]^2 \quad (5)$$

где ϵ_i – диэлектрическая проницаемость тонкого слоя между металлом и полупроводником, а $qU_n = kT \ln \frac{N_c}{N_d} = 22.88 \text{ мэВ}$ (при эффективной плотности состояний в зоне проводимости $\text{InSb } N_c = 5.52 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [1]) есть энергетическое расстояние между дном зоны проводимости и квазиуровнем Ферми в объеме полупроводника. Из (5) следует, что в общем случае между напряжением U_0 и $(\varphi_{b0} - U_n - \frac{kT}{q})$ есть некоторая разность, которая тем больше, чем больше эффективная толщина диэлектрического слоя. Как следует из рис.3, $U_0 = 128 \text{ мВ}$. Знание этого параметра, высоту барьера и концентрации равновесных электронов (N_D) в n-InSb, можно из (5) определить эффективную толщину диэлектрического зазора. Легко показать, что в данном случае $\delta/\epsilon_i = 11 \text{ \AA}$. Если предположить, что тонкий диэлектрический зазор между металлом и полупроводником представляет собой оксиды In и/или Sb сложного состава, образованные, по-видимому, при термическом отжиге структуры в воздухе после нанесения слоя Sb, и если считать, что его диэлектрическая проницаемость $\epsilon_i = 3 - 4$, то получим толщину зазора порядка 30-40 Å, что вполне можно считать туннельно проницаемым для электронов.

Теперь обратимся к обратной ветви вольт-амперной характеристики диода (рис. 2), которая при $|U| > 3kT/q \approx 20$ мВ приблизительно можно представить в виде [9]

$$I \sim \exp \left[\frac{q\alpha}{kT} \left(\frac{2qN_D}{\varepsilon_s \varepsilon_0} \right)^{1/2} \left(\varphi_{b0} - U_n - \frac{kT}{q} + |U| \right)^{1/2} \right], \quad (6)$$

где

$$\alpha = \frac{\delta \varepsilon_s \varepsilon_0}{\varepsilon_i \varepsilon_0 + q^2 \delta D_s}, \quad (7)$$

αD_s – есть плотность поверхностных состояний в расчете на единичный интервал энергии.

Экспоненциальный рост тока с обратным смещением обусловлен уменьшением высоты барьера для электронов из металла с учетом перераспределения напряжения между диэлектрическим слоем и областью объемного заряда полупроводника при согласованном изменении заселенности поверхностных состояний. Приведенный на рис.2 график представляет зависимость $\ln |I|$ от величины $(\varphi_{b0} - U_n - \frac{kT}{q} + |U|)^{1/2}$ при $U < 0$. Как и следовало ожидать из (6) получается линейная зависимость, наклон которой $m' = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ В}^{-1/2}$. Исходя из (6) и (7) легко убедиться, что по известному значению m' можно найти плотность поверхностных состояний в структуре:

$$D_s = \frac{1}{m' kT} \left(\frac{2N_D \varepsilon_s \varepsilon_0}{q} \right)^{1/2} - \frac{\varepsilon_i \varepsilon_0}{q^2 \delta} \approx 2,5 \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}. \quad (8)$$

Отсюда можно заключить, что на границе раздела металла с полупроводником существует большая концентрация поверхностных состояний, которые в значительной степени могут повлиять на все свойства контакта, в том числе и на их фото- чувствительность. На рис. 4 представлена спектральная зависимость фототока для структуры с толщиной металлического слоя порядка 100 \AA без просветляющих покрытий и при приложенном обратном напряжении $0,5 \text{ В}$. Такой тонкий слой характеризуется более чем 80% пропусканием света в области $3\text{-}5 \text{ мкм}$. Длинноволновая граница фото-чувствительности, равная $\sim 5,3 \text{ мкм}$, определяется шириной запрещенной зоны InSb. В области коротких длин волн коэффициент поглощения больше $2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ [1] и излучение, прошедшее через слой металла, поглощается

непосредственно в области объемного заряда или на расстоянии диффузионной длины от нее, где для неравновесных электронно-дырочных пар существуют благоприятные условия для разделения и создания фототока. Спад fotocувствительности в области коротких длин волн обусловлен ростом рекомбинационных потерь на границе раздела полупроводник-диэлектрический слой и поглощения излучения в металле.

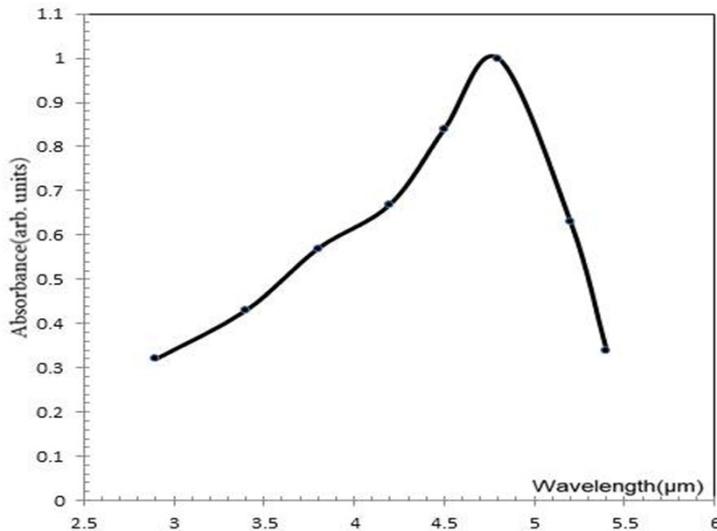


Рис. 4. Зависимость фототока от длины волны падающего света на фотодиод

4. Заключение

Методом лазерно-импульсного осаждения и последующего термического ожига были созданы диоды Шоттки Sb-n-InSb. Измерения и анализ их электрических характеристик позволяют заключить, что свойства таких контактов во многом определяются диэлектрическим зазором между полупроводником и металлом, а также большой концентрацией поверхностных состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Структуры обладали также большой fotocувствительностью в области 3-5 мкм на их основе могут быть созданы эффективные, широкополосные и быстродействующие фотоприемники в средней ИК области.

Работа была выполнена при частичной поддержке гранта РАУ. Авторы выражают благодарность Н. Арамяну за помощь при измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InSb/index.html>
2. *A. Rogalski*, Infrared detectors: an overview, *Infrared Physics*, 43 (2002), 187-210.
3. *А.М. Филачев, И.И. Таубкин, М.А. Трищенко*, Твердотельная фотоэлектроника, М., Физматкнига, 2012.
4. *Ф.Ф. Сизоев*, Фотоэлектроника для систем видения в «невидимых» участках спектра, Киев, Академперіодика, 2008.
5. *T. Fishman, V. Nahum, E. Saguy, Z. Calahorra, I. Shtrichman*, "3D simulation of detector parameters for backside illuminated InSb 2D arrays," Proc. SPIE 6660, Infrared Systems and Photoelectronic Technology II, 666005 (12 September 2007);
6. *B.T. Wysocki, M.A. Marciniak*, *Infrared Phys. Technol.* V. 51, 137 (2008).
7. *В. И. Стриха, Е. В. Бузанова, Н.А. Радзиевский*, Полупроводниковые приборы с барьером Шоттки, М., Сов. Радио, 1974, 248 стр.
8. *H.C. Card, E.H. Rhoderick, J. Phys.* D4, 1589, 1971.
9. *K. Hattori, M. Yuito, T. Amakusa*, Electrical Characteristics of the InSb Schottky Diode, *Phys. Stat.Sol. (a)* v.73, 157164, 1982.
10. *Д.А. Городецкий, Ю.П. Мельник, Д.П. Проскурин, В.А. Усенко*, Структура и электронные свойства пленок сурмы на Мо (110), ФТТ, 2004, т.46, вып. 10, стр. 1873-1880.
11. *С. Зи*, Физика полупроводниковых приборов, т.1, М., Мир, 1984, 455 стр.

ХИМИЯ

SYNTHESIS OF NOVEL 2-S-, 4- AND 5-SUBSTITUTED 6-METHYLPYRIMIDIN-4-OL DERIVATIVES AND THEIR PRELIMINARY BIOLOGICAL EVALUATION

Zh. Azaryan, A. Yengoyan

Russian-Armenian University

zhermen.azaryan@gmail.com

ABSTRACT

A series of novel 2-S-, 4- and 5-substituted 6-methylpyrimidine-4-ol derivatives including pyrazole, 1,2,4-triazole and pyridazine moieties in the molecule were synthesized by accessible and efficient methods. Thiopyrazolyl derivatives were obtained from 2-mercapto-6-methylpyrimidin-4-ol. 4-Triazolyl and 4-aminotriazolylpyrimidines were synthesized from the quaternary ammonium salt of pyrimidine and 4-chloro-substituted 2-thiomethyl-6-methylpyrimidine, respectively. The reaction of the potassium salt of 1-methyl-6-oxo-1,6-dihydropyridazin-3-ole with ethyl 2-chloro-3-oxobutanoate and subsequent treatment with thiourea led to 6-((4-hydroxy-2-mercapto-6-methylpyrimidin-5-yl)oxy)-2-methylpyridazin-3(2H)-one. The synthesized compounds showed a pronounced stimulating action on plants growth. Their growth stimulant activities were in the range of 46-92% compared to heteroauxin.

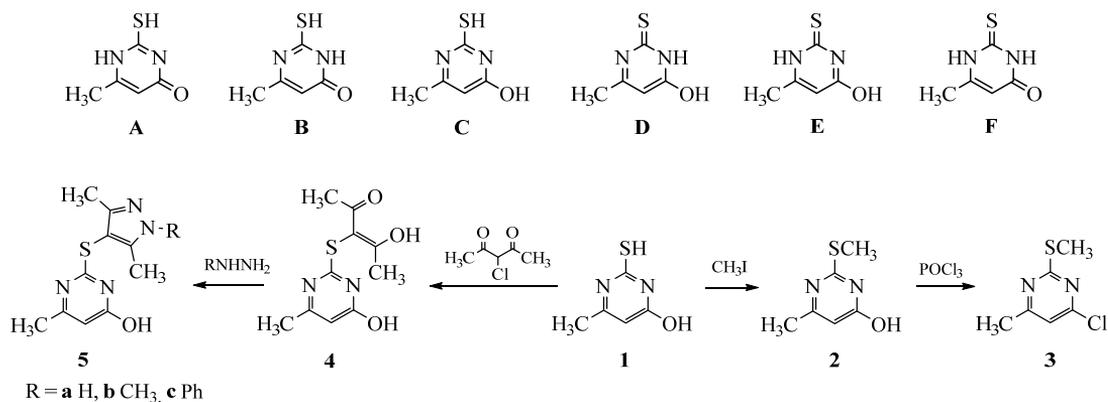
Keywords: 2-thiopyrazolyl-pyrimidines, 4-triazolyl- and 4-aminotriazolyl-pyrimidines, heterocyclization, 5-oxypyridazinyl-pyrimidine, growth stimulant activity

A very large number of medicines and chemical means of plant protection have been developed on the basis of azines and azoles [1, 2]. Pyrimidine derivatives are the active classes of organic compounds possessing broad spectrum of biological activity. Azoles and azines, in particular pyrazole, 1,2,4-triazole, isoxazole and pyridazine, are also a constituent fragment of a large number of medicines, pesticides and plant growth regulators [1,2].

In this regard, the purpose of present study was to develop simple, accessible and high yield methods for the targeted synthesis of heterocyclic systems derivatives based on 2-thio-substituted 6-methylpyrimidin-4-ol with a combination of the latter with an azole and pyridazine cycles and a preliminary biological evaluation of the synthesis products.

The initial compound (**1**), depending on the position of two mobile hydrogen atoms in the molecule, can exist in the six tautomeric forms (**A-F**) (Scheme 1), as a result of which alkylation can lead to both N- and S-substituted products. Earlier in [3] it was shown that the alkylation of compound **1** is carried out in high yield, and only the S-substituted product is formed. The methylation of compound **1** and the subsequent reaction of the obtained product **2** with phosphorus oxychloride afforded 4-chloro-6-methyl-2-(methylthio) pyrimidine (**3**) (Scheme 1). When 2-mercapto-6-methylpyrimidin-4-ol (**1**) was alkylated with 3-chloropentane-2,4-dione, the enol form of 3-(((4-hydroxy-6-methylpyrimidin-2-yl)thio)pentane-2,4-dione was formed (**4**). By the heterocyclization of **4** with various hydrazines, the compounds with a combination of pyrimidine and pyrazole cycles (**5a-c**) in the molecules were obtained (Scheme 1).

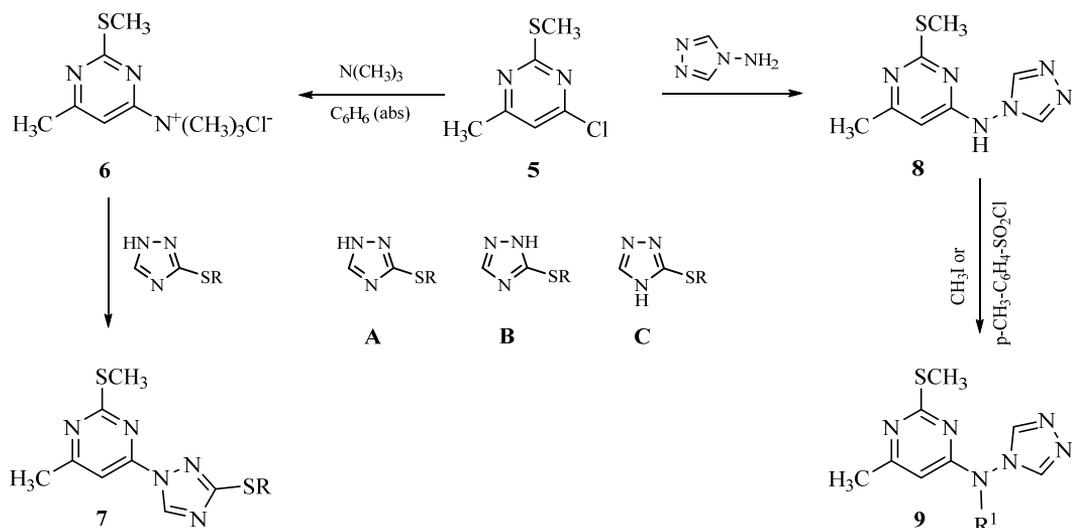
The further transformations were carried out on the basis of 4-chloro-6-methyl-2-(methylthio)pyrimidine (**3**). Its reaction with trimethylamine in absolute benzene afforded N,N,N,6-tetramethyl-2-(methylthio)pyrimidin-4-ammonium chloride (**6**). The latter, with 3-thio-substituted 1,2,4-triazoles, formed the corresponding 4-triazolyl-substituted 2-(methylthio)-4-methylpyrimidines (**7a-g**) (Scheme 2).



Scheme 1. Tautomeric forms and transformations of 2-mercapto-6-methylpyrimidin-4-ol.

When carrying out these reactions, it is necessary to take into account that the alkylation of 1,2,4-triazole-3-thione is carried out at the exocyclic sulfur atom [4] and, depending on the position of the hydrogen atom the 3-thiosubstituted 1,2,4-triazoles can exist in three different tautomeric forms (**A-C**), and the reaction can proceed at each of three nitrogen atoms of triazole ring. In the same paper [4], it was proved that the substitution proceeds at the nitrogen atom in the first position of the triazole cycle.

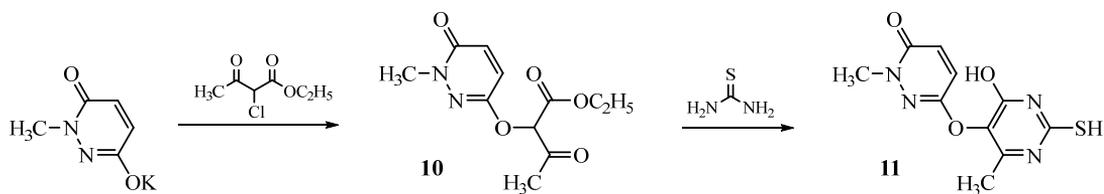
The treatment of 4-chloro-6-methyl-2-(methylthio)pyrimidine (**3**) with 4-amino-1,2,4-triazole afforded 6-methyl-2-(methylthio)-N-(4*H*-1,2,4-triazol-4-yl)pyrimidin-4-amine (**8**), which alkylation with methyl iodide or para-toluenesulfochloride (PTSC) led to N-substituted products (**9a, b**) (Scheme 2).



R = **a** CH₃, **b** CH₂C₆H₅, **c** CH₂COOC₂H₅, **d** CH₂CONH₂,
e CH₂CH₂OC₆H₄-CH₃-p, **f** Pyrazole, **g** Isoxazole

R¹ = **a** CH₃, **b** p-CH₃-C₆H₄-SO₂

Scheme 2. Synthesis of 4-triazolyl- and 4-aminotriazolyl-2-(methylthio)-4-methylpyrimidines.



Scheme 3. Synthesis of 6-((4-hydroxy-2-mercapto-6-methyl-pyrimidin-5-yl)oxy)-2-methylpyridazin-3(2H)-one

Considering the fact that pyridazine derivatives exhibit a wide spectrum of biological activity, an attempt was made to synthesize the new compounds with a combination of pyrimidine and pyridazine cycles in the molecule. For this, at first, ethyl 2-((1-methyl-6-oxo-1,6-dihydropyridazin-3-yl)oxy)-3-oxobutanoate (**10**) was obtained by reaction of potassium 1-methyl-6-oxo-1,6-dihydropyridazin-3-olate with ethyl 2-chloro-3-oxobutanoate, then compound **10**

with thiourea formed the targeted 6-((4-hydroxy-2-mercapto-6-methylpyrimidin-5-yl)oxy)-2-methylpyridazin-3(2*H*)-one (**11**) (Scheme 3).

Biological evaluation

At preliminary screening the pesticidal and growth regulatory activities of novel synthesized compounds were studied. All preparations did not possess noticeable herbicidal or fungicidal properties, but they showed the pronounced growth stimulate activity.

For the growth regulatory properties evaluation the action of aqueous emulsions (25 mg/L and 50 mg/L) of synthesized compounds on the germination, growth and survivability of seeds and seedlings of dicotyledonous bean (*Phaseolus vulgaris* L.) were studied and compared with that of heteroauxin (IAA). Practically all targeted substances have shown growth stimulant properties. The most active compounds (more than 70% compared to heteroauxin) were selected for deeper studies.

BIBLIOGRAPHY

1. *Richards D., Coleman J., Reynolds J., Aronson J.*, Oxford Handbook of Practical Drug Therapy, Oxford; New York: Oxford University Press, 2011.
2. http://www.alanwood.net/pesticides/class_pesticides.html
3. *Dovlatyan V.V., Eliazyan K.A., Pivazyan V.A., Yengoyan A.P.* The reaction of (2-methylmercapto-6-methylpyrimidinyl-4)-trimethylammonia chloride with Onucleophyles, Reports of National Academy of Science of Armenia, 2005, v.105, № 3. P. 272.
4. *Eliazyan K.A., Shahbazyan L.V. Pivazyan V.A., Ghazaryan E.A., Yengoyan A.P.* Synthesis of novel 1,3-substituted 1*H*-[1,2,4]-triazole-3-thiol derivatives, Heteroatom Chem., 2009, v. 20, №7. P. 405

СИНТЕЗ НОВЫХ 2-S-, 4-И 5-ЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 6-МЕТИЛПИРИМИДИН-4-ОЛА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Ж.А. Азарян, А.П. Енгоян

Российско-Армянский университет

АННОТАЦИЯ

Доступными и эффективными методами синтезирован ряд новых 2-S-, 4- и 5-замещенных производных 6-метилпиримидин-4-ола, включая соединения с пиразольным, 1,2,4-триазольным и пиридазиновым фрагментами в молекуле. Тиопиразолил производные были получены из 2-меркапто-6-метилпиримидин-4-ола. 4-Триазолил и 4-аминотриазолилпиримидины были синтезированы, соответственно, из четвертичной аммониевой соли пиримидина и 4-хлорзамещенного 2-тиометил-6-метилпиримидина. Гетероциклизация этил 2-((1-метил-6-оксо-1,6-дигидропиридазин-3-ил)окси)-3-оксобу-таноата тиомочевинной приводило к образованию целевого 5-оксипиридазинил-производного пиримидина. Синтезированные соединения проявили выраженное стимулирующее действие на рост растений. Их ростостимулирующая активность составляла 60–92% по сравнению с гетероауксином.

Ключевые слова: 2-тиопиразолил-пиримидины, 4-триазолил- и 4-аминотриазолил-пиримидины, гетероциклизация, 5-оксипиридазинил-пиримидин, стимулятор роста.

СИНТЕЗЫ ТЕТРАЦИКЛИЧЕСКИХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПИРИМИДИНОВ, С π -СОПРЯЖЕНИЕМ В БОКОВЫХ ЦЕПЯХ

А.А. Арутюнян^{1,2}, Г.Т. Гукасян¹, Г.Г. Данагулян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет,

*²Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии
Национальной академии наук Республики Армения*

*harutyunyan.arthur@yahoo.com, goharghukasyan@email.com,
gdanag@email.com*

АННОТАЦИЯ

В качестве синтонов для конструирования полициклических азаетероцикловс протяженной цепью π -сопряжения впервые предложены 4-метил-2-фенил- и 4,6-диметил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']-имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидины, а также 4-метил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо-[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ол. Установлено, что в результате реакции 4-метил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]-пиримидина с ароматическими и гетероциклическими альдегидами образуются 6-арилметил-(гетерил)-4-метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидины. 4-Метил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ол и (*RS*)-4,6-диметил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидины образуют соответствующие 4-стирилпроизводные только при совместном нагревании реагентов в присутствии $ZnCl_2$.

Ключевые слова: стирилпроизводные, биологические свойства, π -сопряжение, 5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидины.

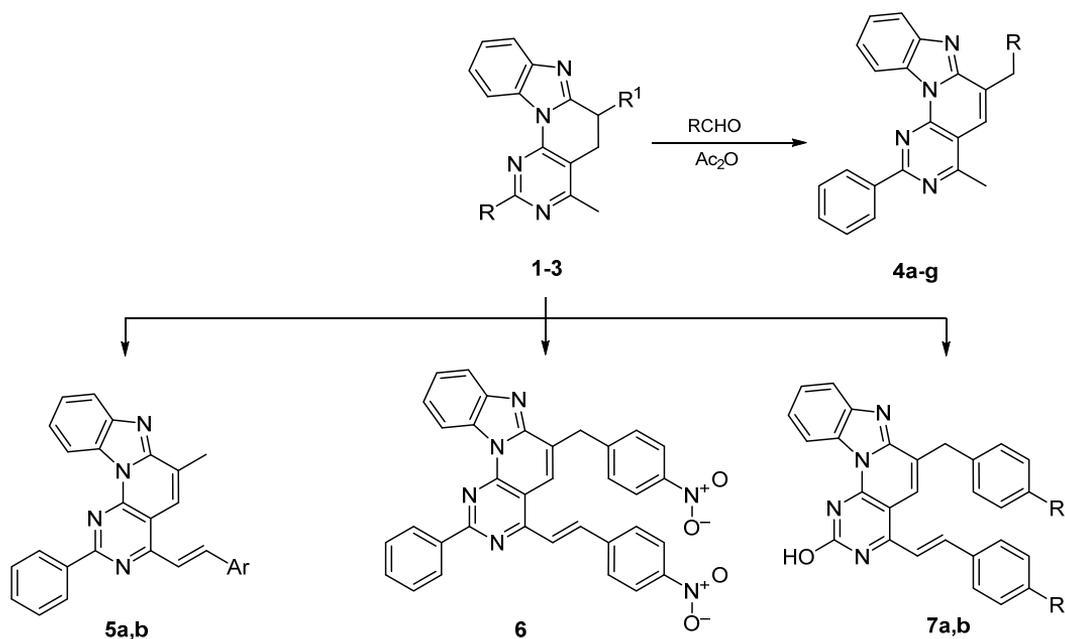
Введение

Последние годы отмечены возрастающим интересом к производным полициклических азотсодержащих гетероциклов, на основе которых разрабатываются новые материалы для медицины и технического применения. Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию конденсированных производных бензо[4',5']имидазо[2',1',6,1]пиридо[2,3-d]пиримидина с протяженной системой конъюгированных π -связей. Подобные системы с цепями π -сопряжения через этиленовые или арильные линкеры должны представлять интерес как в плане их биомедицинского исследования, так и в качестве новых наноматериалов для разработки люминесцентных, фотовольтаических и оптических материалов для техники.

Поскольку данная гетероциклическая система сконструирована на основе трех биологически активных гетероциклов: бензимидазола, пиридина и пиримидина, каждый из которых сам является важным и широко используемым в медицинской химии фармакофорным фрагментом, объединение в одной молекуле различных структурных компонентов создает предпосылки для получения новых биологически активных соединений, свойства которых могут существенно отличаться от биологических свойств составляющих его гетероциклов. Следует также отметить, что до последнего времени число известных производных бензо [4',5'] имидазо [2',1',6,1] пиридо [2,3-d] пиримидина было весьма немногочисленным [1–4], а сведения об их биологических свойствах и вообще отсутствовали. Лишь отдельные соединения этого ряда патентовались в качестве фотоматериалов и флуоресцентных красителей [1].

В связи с разработкой принципиально нового метода конструирования данного гетероцикла, нами получены замещенные бензо [4',5']имидазо[2',1',6,1] пиридо [2,3-d]пиримидины с набором функциональных групп, отсутствующих у ранее описанных производных. Исследованы их химические превращения и изучены некоторые биологические свойства [5, 6].

С учетом вышеизложенного и в продолжение ранее начатых исследований [6], нами синтезированы новые производные бензо[4',5']имидазо[2',1',6,1]пиридо[2,3-d]пиримидина по приведенной ниже схеме:



1: R = Ph, R¹ = H; **2:** R = Ph, R¹ = Me; **3:** R = OH, R¹ = H; **4:** R = Ph
(a), 2-АсО-нафталин-1-ил **(b),** 2,4-Cl₂C₆H₃ **(c),** 4-MeOC₆H₄
(d), CH=CHC₆H₅ **(e),** 4-(OCH₂C₆H₅)C₆H₄ **(f),** тиофен-2-ил **(g);** **5:** R = NO₂**(a),** Cl **(b);**
7a,b: R = NO₂ **(a),** Cl **(b).**

Результаты и обсуждение

В ходе проведенных исследований нами изучены реакции 4-метил- и (*RS*)-4,6-диметил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидинов (**1,2**) и 4-метил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ола (**3**) с ароматическими и гетероциклическими альдегидами в различных экспериментальных условиях. Установлено, что в условиях кипячения исходных соединений **1–3** с ароматическими и гетероциклическими альдегидами в уксусном ангидриде, даже с использованием двукратного количества ароматического альдегида, только 4-метил-2-фенилпроизводное **1** реагирует исключительно по метиленовой группе положения 6 пиридинового фрагмента тетрацикла. Образовавшееся

первоначально 6-бензилиденное производное претерпевает 1,3-прототропный сдвиг, результатом которого становится перемещение двойной связи изэкзоциклического положения в кольцо и образование 6-арил(гетерил)метил-4-метилпроизводных **4a-g**.

Отмеченный ход реакции подтвержден спектроскопией ЯМР¹H соединения **4f**. Впользувнутрициклического положения двойной связи свидетельствуют величина химического сдвига олефинового протона H⁵(J = 7.87 м.д.), характерная для ароматических структур, а не этиленовой двойной связи, а также то, что для этого протона наблюдается ЯЭО как с протонами метиленовой, так и метильной групп, причем с метильной группой этот эффект выражен сильнее.

(*RS*)-4,6-Диметил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1',6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин **2**, в котором активное положение 6 блокировано метильной группой гладко образует соответствующие 4-стирилпроизводные **5a,b** при совместном нагревании реагентов в присутствии ZnCl₂.

В тех же условиях, при взаимодействии с двукратным количеством ароматических альдегидов в случае 4-метил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидина (**1**) и 4-метил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ола (**3**) в реакцию вовлекаются оба реакционных центра с образованием бис-производных **6,7a,b**.

Строение бензилпроизводного **4a** доказано также методом РСА (Рис. 1, 2).

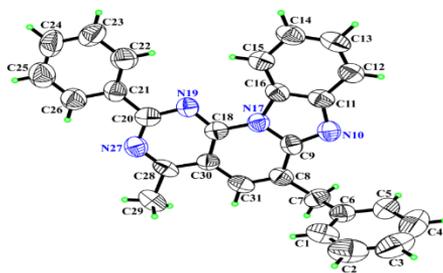


Рис.1. Молекула 6-бензил-4-метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидина (**4a**) с произвольной нумерацией атомов. Эллипсоиды анизотропных тепловых колебаний изображены с 50% -ной вероятностью.

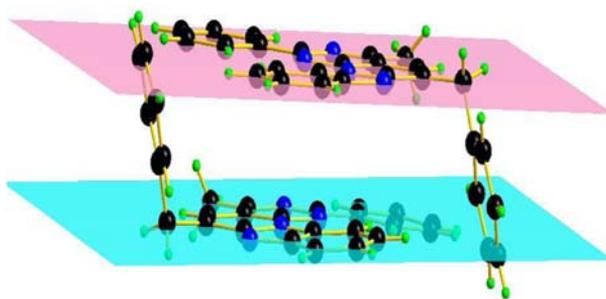


Рис. 2. Пара молекул 6-бензил-4-метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]-пириимидина (**4a**), связанные между собой посредством ароматических взаимодействий.

Рентгеноструктурный анализ кристалла соединения **4a** показал, что в нем имеются 4 сим-метрично неэквивалентные молекулы, а общее число молекул в элементарной ячейке – 32. Конформационные расчеты показали, что все циклические фрагменты имеет плоскую конформацию, отклонения атомов от усредненных плоскостей не превышают 0,0130(2)Å. В трехмерной упаковке молекул межмолекулярные взаимодействия в основном обусловлены вандервальсовыми силами.

Таким образом, разработанные химические превращения создают возможности для последовательного введения разных заместителей в кольцевую систему бензо[4',5']имидазо-[2',1',6,1]пиридо[2,3-d]пириимидина путем постадийного проведения реакции, а именно, первоначального введения заместителя в положение 6 кольца по реакции с одним альдегидом в среде уксусного ангидрида и, затем, в положение 4 сплвлением с другим альдегидом, в присутствии $ZnCl_2$.

Изучены антибактериальные и антимоноаминоксидазные свойства некоторых синтезированных соединений. Найдено, что тетрациклы **4d, 4e, 5b, 6, 7a** проявляют некоторое тормозящее действие на активность моноаминоксидазы (МАО) мозга крысы в опытах *in vitro*, ингибируя активность фермента в пределах 34-69%.

Материалы и методы

ИК-спектры сняты на приборе “NicoletAvatar 330” в вазелиновом масле. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C получены на приборе Varian “Mercury-300 VX” с частотой 300.8 МГц и 75,46 МГц, в растворе $\text{DMSO-d}_6/\text{CCl}_4$: 1/3, внутренний стандарт – ТМС. ТСХ проведена на пластинах марки “Silufol UV-254” в системе бензол – ацетон (2-1), проявитель – пары йода. Температуру плавления определяли на приборе SMP 30, данные элементного анализа получены на автоматическом элементном анализаторе Euro EA 3000, а индивидуальность конечных соединений проверяли на жидкостном препаративном хроматографе HPLC KnauerAZURA PREP + Analytical UV Detector.

Антибактериальную активность соединений изучали методами “диффузии в агаре по описанному методу. В экспериментах использовали стандартные эталонные штаммы микроорганизмов (Государственный контрольный институт медицинских биологических препаратов им. Л.А.Тарасевича, Россия), отличающиеся по чувствительности к антибактериальным препаратам: два штамма грамположительных стафилококков (*Staphylococcus aureus* 209p и *Staphylococcus aureus* 1) и грамотрицательные палочки (*Shigella flexneri* 6858, *Escherichia coli* 0-55). Антимоноаминоксидазные свойства соединений изучались по их влиянию на дезаминирование серотонина (5-ОТ) моноаминоксидазой (МАО) мозга *in vitro* по описанному методу.

Экспериментальная часть

Общая методика получения 6-замещенных бензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо-[2,3-d]пиримидинов (4a-g). Смесь 3.12 г (0.01 моля) 4-метил-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо-[2',1',6,1]пиридо[2,3-d]пиримидина(1)[5] и 0.02 моля соответствующего альдегида кипят в 30 мл уксусного ангидрида 8ч. После охлаждения выпавший осадок отфильтровывают и высушивают. Полученные соединения далее очищают перекристаллизацией из ДМФА. ТСХ проведена на пластинах марки “Silufol UV-254” в системе этанол – дихлорэтан (1:1).

6-Бензил-4-метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин(4a). Выход 45.3%, т. пл. 218-220°C, R_f 0,4. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 1622, 1597 (C=C-C=N). Спектр ЯМР ^1H (DMSO-d_6), δ , м. д., Гц: 2.83 с

(3H, CH₃); 4.38 уш.с (2H, CH₂); 7.21 тт (1H, $J=7.3, 1.4$, Ar); 7.28-7.34 м (2H, Ar); 7.47-7.61м (7H, Ar); 7.88 уш.т (1H, $J=1.0$, =CH); 7.90-7.95 м (1H, Ar); 8.49-8.56 м (2H, Ar); 9.01-9.07 м (1H, Ar). Найдено %, С 80.86; Н 4.98; N 13.88. С₂₇Н₂₀Н₄. Вычислено %, С 80.98; Н 5.03; N 13.99.

1-(4-Метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-6-илметил)-2-нафтилацетат (4b). Выход 48.2%, т. пл. 238-240°C, $R_f 0.56$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1755, 1679 (CO), 1621, 1599 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹Н (ДМСО-d₆), $\delta, \text{м. д.}, \text{Гц}$: 2.30 с (3H, COCH₃); 2.59 с (3H, CH₃); 4.86 д (2H, $J=1.3$, CH₂); 7.13 т (1H, $J=1.3$, =CH); 7.37 д (1H, $J=8.9$, C₆H₂); 7.39-7.62 м (7H, Ar); 7.92-7.97 м (3H, Ar); 7.99-8.04 м (1H, Ar); 8.55-8.60 м (2H, *o*-C₆H₅); 9.15-9.20 м (1H, Ar). Найдено %, С 80.36; Н 4.86; N 11.28. С₃₃Н₂₄Н₄О. Вычислено, %: С 80.47; Н 4.91; N 11.37.

6-(2,4-Дихлорбензил-4-метил-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]-пиримидин(4с). Выход 51.2%, т. пл. 224-226°C, $R_f 0.42$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1618, 1600 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹Н (ДМСО-d₆), $\delta, \text{м. д.}, \text{Гц}$: 2.79 с (3H, CH₃); 4.42 (2H, CH₂); 7.31 дд (1H, $J=8.3, 2.0$, H-5; C₆H₃Cl₂); 7.35 д (1H, $J=8.3$, H-6; C₆H₃Cl₂); 7.52-7.63 м (5H, Ar); 7.68 д (1H, $J=2.0$, H-3; C₆H₃Cl₂); 7.74 уш. (1H, =CH); 7.76-7.92 м (1H, Ar); 8.51-8.57 м (2H, *o*-C₆H₅); 9.03-9.08 м (1H, Ar). Найдено %, С 69.01; Н 3.76; N 11.82. С₂₇Н₁₈Cl₂Н₂. Вычислено, %: С 69.09; Н 3.87; N 11.94.

4-Метил-6-(4-метоксибензил)-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин(4d). Выход 50.3%, т. пл. 198-200°C, $R_f 0.45$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1612, 1599 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹Н (ДМСО-d₆), $\delta, \text{м. д.}, \text{Гц}$: 2.85 с (3H, CH₃); 3.70 с (3H, COCH₃); 4.31 уш.с (2H, CH₂); 6.85-6.90 м (2H, C₆H₄OCH₃); 7.39-7.44 м (2H, C₆H₄OCH₃); 7.54-7.63 м (5H, Ar); 7.86 т (1H, $J=0.9$, =CH); 7.91-7.98 м (1H, Ar); 8.52-8.57 м (2H, *o*-C₆H₅); 9.04-9.11 м (1H, Ar). Найдено %, С 78.01; Н 5.02; N 12.88. С₂₈Н₂₂Н₄О. Вычислено, %: С 78.12; Н 5.15; N 13.01.

4-Метил-2-фенил-6-[(E)-2-пропенил-3-фенил]бензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]-пиридо[2,3-d]пиримидин(4е). Выход 46.2%, т. пл. 204-206°C, $R_f 0.45$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1625, 1597 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹Н (ДМСО-d₆), $\delta, \text{м. д.}, \text{Гц}$: 8.97-9.03 м (1H); 8.50-8.56 м (2H); 7.86-7.92 м (1H); 7.60 т ($J=1.0$); 7.44-7.54 м; 7.36-7.40 м; 7.23-7.29 м; 7.16 тт ($J=7.3, 1.4$); 6.62 д ($J=15.8$,

CH=CH); 6.60 дт ($J=15.8, 5.7$, CH=CH); 3.93 дд ($J=5.7, 1.0$); 2.84 с (3H). Найдено %, С 81.56; Н 5.08; N 13.08. $C_{29}H_{22}N_4$. Вычислено, %: С 81.66; Н 5.20; N 13.14.

3-Бензилоксибензил-(2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]-пиримидин-6-ил)метан (4f). Выход 44.5%, т. пл. 220-222°C, $R_f 0.45$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1598, 1573 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., $\Gamma\upsilon$: 2.85 с (3H, CH₃); 4.31 уш.с (2H, CH₂); 5.05 с (2H, OCH₂); 6.92-6.97 м (2H, *n*-C₆H₄); 7.25-7.44 м (7H, Ar); 7.54-7.63 м (5H, Ar); 7.87 т ($J=1.0$, =CH); 7.92-7.97 м (1H, C₆H₄); 8.52-8.57 м (2H, C₆H₅); 9.05-9.11 м (1H, C₆H₄). Найдено %, С 80.56; Н 5.08; N 10.98. $C_{34}H_{26}N_4O$. Вычислено, %: С 80.61; Н 5.17; N 11.06.

4-Метил-6-(тиенилметил)-2-фенилбензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]-пиримидин (4g). Выход 44.5%, т. пл. 198-200°C, $R_f 0.46$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1623, 1599 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., $\Gamma\upsilon$: 2.81 с (3H, CH₃); 4.57 уш.с (2H, CH₂); 6.98 дд (1H, $J=5.1, 3.5$, 4-Н тиоф.); 7.11 уш.дд (1H, $J=3.5, 1.2$, 3-Н тиоф.); 7.36 дд (1H, $J=5.1, 1.2$, 5-Н тиоф.); 7.52-7.61 м (5H, Ar); 7.90 уш.с (1H, =CH); 7.90-7.96 м (1H, Ar); 8.48-8.54 м (2H, *o*-C₆H₅); 8.98-9.04 м (1H, Ar). Найдено, С 73.66; Н 4.38; N 13.68. $C_{25}H_{18}N_4S$. Вычислено, %: С 73.87; Н 4.46; N 13.78.

Общая методика получения стирилпроизводных 5a,b, 6, 7a,b. Смесь 0.01 моля соответствующего тетрацикла **2,3** [5], 0.02 моля ароматического альдегида и 2.72 г (0.02 моля) безводного ZnCl₂ нагревают при 170-10°C на бане Вуда 3-4 ч. После охлаждения остаток растирают со спиртом, фильтруют, сушат и очищают перекристаллизацией из ДМФА.

6-Метил-4-[(E)-2-(4-нитрофенил)-1-этенил]-2-фенил-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин (5a). Выход 56.2%, т. пл. > 310°C, $R_f 0.52$. ИК-спектр, $\nu, \text{см}^{-1}$: 1620, 1597 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., $\Gamma\upsilon$: 2.76 д (3H, $J=1.0$, CH₃); 7.53-7.67 м (5H, Ar); 7.90-7.94 м (1H, Ar); 8.20-8.25 м (2H); 8.29-8.34 м (2H, C₆H₄NO₂); 8.40 д (1H, $J=15.4$, CH=CH); 8.43 уш. (1H, CH=CCH₃); 8.44 д (1H, $J=15.4$, CH=CH); 8.70-8.75 м (2H, *o*-C₆H₅); 9.16-9.20 м (1H, Ar). Найдено, %: С 73.47; Н 4.82; N 15.28. $C_{28}H_{19}N_5O_2$. Вычислено, %: С 73.51; Н 4.91; N 15.31.

6-Метил-2-фенил-4-[(E)-2-(4-хлорфенил)-1-этенил]-5,6-дигидробензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин (5b). Выход

57.0%, т. пл. 258-260°C, R_f 0,42. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1686, 1619 (C=C-C=N). Спектр ЯМР ¹H (ДМСО-d₆), δ , м.д., $\Gamma\upsilon$: 2.69 д (3H, J1.0, CH₃); 7.41-7.46 м (2H, C₆H₄Cl); 7.49-7.58 м (5H, Ar); 7.84-7.91 м (3H, Ar); 8.01 д (1H, J15.2, CH=CH); 8.16 к (1H, J1.0, =CH); 8.25 д (1H, J15.2, CH=CH); 8.62-8.66 м (2H, Ar); 9.07-9.11 м (1H, Ar). Найдено, %: C 75.11; H 4.16; N 12.42. C₂₈H₁₉ClN₄. Вычислено, %: C 75.25; H 4.28; N 12.54.

6-(4-Нитробензил)-4-[(E)-2-(4-нитрофенил)-1-этенил]-2-фенилбензо[4',5']-имидазо[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин (6). Выход 51.5%, т. пл. > 310°C, R_f 0,44. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1666, 1595 (C=C-C=N). Спектр ЯМР ¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., $\Gamma\upsilon$: 4.56 уш.с (2H, CH₂); 7.54-7.70 м (5H, Ar); 7.75-7.80 м (2H, *n*-C₆H₄); 7.92 уш.д (1H, J8.0, C₆H₄); 8.13-8.18 м (2H, *n*-C₆H₄); 8.20-8.25 м (2H, *n*-C₆H₄); 8.29-8.34 м (2H, *n*-C₆H₄); 8.38 д (1H, J15.4, CH=CH); 8.47 д (1H, J15.4, CH=CH); 8.71 уш.с (1H, CH=CCH); 8.70-8.76 м (2H, *o*-C₆H₅); 9.13 уш.д (1H, J7.7, C₆H₄). Найдено, %: C 70.47; H 3.72; N 14.48. C₃₄H₂₂N₆O₄. Вычислено, %: C 70.58; H 3.83; N 14.53.

6-(4-Нитробензил)-4-[(E)-2-(4-нитрофенил)-1-этенил]бензо[4',5']имидазо-[2',1':6,1]пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ол (7a). Выход 50.4%, т. пл. > 310°C, R_f 0,31. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1671 (CO), 1604 (C=C-C=N). Спектр ЯМР ¹H (ДМСО-d₆), δ , м.д., $\Gamma\upsilon$: 4.44 с (2H, CH₂); 7.44-7.52 м (2H, Ar); 7.70-7.75 м (2H, C₆H₄NO₂); 7.80-7.85 м (1H, C₆H₄); 8.07-8.17 м (6H, Ar); 8.29-8.34 м (2H, C₆H₄NO₂); 8.41 уш. (1H); 8.93 уш. (1H); 12.49 уш. (1H, OH). Найдено, %: C 64.77; H 3.42; N 16.18. C₂₈H₁₈N₆O₅. Вычислено, %: C 64.86; H 3.50; N 16.21.

6-(4-Хлорбензил)-4-[(E)-2-(4-хлорфенил)-1-этенил]бензо[4',5']имидазо[2',1':6,1]-пиридо[2,3-d]пиримидин-2-ол (7b). Выход 53.8%, т. пл. > 310°C, R_f 0,33. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1658 (CO), 1614, 1600 (C=C-C=N). Спектр ЯМР ¹H (ДМСО-d₆), δ , м.д., $\Gamma\upsilon$: 4.28 уш. (2H, CH₂); 7.30-7.35 м (2H, C₆H₄Cl); 7.46-7.51 м (4H, C₆H₄Cl); 7.56-7.61 м (2H, C₆H₄Cl); 7.82-7.93 м (2H, C₆H₄); 7.89 уш. (1H, =CH); 7.90 д (1H, J15.8, CH=CH); 8.06 д (1H, J15.8, CH=CH); 8.27-8.35 м (1H, C₆H₄); 8.90-8.98 м (1H, C₆H₄); 12.38 уш. (1H, OH). Найдено, %: C 67.51; H 3.56; N 11.12. C₂₈H₁₈Cl₂N₄O. Вычислено, %: C 67.61; H 3.65; N 11.26.

Исследование частично выполнено в Российско-Армянском университете за счет средств, выделенных в рамках субсидии МОН РФ на финансирование научно-исследовательской деятельности РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ger. Offen.* 2,929,414. Pyrimido[5',4':5,6]pyrido[1,2-a]benzimidazoles // *Chem. Abstr.*, 1981, v. 95, 44732f.
2. *Bogdanowicz-Szwed K., Czarny. A.* Synthesis of polyazaheterocycles by Michael addition of CH acids to α,β -unsaturated nitriles. Synthesis of pyrido[1,2-a]benzimidazole and pyrimido-[5',4:5,6] pyrido[1,2-a]benzimidazole derivatives. // *J. Prakt. Chem.*, 1993, v. 335. PP. 279–282.
3. *Elwan N.M.* First synthesis of novel pentaheterocyclic ring system of 1,2,4-triazolo-[2",3":6',1']-pyrimido[4',5':2,3]pyrido[1,2-a] benzimidazole. // *J. Heterocycl. Chem.*, 2004, v. 41. PP. 281–284.
4. *El-Zohry M.F., Mohamed T.A., Hussein E.M.* Novel syntheses of some new 3,4-dihydrospiro{benzimidazo[1,2-a]pyridine-3,30-indolin}-20-one derivatives // *Monatsh. Chem.*, 2009, v. 140. PP. 265–272.
5. *Арутюнян А.А.* Автореф. дисс. «Исследования в области синтеза пиримидинов и полициклических азаетеро циклов» доктора хим. наук. Ер., 2017.
6. *Арутюнян А.А., Гукасян Г.Т., Данагулян Г.Г.* π -Протяженные системы на основе полициклических конденсированных пиримидинов // *Материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию кафедры органической химии ПГНИУ «От синтеза полиэтилена до стереодивергентности: развитие химии за 100 лет».* Пермь, 2018. СС. 69–71.

SYNTHESES OF TETRACYCLIC CONDENSED PYRIMIDINES WITH π -CONJUGATION IN THE SIDE CHAINS

A. Harutyunyan^{1,2}, G. Ghukasyan¹, G. Danagulyan^{1,2}

¹*Russian-Armenian University*

²*The Scientific Technological Center of Organic and Pharmaceutical Chemistry NAS RA*

For the first time, 4-methyl-2-phenyl-, 4,6-dimethyl-2-phenyl-5,6-dihydrobenzo[4',5']-imidazo[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidines and 4-methyl-5,6-dihydrobenzo[4',5']imidazo-[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]-pyrimidin-2-ol were proposed as synthons for constructing polycyclic azaheterocycles with an extended π -conjugation chain. It has been established that the reaction of 4-methyl-2-phenyl-5,6-dihydrobenzo[4',5']imidazo[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidine with aromatic and heterocyclic aldehydes form 6-arylmethyl(heteryl)-4-methyl-2-phenylbenzo[4',5']imidazo[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidines. 4-Methyl-5,6-dihydrobenzo-[4',5']imidazo[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidin-2-ol and (*RS*)-4,6-dimethyl-2-phenyl-5,6-dihydrobenzo[4',5']-imidazo[2',1',6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidines smoothly form the corresponding 4-styryl derivatives only when the reagents are heated together in the presence of ZnCl₂.

Keywords: styryl derivatives, antibacterial and antimonamine oxidase properties, π -conjugation 5,6-dihydrobenzo[4',5']imidazo[2',1':6,1]pyrido[2,3-d]pyrimidines.

ФАРМАКОФОРСОДЕРЖАЩИЕ ПУШ-ПУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СТИРИЛХИНАЗОЛИНОВ

Г.Г. Данагулян^{1,2}, А.А. Арутюнян^{1,2}, Г.Т. Гукасян¹

¹Российско-Армянский университет,

*²Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии
Национальной академии наук Республики Армения*

*gdanag@email.com, harutyunyan.arthur@yahoo.com,
goharghukasyan@email.com*

АННОТАЦИЯ

Производные хиназолинов в последнее время интенсивно исследуются в качестве биологически активных соединений широкого спектра действия: противовоспалительного, седативного, антимикробного и др.

Представленная работа описывает исследования по синтезу и биологическому изучению производных хиназолинов с фармакофорными группами в положении 3 и с ненасыщенной боковой цепью в положении 2 пиримидинового фрагмента молекулы. Изучены антибактериальные и антимоноаминооксидазные свойства синтезированных соединений.

Ключевые слова: хиназолины, фармакофорные группы, стирил, биологические свойства.

Введение

Известно, что производные хиназолинов в последнее время интенсивно исследуются в качестве биологически активных соединений широкого спектра действия, а именно, противовоспалительного, седативного, антимикробного и др. Помимо этого, интерес к производным хиназолинов в значительной степени обусловлен проявляемой ими высокой противоопухолевой активностью, в частности, способностью ингибировать ряд тронинкиназ, участвующих в регуляции клеточного деления и полимеризации тубулина

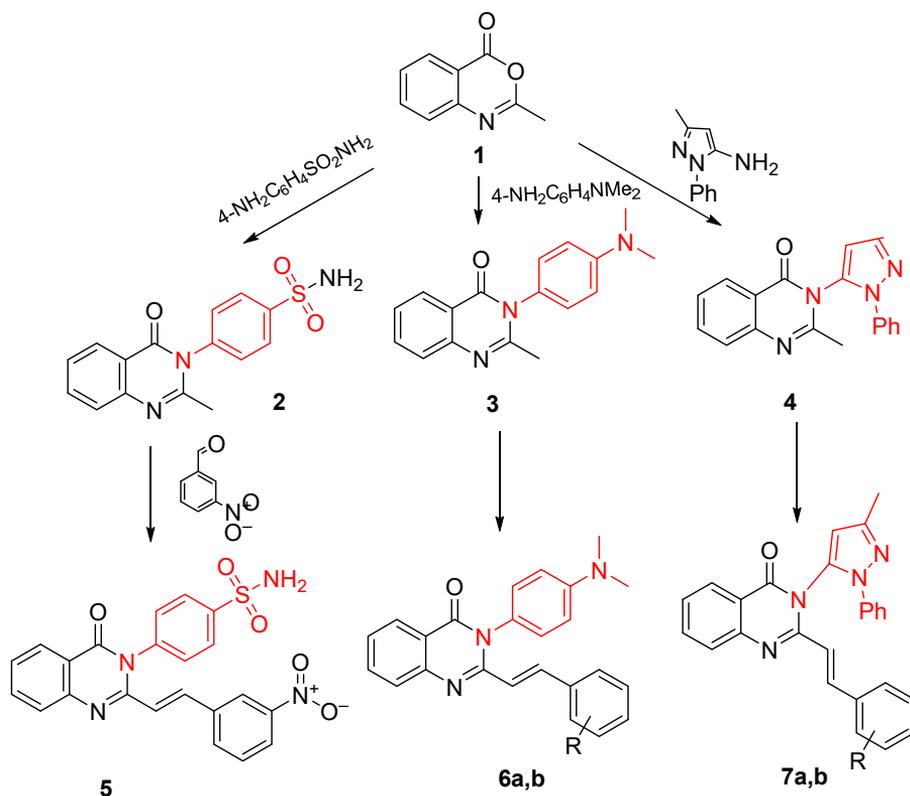
[1]. В контексте вышесказанного, ранее нами уже был описан синтез замещенных 6-йод-2-стирилхиназолинов и стиролпроизводных 3,3'-гексан-1,6-диил-бис[(2-метилхиназолин)-4(3H)-она] и изучены их биологические свойства [2-4].

В продолжение проводимых исследований, в настоящем сообщении нами описан синтез новых 3-замещенных(незамещенных)-2-метил-4(3H)-хиназолин-4-онов и их 2-[(E)-2-арил(гетарил)винил]производных, представленных на схеме.

Результаты и обсуждение

В синтезе исходных соединений использован классический метод конструирования циклической системы хиназолинов, разработанный Богертом и основанный на взаимодействии производных 2-метил-4H-3,1-бензоксазин-4-она с различными аминами. Этот метод позволяет эффективно синтезировать замещенные хиназолины путем введения в реакцию различных аминов, остаток которых в конечном счете вводится в положение 3 кольца хиназолина. Более того, метильная группа в положении 2 гетероцикла, активированная π-дефицитным пиримидиновым кольцом хиназолина, способна к конденсации с ароматическими альдегидами с образованием 2-стиролпроизводных хиназолинов, что еще больше расширяет структурную базу производных хиназолинов, необходимую для прикладных исследований.

Совместным нагреванием 2-метил-4H-3,1-бензоксазин-4-она (**1**) с 4-амино-бензолсульфонамидом или N,N-диметилбензол-1,4-диамином, а с 5-амино-3-метил-1-фенил-1H-пиразолом в среде полифосфорной кислоты (ПФК) получены 3-замещенные хиназолины **2-4** с хорошими выходами. Выбор аминов, которые определяют характер заместителя в положении 3 кольца хиназолина, сделан с учетом концепции молекул-гибридов, то есть соединений, объединяющих в структуре два или более фармакофоров. В этом плане, в качестве аминов нами использованы 4-амино-бензолсульфонамид, N,N-диметилбензол-1,4-диамин и 2-амино-3-метил-1-фенилпиразол.



6a,b, 7a,b: R = 4-ClC₆H₄ (a), 2,4-Cl₂C₆H₃ (b).

Использование 4-аминобензолсульфонамида интересно в плане введения в целевую молекулу остатка 4-аминобензолсульфонамида (сульфаниламида) – известного антибактериального препарата.

Поскольку стильбены и их гетероциклические аналоги являются эффективными ингибиторами роста перевиваемой карциномы Уокера, введение в молекулу хинолина N,N-диметилфенильной группы вполне обосновано, так как указанная группа повторяет структурный мотив известных N,N-алкилпроизводных *para*-аминостильбена и его гетероциклических аналогов. Наконец гетероциклическая система пиразола рассматривается

как важный скаффолд в изыскании новых лекарственных препаратов, обладающих анальгетическими, антипиретическими, транквилизирующими, антимоноаминоксидазными, антибактериальными и другими свойствами.

Взаимодействие исходных 2-метилхиназолинов **2-4** с ароматическими альдегидами

осуществлено в условиях кипячения в уксусной кислоте, в результате чего получены соответствующие 2-стирилпроизводные **5, 6a,b, 7a,b**.

Изучены антибактериальные и антимоноаминоксидазные свойства синтезированных соединений. Показано, что хиназолины **4, 5, 6a,b, 7b** проявляют слабые антибактериальные свойства, тормозя рост микробов в зоне диаметром 10-12 мм, в то время как производные **3** и **7a** совершенно не проявили активности. Интересно, что присутствие в хиназолине **5** остатка сульфаниламида не приводит к появлению у соединения выраженных антибактериальных свойств. Вместе с тем хиназолины **7a** и **7b** оказали некоторое тормозящее действие на активность моноаминоксидазы (МАО) мозга крысы в опытах *invitro*, ингибируя активность фермента, соответственно, на 52% и 33%.

Материалы и методы

ИК-спектры сняты на приборе “NicoletAvatar 330” в вазелиновом масле. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C получены на приборе Varian “Mercury-300 VX” с частотой 300.8 МГц и 75,46 МГц, в растворе ДМСО- d_6 / CCl_4 : 1/3, внутренний стандарт – ТМС. ТСХ проведен на пластине марки “Silufol UV-254” в системе бензол – ацетон (2-1), проявитель – пары йода.

Антибактериальную активность соединений изучали методами «диффузии в агаре по описанному методу». В экспериментах использовали стандартные эталонные штаммы микроорганизмов (Государственный контрольный институт медицинских биологических препаратов им. Л.А.Тарасевича, Россия), отличающиеся по чувствительности к антибактериальным препаратам: два штамма грамположительных стафилококков (*Staphylococcus aureus* 209p и *S. Aureus*1) и грамотрицательные палочки (*Shigella flexneri* 6858, *Esherichiacoli* 0-55). Антимоноаминоксидазные

свойства соединений изучались по их влиянию на дезаминирование серотонина (5-ОТ) моноаминоксидазой (МАО) мозга *invitro*, по описанному методу.

Экспериментальная часть

Общая методика получения хиназолинов 2,3. Смесь 1.61 г (0.01 моля) 2-метил-4Н-3,1-бензоксазин-4-она (**1**) и 0.01 моля соответствующего амина нагревают 4 ч на бане Вуда при 160-170 °С. После завершения реакции остаток растворяют при нагревании в 30 мл спирта, оставляют на ночь на холоду, выпавший осадок отфильтровывают и высушивают. При получении хиназолина 3 те же количества бензоксазин – 4-она **1** и 1.73 г (0.01 моля) 5-амино-3-метил-1-фенил-1 Н-пиразола нагревают при 160–170 °С в 5 г ПФК 4 ч, после охлаждения нейтрализуют разбавленным NH₄OH до слабощелочной реакции. Выпавший осадок отфильтровывают, высушивают и перекристаллизовывают из спирта.

4-(2-Метил-4-оксо-3,4-дигидро-3-хиназолинил)-1-бензенсульфамид (2). Выход 45.8%, т. пл. 264-266°С, R_f0.5. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3279 (NH₂), 1668 (CO), 1654 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 2.20 с (3H, CH₃); 7.30 уш. с (2H, NH₂); 7.45 ддд (1H, J=7.9, 7.2, 1.0, C₆H₄); 7.50-7.55 м (2H, C₆H₄SO₂); 7.61 уш. д (1H, J=8.2, C₆H₄); 7.76 ддд (1H, J=8.2, 7.2, 1.5, C₆H₄); 8.03-8.08 м (2H, C₆H₄SO₂); 8.12 уш. д (1H, J=7.9, C₆H₄). Найдено %, С 57.01; H 4.08; N 13.28. C₁₅H₁₃N₃O₃S. Вычислено, %: С 57.13; H 4.16; N 13.33.

3-(4-Диметиламинофенил)-2-метил-3,4-дигидро-4-хиназолинон (3). Выход 60.5%, т. пл. 228-230°С, R_f0.47. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1683 (CO), 1610 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 2.15 с (3H, CH₃); 2.97 с (6H, NCH₃); 6.79-6.84 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.14-7.19 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.49 ддд (1H, J=8.0, 7.1, 1.0, C₆H₄); 7.63 уш. д (1H, J=8.1, C₆H₄); 7.81 ддд (1H, J=8.0, 7.1, 1.3, C₆H₄). Найдено, %, С 71.98; H 4.98; N 17.68. C₁₇H₁₇N₃O. Вычислено, %: С 72.13; H 5.10; N 17.71.

2-Метил-3-(3-метил-1-фенил-1Н-5-пиразолил)-3,4-дигидро-4-хиназолинон (4). Выход 55.3%, т. пл. 158-160°С, R_f0.48. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1691 (CO), 1610 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 2.23 с (3H, CH₃); 2.50 д (3H, J=0.4, 3-CH₃ Пир.); 6.45 к (1H, J=0.4, 4-Н Пир.); 7.35-7.48 м (5H, C₆H₅); 7.58 ддд (1H, J=7.9, 7.2, 1.2, C₆H₄); 7.65 ддд (1H, J=8.2, 1.2,

0.6, C₆H₄); 7.87 ддд (1H, J=8.2, 7.2, 1.6, C₆H₄); 8.25 ддд (1H, J=7.9, 1.6, 0.6, C₆H₄). Найдено %, C72.98; H6.98; N14.88. C₁₉H₁₆N₄O. Вычислено, %: C73.10; H6.13; N15.04.

Общая методика получения 5, 6a,b, 7a,b. Смесь 0.01 моля исходного хиразолина и 0.01 моля ароматического альдегида нагревают при 170–180°C на бане Вуда 1 ч. После охлаждения остаток растирают со спиртом, отфильтровывают и сушат. Полученные соединения далее очищают перекристаллизацией из ДМФА.

4-{2-[(E)-2-(3-Нитрофенил)-1-этенил]-4-оксо-3,4-дигидро-3-хиназолинил}-1-бензолсульфамид (5). Выход 45.5%, т. пл. 310–312°C, R_f0.45. ИК-спектр, ν , см⁻¹:3310 (NH₂), 1655 (CO), 1604(C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 6.52 д (1H, J=15.5, CH=CH); 7.33 уш. с (2H, NH₂); 7.50 ддд (1H, J=8.1, 7.1, 1.2, C₆H₄); 7.52–7.57 м (2H, C₆H₄SO₂); 7.61 т (1H, J=7.9, 5-Н C₆H₄NO₂); 7.72–7.78 м (2H, Ar); 7.83 ддд (1H, J=8.1, 7.1, 1.5, C₆H₄); 8.00 д (1H, J=15.3, CH=CH); 8.08–8.13 м (2H, C₆H₄SO₂); 8.12–8.19 м (2H, Ar); 8.23 т (1H, J=1.8, 2-Н C₆H₄NO₂). Найдено %, C 58.81; H3.55; N12.38. C₂₂H₁₆N₄O₅S. Вычислено, %: C58.92; H3.60; N12.49.

3-(4-Диметиламинофенил)-2-[(E)-2-(4-хлорофенил)-1-этенил]-3,4-дигидро-4-хиназолинон(6a). Выход 52.4%, т. пл. 210–212°C, R_f0.51. ИК-спектр, ν , см⁻¹:1678 (CO), 1633(C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 3.09 с (6H, NCH₃); 6.44 д (1H, J=15.5, =CH); 6.80–6.85 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.05–7.10 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.29–7.36 м (4H, C₆H₄Cl); 7.43 ддд (1H, J=7.9, 7.0, 1.3, C₆H₄); 7.68 уш. д (1H, J=8.2, C₆H₄); 7.76 ддд (1H, J=8.2, 7.0, 1.5, C₆H₄); 7.87 д (1H, J=15.5, =CH); 8.14 дд (1H, J=7.9, 1.5, C₆H₄). Найдено %, C71.68; H4.98; N10.38. C₂₄H₂₀ClN₃O. Вычислено, %: C71.73; H5.02; N10.46.

3-(4-Диметиламинофенил)-2-[(E)-2-(2,4-хлорофенил)-1-этенил]-3,4-дигидро-4-хиназолинон(6b). Выход 51.8%, т. пл. 242–244°C, R_f0.53. ИК-спектр, ν , см⁻¹:1682 (CO), 1630 (C=C-C=N). Спектр ЯМР¹H (ДМСО-d₆), δ , м. д., Гц: 3.08 с (6H, NCH₃); 6.49 д (1H, J=15.5, =CH); 6.79–6.84 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.06–7.11 м (2H, C₆H₄NMe₂); 7.24 дд (1H, J=8.5, 2.0, C₆H₃); 7.29 д (1H, J=8.5, C₆H₃); 7.44 д (1H, J=2.0, C₆H₃); 7.45 ддд (1H, J=8.0, 6.7, 1.6, C₆H₄); 7.71–7.80 м (2H, C₆H₄); 8.12 д (1H, J=15.5, =CH); 8.15 дд (1H, J=8.0,

1.2, C₆H₄). Найдено %, C65.98; H4.28; N9.58. C₂₄H₁₉Cl₂N₃O. Вычислено, %: C66.06; H4.39; N9.63.

3-(3-Метил-1-фенил-1H-5-пиразолил)-2-[(E)-2-(4-хлорофенил)-1-этенил]-3,4-ди-гидро-4-хиназолинон(7a). Выход 50.5%, т. пл. 216-218°C, R_f0.51. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1682 (CO), 1636(C=C=N). Спектр ЯМР¹H (DMCO-d₆), δ , м. д., Гц: 2.46 с (3H, CH₃); 6.35 д (1H, J=15.4, =CH); 6.39 уш. с (1H, 4-Нпир.); 7.22-7.30 м (5H, C₆H₅); 7.34-7.43 м (4H, C₆H₄Cl); 7.48 ддд (1H, J=7.9, 7.2, 1.1, C₆H₄); 7.66 уш. д (1H, J=8.1, C₆H₄); 7.80 ддд (1H, J=8.1, 7.2, 1.5, C₆H₄); 7.81 д (1H, J=15.4, =CH); 8.14 дд (1H, J=7.9, 1.5, C₆H₄). Найдено %, C71.04; H4.28; N12.68. C₂₆H₁₉ClN₄O. Вычислено, %: C71.15; H4.36; N12.77.

2-[(E)-2-(2,4-Дихлорфенил)-1-этенил]-3-(3-метил-1-фенил-1H-5-пиразолил)-3,4-дигидро-4-хиназолинон(7b). Выход 49.7%, т. пл. 206-208°C, R_f0.43. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1694 (CO), 1631(C=C=N). Спектр ЯМР¹H (DMCO-d₆), δ , м. д., Гц: 2.44 с (3H, CH₃); 6.40 с (1H, 4-Нпир.); 6.43 д (1H, J=15.4, =CH); 7.22-7.34 м (6H, Ar); 7.44-7.53 м (3H, Ar); 7.70 уш. д (1H, J=8.1, C₆H₄); 7.81 уш. ддд (1H, J=8.1, 7.1, 1.4, C₆H₄); 8.06 д (1H, J=15.4, =CH); 8.15 уш. д (1H, J=7.9, C₆H₄). Найдено, %, C 65.91; H3.78; N11.78. C₂₆H₁₈Cl₂N₄O. Вычислено, %: C65.97; H3.83; N11.84.

Исследование частично выполнено в Российско-Армянском университете за счет средств, выделенных в рамках субсидии МОН РФ на финансирование научно-исследовательской деятельности РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ajani O.O., Audu O.Y., Aderohunmu D.V., Owolabi E.O., Olomieja A.O. // Am. J. Drug Discov.Dev., v. 7, 2017, №1. PP. 1–24.
2. Арутюнян А.А., Гукасян, Г.Т. Паносян Г.А., Данагулян Г.Г. Новые гибкие структуры на основе бис-стирилхиназолинонов // Хим. ж. Армении. Т.71, № 1–2, 2018. СС. 249–253.

3. *Harutyunyan A.A., Ghukasyan G.T., Danagulyan G.G.* Synthesis of 2-styryl derivatives of N, N-bis-substituted quinazolines // *Org. Med. Chem. II*, v.7, 2018, issue 4. P. 001.
4. *Данагулян Г.Г., Арутюнян А.А., Гукасян Г.Т.* Синтез 2-стирилпроизводных замещенных хиназолинов // *Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры органической химии ПГНИУ «От синтеза полиэтилена до стереодивергентности: развитие химии за 100 лет»*. 2018, Пермь. СС. 103–105.

STYRYL QUINAZOLINE-BASED PHARMACOPHORE-CONTAINING PUSH-PULL SYSTEMS

G. Danagulyan^{1,2}, A. Harutyunyan^{1,2}, G. Ghukasyan¹

¹Russian-Armenian University

*²The Scientific Technological Center of Organic
and Pharmaceutical Chemistry NAS RA*

Recently, quinazoline derivatives have been intensively studied as biologically active compounds with a wide spectrum of action: anti-inflammatory, sedative, antimicrobial, etc.

The presented work describes studies on the synthesis and biological study of quinazoline derivatives with pharmacophore groups in position 3 and with an unsaturated side chain in position 2 of the pyrimidine fragment of the molecule. The antibacterial and antimonooxidase properties of the synthesized compounds were studied.

Keywords: quinazolines, pharmacophore groups, styryl, biological properties.

СИНТЕЗЫ НА ОСНОВЕ 2-АЦЕТИЛЦИКЛОПЕНТАНОНА

Г. Г. Данагулян^{1,2}, А. П. Бояхчян², Т. Э. Георгян^{1,2}

¹Российско-Армянский университет,

²Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии
Национальной академии наук Республики Армения

gdanag@email.com

АННОТАЦИЯ

Изучен синтез различных гетероциклов на основе 2-ацетилциклопентанона, в частности, производных пиразола, пиримидина и конденсированных систем пиразоло[1,5-а]пиримидина и 1,2,4-триазоло [1,5-а]пиримидина. В ряде случаев доказательство структуры синтезированных веществ осуществлено с применением методики NOESY ЯМР спектроскопии, благодаря наблюдающемуся ядерному эффекту Оверхаузера (ЯЭО).

Ключевые слова: 2-ацетилциклопентанон, пиримидин, пиразол, пиразоло[1,5-а]пиримидины, 1,2,4-триазоло [1,5-а] пиримидины.

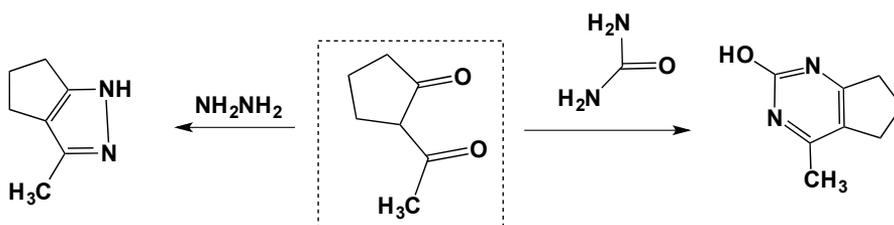
Введение

В химии гетероциклов одними из наиболее востребованных реагентов остаются – дикарбонильные соединения, в частности, β-дикарбонильные соединения. Последние широко используются в синтезе как азолов, так и азинов, в том числе пиримидина и пиразола. В случае использования несимметричных β-дикарбонильных соединений реакции могут сопровождаться образованием смеси изомеров, хотя нередки случаи и региоселективного циклообразования [1].

В представленном сообщении описаны реакции 2-ацетилциклопентанона с различными 1,2- и 1,3-динуклеофилами, приводящие к получению конденсированных с циклопентановым кольцом производных пиразола и

пиримидина, а также предложен метод доказательства строения конечных соединений через получение йодметилатов синтезированных веществ и анализ их NOESY-спектров ЯМР.

Изучено взаимодействие 2-ацетилциклопентанона с мочевиной, а также различными гидразинами, в частности, с гидратом гидразина и 2-гидразино-4,6-диметилпиримидином, что приводит, соответственно, к получению 4-метил-5,6,7,7а-тетрагидро-4аH-циклопента[d]пиримидин-2-ола, 3-метил-1,4,5,6-тетрагидроциклопента[с]пиразола и 1-(4,6-диметилпиримидин-2-ил)-3-метил-1,4,5,6-тетрагидроциклопента[с]пиразола.

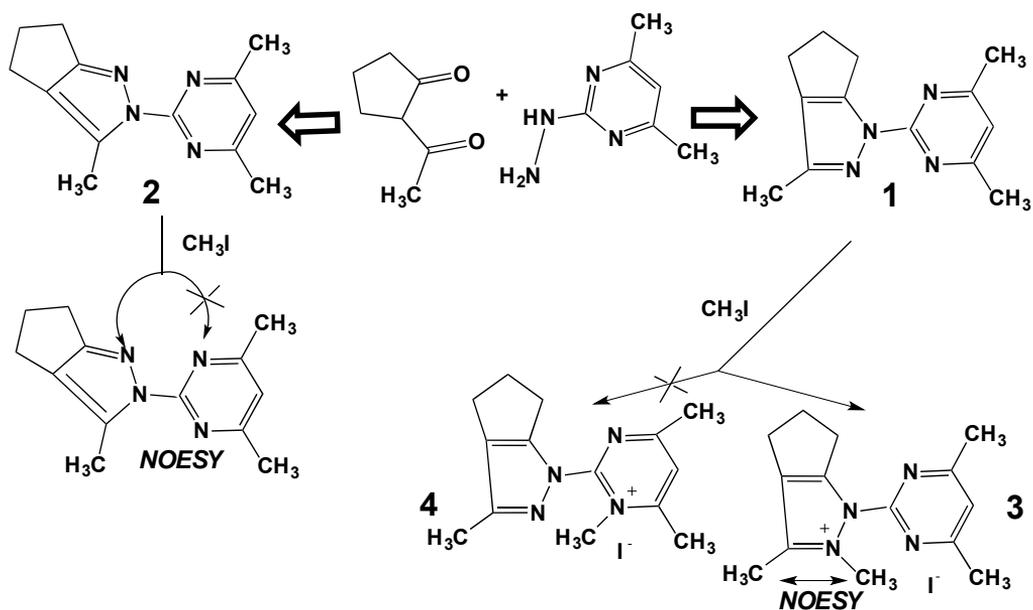


В последнем случае из-за несимметричности обоих реагентов образование пиразольного кольца может протекать неоднозначно и приводить к получению двух разных изомеров, соответственно, **1** и **2**, которые трудно было бы различить по спектрам ЯМР ^1H и ^{13}C .

Для доказательства строения продуктареакции был применен метод, использованный нами ранее [2, 3], а именно: алкилирование метилйодидом и последующее исследование спектров ЯМР.

Структуру образующегося продукта циклизации удалось однозначно доказать его алкилированием метилйодидом и последующим исследованием спектров ЯМР полученного йодметилата на предмет наличия ЯЭО протонов метильных групп.

Следует отметить, что как показано на схеме, можно было ожидать алкилирования как по пиримидиновому, так и по пиразольному атомам азота, что с учетом возможности альтернативных путей циклизации, с образованием соединений **1** и **2**, могло привести к получению 4 разных продуктов алкилирования.

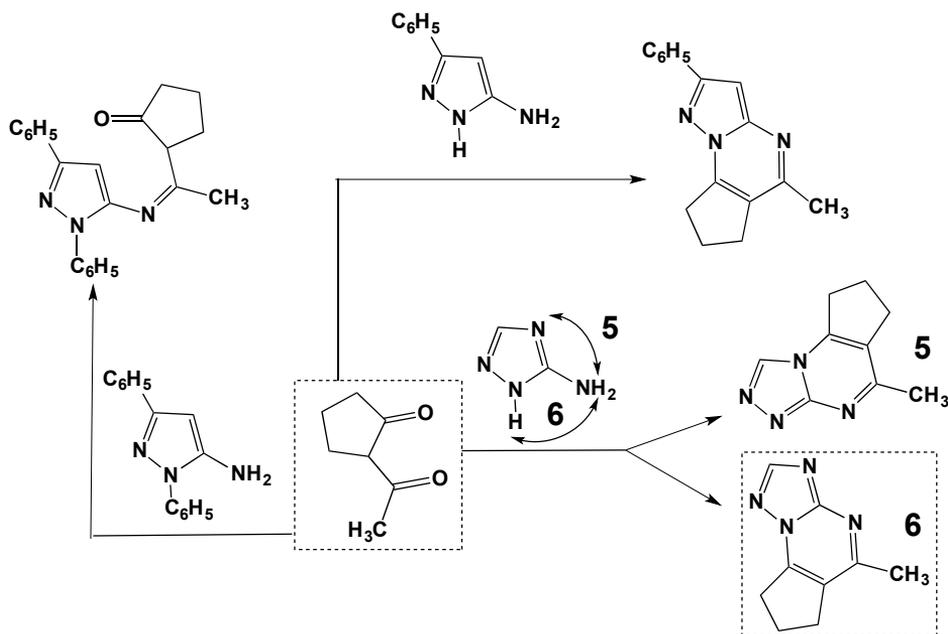


В спектре NOESY продукта метилирования отмечен ядерный эффект Оверхаузера между протонами двух метильных групп ($N_{(2)}-CH_3$ и $N_{(3)}-CH_3$) пиразольного кольца, что возможно лишь при образовании изомера **1**. Отметим, что об алкилировании атома азота пиразольного кольца в молекуле **3**, а не пиримидинового (соединение **4**), которые могли образоваться из 1-(4,6-диметилпиримидин-2-ил)-3-метил-1,4,5,6-тетрагидроциклопента[с]-пиразола (**1**) свидетельствует также сохранение в спектре ЯМР 1H идентичности сигналов двух метильных групп пиримидинового кольца в продукте алкилирования, в данном случае, соединения **3** – иодида 1-(4,6-диметилпиримидин-2-ил)-2,3-диметил-1,4,5,6-тетрагидроциклопента [с] пиразолия. Образование в ходе циклизации соединения **2** было исключено, поскольку при алкилировании метилйодидом по свободному атому азота пиразольного кольца взаимодействия двух метильных групп в NOESY-спектре не наблюдалось бы.

Изучено также взаимодействие 2-ацетилциклопентанона с некоторыми α -аминоазидами, в частности, с 3-фенил-5-аминопиразолом и 3-амино-1,2,4-триазолом, в результате чего были синтезированы соответствующие пиразоло[1,5-а]пиримидин и триазолопиримидин. Примечательно, что

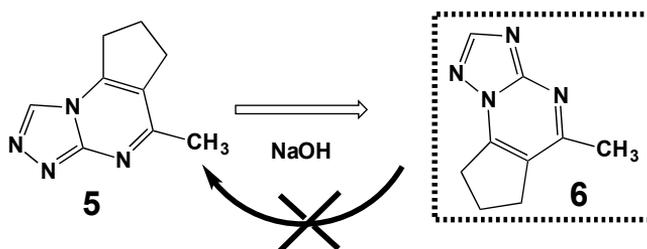
взаимодействие 2-ацетилциклопентанона с 1,3-дифенил-5-аминопиразолом привело к циклизации с образованием пиридинового кольца и был выделен лишь ациклический продукт конденсации – 2-[1-(1,3-дифенил-1*H*-пиразол-5-илимино)этил] циклопентанон.

Анализ спектров ЯМР ^1H -продуктареакции с 3-фенил-5-аминопиразолом говорит об образовании производного пиразолопиримидина, о чем свидетельствует сохранение в спектре сигнала ароматического протона 3-*H* пиразольного кольца (отметим, что в этом случае не исключалась возможность циклизации с образованием не пиримидинового, а пиридинового кольца [4], в частности, производного 1*H*-пиразоло [3,4-*b*]пиримидина). Так же, как в случае взаимодействия с 2-амино-1,2,4-триазолом не исключалась возможность получения двух разных региоизомеров, соответственно, триазолопиримидинов с [4,3-*a*] (**5**) и [1,5-*a*] (**6**) сочленением пяти- и шестичленного гетероциклов.



Отметим, что спектры ЯМР ожидаемых изомерных триазолопиримидинов, соответственно, **5** и **6** не должны иметь существенных различий, что естественно, затрудняет их идентификацию. Для доказательства строения

выделенного продукта циклизации мы воспользовались литературными данными, свидетельствующими о необратимом и единственном для триазолопиримидинов пути изомеризационного превращения одного из изомеров в другой. Так, в ранее проведенных в нашей и ряде других лабораторий исследованиях было доказано, что в щелочной среде триазоло [4,3-а]пиримидины, как и соответствующие [4,3-с] изомеры изомеризуются в триазоло [1,5-а]пиримидины, во втором случае в [1,5-с] производные (перегруппировка Димрота), однако, обратный процесс не протекает[5-9]. Многочасовое кипячение выделенного нами триазолопиримидина в спиртовом растворе щелочи показало, что при этом каких-либо изменений не наблюдается, что однозначно свидетельствует об образовании изомера **6**, а не **5**, то есть получении нами 5-метил-7,8-дигидро-6*H*-циклопента[*e*]-1,2,4-триазоло[1,5-*a*]пиримидина (**6**).



Исследование выполнено в Российско-Армянском университете за счет средств, выделенных в рамках субсидии МОН РФ на финансирование научно-исследовательской деятельности РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шокова Э.А., Ким Дж.К., Ковалев В.В. 1,3-Дикетоны. Синтез и свойства // Журнал органической химии, 2015, Т. 51, Вып. 6. СС. 773–847.
2. Данагулян Г.Г., Туманян А.К., Бояхчян А.П. Сочетание методик N-алкилирования и NOESY ЯМР-спектроскопии при доказательстве строения

- веществ // Уральский научный форум «Современные проблемы органической химии», Екатеринбург, 8–12 июня 2014г. С. 140.
3. *Данагулян Г.Г., Бояхчян А.П., Туманян А.К., Киноян Ф.С., Григорян Т.А.* Синтез некоторых [1,3]тиазоло[3,2-а]пиримидинов на основе 2-амино-тиазола и их спектральное исследование // Хим. ж. Армении, 2013, Т. 66, № 1. СС. 76–83.
 4. *Мкртчян А.Д.* Исследование нуклеофильных изомеризационных рециклизаций пиримидинов // Канд. дисс., Ер., 2006г. С. 57.
 5. *Кост А.Н., Сагитуллин Р.С., Данагулян Г.Г.* Изомеризация 5,7-диметилтриазоло[4,3-а]пиримидина под действием щелочных агентов. // ХГС, 1976, № 5. СС. 706–708.
 6. *Shaban M.A.E., Morgaan A.E.A.* The Chemistry of 1,2,4-triazolopyrimidines. I: 1,2,4-triazolo [4,3-a]pyrimidines // Advances in Heterocyclic Chemistry, 1999, vol 73. PP. 131–177.
 7. *El Ashry E.S.H., Rashed N.* 1,2,4-Triazolo and tetrazolo[x, y-z]pyrimidines // Advances in Heterocyclic Chemistry, 1998, vol. 72. PP. 127–224.
 8. *Danagulyan G.G., Saakyan L.G., Zalinyan M.G.* A new example of the Dimroth rearrangement in the 1,2,4-triazolo[4,3-c]pyrimidine series. // Chem. Heterocycl. Compd., 1992, № 8, PP.186–188.
 9. *Danagulyan G.G., Saakyan L.G., Panosyan G.A., Bulakhov G.A., Terent'ev P.B., Zalinyan M.G.* Unusual Dimroth rearrangement of an allyl-1,2,4-triazolo[4,3-c]pyrimidine // Chem. Heterocycl. Compd., 1994, № 5, 1332–1334.

2-ACETYLCYCLOPENTANONE-BASED SYNTHESSES

G. Danagulyan^{1,2}, A. Boyakhchyan², T. Georgyan^{1,2}

¹Russian-Armenian University

*²The Scientific Technological Center of Organic
and Pharmaceutical Chemistry NAS RA*

The synthesis of various heterocycles based on 2-acetylcyclopentanone, in particular, new derivatives of pyrazole, pyrimidine and condensed systems of pyrazolo[1,5-a]pyrimidine and 1,2,4-triazolo[1,5-a]pyrimidine has been studied. The structure of the synthesized compounds in some cases was proved by the NOESY NMR spectroscopy technique, due to the observed Nuclear Overhauser Effect (NEO).

Keywords: 2-acetylcyclopentanone, pyrimidine, pyrazole, pyrazolo[1,5-a]pyrimidine, 1,2,4-triazolo[1,5-a]pyrimidine.

БИОЛОГИЯ И БИОИНЖЕНЕРИЯ

PREVALENCE OF GENES ASSOCIATED WITH EFFLUX-MEDIATED ANTIBIOTIC RESISTANCE IN NON-TYPHOIDAL *SALMONELLA* STRAINS

M. Zakharyan

Institute of molecular biology NAS RA

linazakharyan@gmail.com

ABSTRACT

Salmonella infections remain one of the leading causes of gastrointestinal disorders in the world resulting in significant morbidity and some mortality. Treatment of *Salmonella* infections, in both animals and humans has become more difficult with the emergence of multidrug-resistant (MDR) *Salmonella* strains. There are several mechanisms of bacterial resistance to antimicrobial (AM) drugs and active efflux of AMs is considered one of the most important mechanisms of resistance in non-typhoidal *Salmonella* (NTS) strains. In this work, the presence, diversity, and prevalence of genes encoding the efflux pumps (EPs) in 44 clinical NTS strains was explored using Whole Genome Sequencing (WGS) data analysis.

Keywords: *Salmonella*, multidrug resistance, WGS analysis, efflux pumps.

Introduction

Non-typhoidal *Salmonella* (NTS) *enterica* is considered as a major cause of foodborne infections in humans and still is an important health concern in Armenia [1, 2]. *S. enterica* subsp. *enterica* ser. Enteritidis and ser. Typhimurium are the most frequent serotypes that cause salmonellosis in humans worldwide

[2, 3, 4]. During the last decades an increasing number of therapeutic failures appeared because of high rate of resistance to antimicrobial agents [5]. The emergence and dissemination of resistant bacteria hampers the use of conventional antibiotics, and growing resistance to newer antimicrobial agents is aggravating the situation [6]. Moreover, multidrug resistant (MDR) isolates have been reported as causative agents of numerous outbreaks, dramatically complicating the choice of therapy in many areas [7]. There are several mechanisms of bacterial resistance to antimicrobial drugs: (i) decreased drug uptake, (ii) drug modification, (iii) modification of the ribosomal target of the drug, (iv) EPs that remove antimicrobial drugs from the bacterial cell. This study focused on the efflux pumps mediated resistance in NTS.

Active efflux of antibiotics is considered one of the most important mechanisms of resistance in NTS strains [8, 9]. Multiple drug efflux systems play an important role in the survival of *Salmonella* spp. in various natural conditions [10–13]. Efflux pumps are proteins localized in plasma membrane in bacterial cell, which are known to efflux a wide range of compounds (antibiotics, dyes, detergents, disinfectants, fatty acids, etc.) from within the bacterial cell to the external environment.

Based on the sequence similarity, the efflux pumps are classified into five families: 1) the major facilitator (MF) family (EmrAB-TolC and MdfA); 2) the resistance-nodulation-division (RND) family (AcrAB-TolC, AcrA-AcrD-TolC, AcrEF-TolC, MdtABC-TolC, and MdsAB-MdsC or MdsAB-TolC); 3) the small multidrug resistance (SMR) family; 4) the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family (MdtK); 5) the ATP-binding cassette (ABC) family (MacAB-TolC) [8, 10]. It was shown that *S. Typhimurium* strains have the following functional drug EPs: AcrAB, AcrD, AcrEF, MdtABC, MdsAB, EmrAB, MdfA, MdtK and MacAB [11–13].

It should be noted, that EPs belonging to the RND family play an important role in the intrinsic resistance of *Salmonella* spp. [10]. These EPs function as a tripartite complex composed of the EP protein that is located in the inner membrane of bacteria and must interact with the periplasmic adaptor protein (membrane fusion protein) and the outer membrane channel. These proteins form a channel across the bacterial cell envelope. The tripartite EPs excrete drugs into the external medium and are efficient in creating resistance to antibiotics,

especially AcrAB, a constitutive RND transporter of *Salmonella* spp. and *E. coli* [10]. Of note, the TolC protein is a major outer membrane channel of AcrAB EP as well as of some other tripartite EPs of *Salmonella* [14].

It should be noted, that some members of the ABC superfamily (e.g., MacB), the MATE family (e.g., MdtK), and the MF (e.g., EmrB) also are organized in this manner. In contrast, the EPs that exist as single-component pumps in the inner membrane, including the vast majority of MF and SMR pumps, are less effective in the development of resistance phenotype, because the drug molecules that are excreted into the periplasm can diffuse back into the cytosol [15, 16]. It should be noted, that RND pumps, which can capture antibiotics from the periplasm [17], can collaborate with the single-component EPs and thus increase their efficacy [18].

Expression of AcrAB-TolC EP is modulated precisely by its local repressor, AcrR, as well as by global transcriptional regulators of the AraC family, RamA, MarA, SoxS, and Rob [19-21]. It was reported, that the resistance to antibiotic may be increased by the up-regulation of EPs and down-regulation of porins [22, 23]. Besides, recent evidence suggests that RND pumps play an important role in the virulence of Gram-negative pathogens and indicates the interplay between antibiotic resistance and virulence [14, 24].

Thus, the aim of this work was to carry out the bioinformatics analysis of NTS strains isolated in Armenia to identify the genes encoding the EPs.

Materials and Methods

Isolates: The study included a total of 44 NTS strains isolated from patients with salmonellosis over the period from 1996 to 2016 at the “Nork” Clinical Hospital of Infectious Diseases (MH, Armenia). Diagnosis was based on clinical presentations and laboratory analyses. Clinical presentations consistent with gastroenteritis were diarrhea, fever, nausea, vomiting, and abdominal cramps. For this investigation, only the patients that were not taking any type of medication including antibiotics before the hospital admission were chosen. Fecal samples were collected on the first or the second day of hospital admission. All the strains isolated from fecal samples confirmed to be *Salmonella enterica* by standard biochemical and serological tests. Serotypes of *Salmonella* were determined using the standard Kauffman-White scheme with the use of

204

commercially available polyvalent antisera for flagellar (H) and for lipopolysaccharide (O) [25]. The serotypes of the strains included in this work were as follows: *S. Typhimurium* (30 strains), *S. Enteritidis* (8 strains), *S. Derby* (3 strains), *S. Agona* (1 strain), *S. Kentucky* (1 strain), and *S. Newport* (1 strain). All these strains were provided by the “Nork” Clinical Hospital of Infectious Diseases for further investigations at the Laboratory of molecular genetics (IMB NAS, Armenia).

The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Institute of Molecular Biology NAS RA (IORG number 0003427, Assurance number FWA00015042, and IRB number 00004079).

All strains were previously tested for susceptibility to antibiotics belonging to 10 classes of antimicrobials using disk-diffusion method according to CLSI standards [26]. Among the strains included in this work, the 33 strains displayed MDR phenotype and 11 strains showed non-MDR phenotype.

WGS and annotation: DNA samples of NTS strains were extracted using MO BIO Laboratories Inc. UltraClean® Microbial DNA Isolation Kit in accordance with the manufacturer's instructions. Whole genome sequencing of NTS isolates was performed by WGS provider, MicrobesNG (UK, Birmingham, <https://microbesng.uk/>), within the frames of the ISTC project A-2140. Assembled genomes provided by MicrobesNG were annotated using RGI (Resistance Gene Identifier) analyzer of the comprehensive antibiotic resistance database (CARD; <https://card.mcmaster.ca/analyze/rgi>).

Results and discussion

The presence, diversity and prevalence of genes encoding for EPs were explored in clinical NTS strains using WGS analysis.

The results indicated the following prevalent EPs: AcrAB (97.7%), AcrD (93.2%), AcrEF (100%), EmrB (97.7%), EmrD (100%), mdfA (88.63%), MdsAB (100% and 95.5%), MdtK (97.7%), MsbA (95.5%), and PatA (100%). It should be noted, the AcrEF, EmrD, PatA EPs were identified in all sequenced NTS strains (100%). The lower prevalence was observed for the following detected EPs: emrA (2.3%), macAB (27.3%), oqxB (29.5%), and Tet(ABC) (45.5%, 29.5%, 13.6% respectively).

Besides, the *tolC* and *mdsC* genes encoding for outer membrane proteins were identified with the prevalence of 100% and 97.1%, respectively. Of note, TolC protein is a major outer membrane channel of multidrug efflux complexes in *Salmonella* including those mentioned above: AcrAB, AcrD, AcrEF, MdtABC, EmrAB, and MacAB. The MdsC protein is subunit of MdsAB-MdsC tripartite complex; however, it was shown that MdsAB system is dependent on the presence of either TolC or MdsC proteins [19].

The following genes involved in regulation of EPs were detected: *baeR* (98.55%), *cpxA* (97.1%), *cpxR* (100%), *crp* (98.55%), *emrR* (100%), *golS* (100%), *h-ns* (100%), *marA* (100%), *marR* (98.55%), and *sdiA* (97.1%).

It should be noted, that *tolC*, *ramA*, and *acrEF* genes were identified with the lower percent identity (89%, 85%, and 88%, respectively); whereas, the percent identity of all other genes was above 90%.

The prevalence of EPs in NTS strains identified by WGS annotation was analyzed depending on their serotype and resistance phenotype.

The results indicated that there were no differences between the groups studied in the prevalence of genes encoding for the prevalent EPs (*acrAB*, *acrD*, *acrEF*, *emrB*, *emrD*, *mdfA*, *mdsAB*, *mdtK*, *msbA*, and *patA*), outer membrane proteins (*tolC* and *mdsC*), as well as for genes involved in regulation of EPs (*baeR*, *cpxAR*, *crp*, *emrR*, *golS*, *h-ns*, *marA*, *marR*, and *sdiA*).

In summary, our results indicated the prevalence and variability of genes coding for EPs in the genomes of pathogens isolated from patients with salmonellosis in Armenia. There were no differences in the prevalence of genes coding for EPs among the prevalent serotypes, *S. Enteritidis* and *S. Typhimurium*. The *tet(ABC)* genes were found only in the strains showed resistant phenotype to tetracycline. The prevalence of all other EPs encoding genes identified was the same in the studied NTS strains irrespective of their phenotype of resistance to AMs.

BIBLIOGRAPHY

1. *Alcaine S.D., Warnick L.D., Wiedmann M.* Antimicrobial Resistance in Nontyphoidal Salmonella. *Journal of Food Protection*, 70(3), 2007. PP. 780–790.

2. *Rabsch W., Tschape H., Baumler A.* Non-typhoidal salmonellosis: emerging problems. *Microbes Infect.* 3, 2001. PP. 237–247.
3. *Coburn B., Grassl G.A., Finlay B.B.* Salmonella, the host and disease: a brief review. *Immunol. Cell. Biol.* 85, 2007. PP. 112-118.
4. *Levine M.M., Roy M. Robins-Browne.* Factors That Explain Excretion of Enteric Pathogens by Persons Without Diarrhea. *Clin Infect Dis* 55 (suppl_4), 2012. PP. 303–311.
5. *Heithoff D.M., Shimp W.R., lau P.W., et al.* Human *Salmonella* Clinical Isolates Distinct from Those of Animal origin. *Appl. Environ. Microbiol*, 10, 2008. PP. 1757–1766.
6. *Sriken B.* Salmonella pathogenicity islands. *Mikrobiyol Bul.* 47(1), 2013. PP. 181–8.
7. *Lawley T.D., Bouley D.M., Hoy Y.E., et al.* Host Transmission of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium Is Controlled by Virulence Factors and Indigenous Intestinal Microbiota, *INFECTION AND IMMUNITY*, Vol. 76, No. 1, 2008. PP. 403–416.
8. *Poole, K.* Efflux-mediated multiresistance in Gram-negative bacteria. *Clin. Microbiol. Infect.* 2004. PP. 12–26.
9. *Nikaido H., Pages J.M.* Broad-specificity efflux pumps and their role in multidrug resistance of Gram-negative bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 36, 2012. PP. 340–363.
10. *Paulsen I.T.* Multidrug efflux pumps and resistance: Regulation and evolution. *Curr. Opin. Microbiol.* 6, 2003. PP. 446–451.
11. *Nishino K., Latifi T., Groisman E.A.* Virulence and drug resistance roles of multidrug efflux systems of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Mol Microbiol* 59, 2006. PP. 126–41.
12. *Nikaido H., Basina M., Nguyen V., Rosenberg E.Y.* Multidrug efflux pump AcrAB of *Salmonella typhimurium* excretes only those β -lactam antibiotics containing lipophilic side chains. *J Bacteriol* 180: 1998. PP. 4686–4692.
13. *Nishino K., Nikaido E., Yamaguchi A.* Regulation of multidrug efflux systems involved in multidrug and metal resistance of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *J Bacteriol* 189: 2007. PP. 9066–9075.

14. Horiyama T., Yamaguchi A., Nishino K. TolC dependency of multidrug efflux systems in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *J Antimicrob Chemother*, 65: 2010. PP. 1372–1376.
15. Dinesh M. F., A. Kumar. Resistance-Nodulation-Division Multidrug Efflux Pumps in Gram-Negative Bacteria: Role in Virulence, *Antibiotics* 2, 2013. PP. 163-181.
16. Citation L. X-Z, Plésiat P., Nikaido H. The challenge of efflux mediated antibiotic resistance in Gram-negative bacteria. *Clin Microbiol Rev* 2015.
17. Aires J.R., Nikaido H. Aminoglycosides are captured from both periplasm and cytoplasm by the AcrD multidrug efflux transporter of *Escherichia coli*. *J Bacteriol* 187, 2005. PP. 1923–1929.
18. Tal N., Schuldiner S. A coordinated network of transporters with overlapping specificities provides a robust survival strategy. *Proc Natl Acad Sci USA* 106, 2009. PP. 9051–9056.
19. Chen Y., H. D., Zhang Q., Liao X-P., et al. Efflux Pump Overexpression Contributes to Tigecycline Heteroresistance in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 7:37, 2017.
20. Pérez A., Poza M., Aranda J., et al. Effect of transcriptional activators SoxS, RobA, and RamA on expression of multidrug efflux pump AcrAB-TolC in *Enterobacter cloacae*. *Antimicrob. Agents Chemother.* 56, 2012. PP. 6256–6266.
21. Nikaido E., Yamaguchi A., Nishino K. AcrAB multidrug efflux pump regulation in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium by RamA in response to environmental signals. *J. Biol. Chem.* 283, 2008. PP. 24245–24253.
22. Delihias N., Forst S. MicF: an antisense RNA gene involved in response of *Escherichia coli* to global stress factors. *J. Mol. Biol.* 313, 2001. PP. 1–12.
23. Chen S., Zhang A., Blyn L. B., Storz G. MicC, a second small-RNA regulator of Omp protein expression in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 186, 2004. PP. 6689–6697.
24. Li X-Z., Plésiat P., Nikaido H. The challenge of efflux mediated antibiotic resistance in Gram-negative bacteria. *Clin Microbiol Rev*, 2015.

25. Grimont P. A., Weill F. X. Antigenic formulae of the *Salmonella* serovars. 9th ed. WHO Collaborating Centre for Reference and Research on *Salmonella*, Institut Pasteur, Paris, France, 2007.
26. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; 26th ed. CLSI Supplement M100S. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2016.

**РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ГЕНОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ
С ЭФФЛЮКС-ОПОСРЕДОВАННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ
К АНТИБИОТИКАМ, В ШТАММАХ НЕТИФОИДНЫХ САЛЬМОНЕЛЛ**

М.К. Захарян

Институт молекулярной биологии НАН РА

linazakharyan@gmail.com

Сальмонеллёзные инфекции остаются одной из основных причин желудочно-кишечных заболеваний в мире, что приводит к значительной заболеваемости, а в некоторых случаях к смертности. Лечение сальмонеллёзов человека и животных всё более осложняется в связи с появлением штаммов с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ). Существует несколько механизмов устойчивости бактерий к антимикробным препаратам (АП), и одним из наиболее важных механизмов устойчивости нетифоидных сальмонелл (НТС) считается активный выброс АП из бактериальной клетки. В данной работе исследовано наличие, разнообразие и распространённость генов, кодирующих эффлюксные помпы (ЭП) у 44 клинических штаммов НТС, на основе анализа полногеномных секвенсов (ПГС).

Ключевые слова: *Salmonella*, множественная лекарственная устойчивость, анализ ПГС, эффлюксные помпы.

ԱԿՎԱՊՈՆԻԿԱՆ ՈՐՊԵՍ ԳՅՈՒՂԱՏՆՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Ս.Ա. Չալինյան¹, Ա.Տ. Պապիկյան²

¹Վանաձորի պետական համալսարան

²Վանաձորի պետական համալսարան (մազիստրատուրա)

sergey.zalinyan@gmail.com, astx-papikyan@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Մեր կողմից կատարված ուսումնասիրությունները թույլ են տալիս եզրակացնել, որ բույսերի աճեցումն ակվապոնիկ համակարգում ձկների կենսագործունեության համար ստեղծվում են առավել նպաստավոր պայմաններ, քանի որ բույսերը կլանում են ձկների համար վտանգավոր կենսագործունեության արգասիքները, պահպանելով նյութերի հավասարակշռությունը համակարգում: Փորձի համար ընտրվել են համեմի (*Coriandrum sativum*), սամիթի (*Anethum graveolens*) սերմեր և ելակի (*Fragaria ananassa*) սածիլներ:

Փորձի արդյունքում ակվապոնիկ համակարգում բույսերի աճը մեկ ամսում եղել է ավելի ինտենսիվ՝ հասնելով համեմի բույսի բարձրությունը 8.5–10սմ, սամիթինը՝ 10.5–12սմ, իսկ հողում՝ համեմինը՝ 5սմ, սամիթինը՝ 7սմ: Ելակի բույսի բարձրությունը աճեցման պահին եղել է 2–7սմ, մեկ ամիս անց կազմել է 4.5–19սմ: Ընդ որում առաջացել են նաև երիտասարդ ցողուններ, իսկ հողում՝ 3–8սմ և նոր ցողուններ չեն առաջացել: Հողային պայմաններում աճեցվող ելակի ծաղկումը սկսվել է 35 օր հետո և յուրաքանչյուր ցողունի վրա մեկական ծաղիկ, իսկ ակվապոնիկ համակարգում՝ 40օր հետո, որտեղ ծաղիկների քանակը կազմել է 3–5:

Փորձի արդյունքում պարզվել է նաև NO₃-ի կոնցենտրացիան, որը կազմել է 15–25 մգ/լ, որն ըստ ակվարիումային ստանդարտների գտնվում է նորմայի սահմաններում:

Հիմնաբառեր՝ Ակվապոնիկա, բույսերի անհող աճեցում, հիդրոպոնիկա, ակվարիում, արհեստական էկոհամակարգ:

Ներածություն

Ակվապոնիկան իրենից ներկայացնում է ակվակուլտուրայի (ձկնարդյունաբերության) և հիդրոպոնիկայի (բույսերի աճեցումն անհող պայմաններում) միջև կապ, որտեղ հողի փոխարեն կիրառվում է ջուրը և ձկան արտաթորանքը, որն օգտագործվում են որպես էկոլոգիապես մաքուր պարարտանյութ: Ակվապոնիկայի առավելություններից մեկը օրգանական սննդային լուծույթների օգտագործումն է, որոնք ծառայում են որպես կենսաբանական գոտիչ [3, 5]:

Նյութը և մեթոդը

Որպես հետազոտության օբյեկտ մեր կողմից ընտրվել են ելակի (*Fragaria ananassa*) 2-7սմ բարձրությամբ 6 սաձիլներ, համեմի (*Coriandrum sativum*) և սամիթի (*Anethum graveolens*) սերմեր: Զուգահեռաբար նաև նույն բույսերն աճեցրել ենք հողային միջավայրում (Նկ. 1) [1]:

Փորձերը կատարվել են տնային պայմաններում, որի համար պատրաստել ենք 50լ տարողությամբ ակվարիում, որտեղ աճեցրել ենք ակվարիումային հետևյալ ձկնատեսակները՝ 3 Ճապոնական կարպի կոի (*Cyprinus carpio haematopterus*), 4 Մև ոսկե ձկնիկ (*Black Moor Goldfish* (*Carassius Auratus*)), 3 Ոսկե ձկնիկ (*Carassius auratus*), որոնց կերակրել ենք կենդանական կերերով, մասնավորապես, ձկան այլուրով, դաֆնիաներով, գամարուններով: Բուսական կերերից կիրառվել են բուսական ծագման խտանյութեր (Նկ. 2) [2, 4]:



Նկար 1. Բույսերի աճեցումն ակվարումային և հողային պայմաններում:

Փորձի համար վերցրել ենք 25 սմ լայնությամբ և 40 սմ երկարությամբ պենոպլաստ, որի վրա կատարել ենք 6 սմ տրամագծով 10 անցքեր, որոնց մեջ տեղադրել ենք նախապես համարակալված պլաստմասե տարաներ՝ 1 սմ տրամագծով 12–15 անցքերով: Դրանցով բույսը կլանում է կենսագործունեության համար անհրաժեշտ նյութեր: 1-ին և 2-րդ տարաներում տեղադրել ենք համեմի, 3-րդ և 4-րդում՝ սամիթի սերմեր, իսկ 5–10-րդ տարաներում՝ ելակի սածիլներ: Բույսերի համար որպես սուբստրատ տարաներում տեղադրել ենք պեմզա տեսակի մանրաքար:

Աշխատանքները սկսել ենք 15.03.2018թ.-ին և յուրաքանչյուր 5–10 օրը մեկ կատարել ենք բույսերի աճման և զարգացման փուլերի գրառումներ:



Cyprinus carpio haematopterus



Carassius auratus

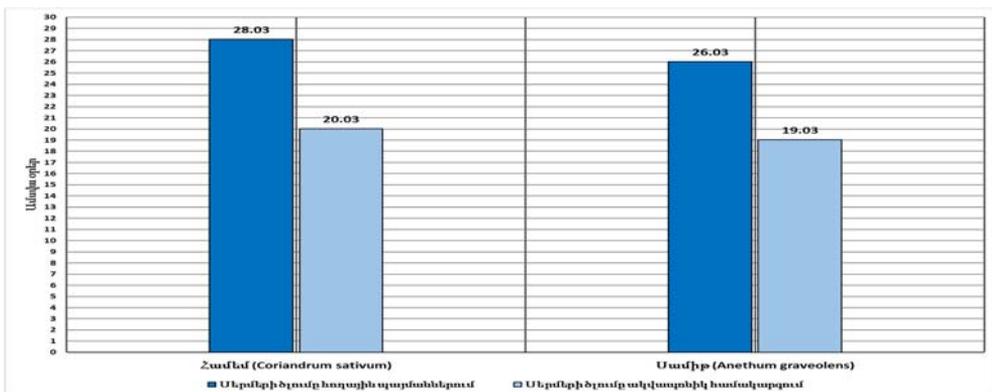


Black Moor Goldfish (Carassius Auratus)

Նկար 2. Ակվապոնիկ համակարգում աճեցվող ձկնատեսակներ:

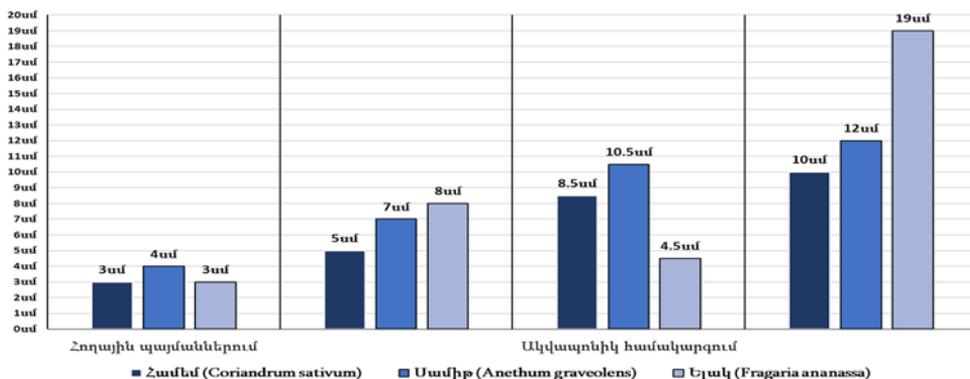
Ակվապոնիկ համակարգում համեմի և սամիթի սերմերի ծլման գործընթացն ընթանում է ավելի արագ քան հողային պայմաններում: Այսպես, ակվապոնիկ պայմաններում սերմերն աճեցին 5, իսկ հողային պայմաններում՝ 8 օրվա ընթացքում (Գծապատկեր 1):

Փորձի արդյունքում պարզվել է, որ հողում ցանված համեմի սերմերը սկսել են ծլել 13 օր հետո, իսկ սամիթի սերմերը 11 օր հետո: Ծիլերի բարձրությունը եղել է 0.1–0.5սմ, իսկ ակվապոնիկ համակարգում սամիթի սերմերը սկսել են ծլել 4 օր հետո՝ 3-3.5սմ բարձրությամբ, իսկ համեմինը՝ 5 օր հետո՝ 0.5–1սմ-ի սահմաններում:



Գծապատկեր 1. Սերմերի ծլումը հողային պայմաններում և ակվապոնիկ համակարգում

Մեկ ամսվա ընթացքում բույսերի աճման ու զարգացման տարբերությունն առավել ակնհայտ է դառնում, երբ համեմատում ենք ակվապոնիկ համակարգում և հողային պայմաններում աճեցված բույսերի աճման և զարգացման տարբեր փուլերի տվյալները (Գծապատկեր 2):



Գծապատկեր 2. Բույսերի աճն ու զարգացումը հողային պայմաններում և ակվապոնիկ համակարգում

Ինչպես երևում է գծապատկերից, ակվապոնիկ համակարգում բույսերի աճն ու զարգացումը եղել ավելի ինտենսիվ, քան հողային պայմաններում: Ակվապոնիկ համակարգում աճեցված բույսերի բարձրությունը մոտ մեկ ամիս հետո կազմել են՝ համեմի մոտ 8.5–10սմ, սամիթի մոտ 10.5–12սմ, իսկ հողային պայմաններում՝ համեմինը 5սմ, իսկ սամիթինը 7սմ:

Նման արդյունք է նկատվել նաև ակվապոնիկ համակարգում և հողային պայմաններում աճեցված ելակի բույսի մոտ, մասնավորապես, եթե ելակի սածիլները աճեցման պահին կազմել են 2-7սմ, ապա մեկ ամսվա ընթացքում ակվապոնիկ համակարգում այդ ցուցանիշները կազմել են 4.5–19սմ, որի ընթացքում առաջացել են նաև երիտասարդ ցո-

դուններ, իսկ հողային պայմաններում ելակի ծիլի բարձրությունը կազմել է 3-8սմ: Եթե ելակի բույսի աճն ու զարգացումը առավել ինտենսիվ է եղել ակվապոնիկ համակարգում, ապա հողային պայմաններում աճեցված ելակի բույսի ծաղկումը սկսվել է 35օր հետո և յուրաքանչյուր ցողունի վրա մեկական ծաղիկ, իսկ ակվապոնիկ համակարգում ծաղկումը սկսվել է 40 օր աճեցումից հետո՝ 3-5 ծաղիկ (Նկ. 4):



Ակվապոնիկ համակարգում



Հողային պայմաններում

Նկար 4. Ելակի (*Fragaria ananassa*) ծաղկման շրջանը

Ակվարիումային ձկները խիստ զգայուն են ջրում որոշ քիմիական նյութերի նկատմամբ, մասնավորապես նիտրատ իոնի (NO_3^-): Որոշել ենք նաև ակվարիումի լուծույթում նիտրատ իոնի կոնցենտրացիան: Փորձը կատարել ենք ՎՊՀ կենսաբանաքիմիական ֆակուլտետի Կենսաբանակոլոգիական հետազոտությունների լաբորատորիայում՝ «Пчелка Р» մինի լաբորատորիայի նիտրատ իոնի ինդիկատորի օգնությամբ: Փորձի համար ակվարիումից կատարել ենք ջրի նմուշառում, որում որոշել ենք NO_3^- -ի կոնցենտրացիան: Ըստ միջազգային ստանդարտների ակվարիումում NO_3^- իոնի թույլատրելի կոնցենտրացիան կազմում է 20–40մգ/լ, իսկ մեր կողմից կատարված փորձի արդյունքում այն կազմել է 15–25 մգ/լ, ինչը գտնվում է նորմայի սահմաններում:

Այսպիսով, բույսերի աճեցումն ակվապոնիկ համակարգում նպաստում է բույսերի կողմից ձկների համար վտանգավոր կենսագործունեության արգասիքների կլանմանը, պահպանելով նյութերի հավասարակշռությունը համակարգում:

Մեր կողմից կատարված ուսումնասիրության արդյունքում պարզվել է, որ ակվապոնիկ համակարգում բույսերի աճն ու զարգացումն ընթանում է առավել արագ և արդյունավետ, քան հողային պայմաններում: Փորձի արդյունքում ակվապոնիկ համակարգում բույսերի աճը մեկ ամսում եղել է ավելի ինտենսիվ՝ հասնելով համեմի բույսի բարձրությունը 8.5–10սմ, սամիթինը՝ 10.5–12սմ, իսկ հողում՝ համեմինը՝ 5սմ, սամիթինը՝ 7սմ: Ելակի բույսի բարձրությունը աճեցման պահին եղել է 2–7սմ, մեկ ամիս անց կազմել է 4.5–19սմ: Ընդ որում առաջացել են նաև երիտասարդ ցողուններ, իսկ հողում՝ 3–8սմ և նոր ցողուններ չեն առաջացել: Հողային պայմաններում աճեցվող ելակի ծաղկումը սկսվել է 35օր հետո և յուրաքանչյուր ցողունի վրա մեկական ծաղիկ, իսկ ակվապոնիկ համակարգում՝ 40օր հետո, որտեղ ծաղիկների քանակը կազմել է 3–5:

Փորձի արդյունքում պարզվել է նաև NO_3^- -ի կոնցենտրացիան, որը կազմել է 15–25 մգ/լ, որն ըստ ակվարիումային ստանդարտների գտնվում է նորմայի սահմաններում:

Մեր կողմից կատարված հետազոտության արդյունքների հիման վրա առաջարկում ենք ակվապոնիկ համակարգը ներդնել Հայաստանում և հատկապես Լոռու մարզում, որի կիրառումը գյուղատնտեսության մեջ կնպաստի նոր աշխատատեղերի ստեղծման, ողջ տարվա ընթացքում հնարավոր կլինի աճեցնել տարբեր մշակաբույսեր և ստանալ առատ բերք, որը կարելի է մատչելի գներով հանել վաճառքի և ստանալ մեծ եկամուտ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Պիպոյան Ս. Ձկնաբանություն և ձկնաբուծություն, ՀՀ ԿԳՆ կրթության ազգային ինստիտուտ մասնագիտական կրթության և ուսուցման զարգացման ազգային կենտրոն, Ե., 2012, 256 էջ:
2. Аквапоника – технология сельского хозяйства будущего //Департамент агропромышленного комплекса Белгородской области ОГАУ «Инновационно-консультационный центр АПК». Белгород, 2015, 46с.
3. Bernstein S. Aquaponic Gardening – A Step-By-Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together. 2011, 296 p.
4. <http://ittrend.am/2015/07/14/maquaponics/>
5. <https://hy.wikipedia.org/wiki/Ակվապոնիկա>

AQUAPONICS AS AGRICULTURAL MODERN TECHNOLOGY

S. Zalinyan¹, A. Papikyan²

¹*Vanadzor State University*

²*Vanadzor State University (magistracy)*

SUMMARY

In our aquaponics system we have grown seeds of coriander (*Coriandrum sativum*), and dill (*Anethum graveolens*) and seeding's of strawberry (*Fragaria ananassa*).

Growing plants in aquaponics system creates more beneficial conditions, as plants absorb toxic products for fishes keeping sustainability of the system.

As a result of experiment after one-month height of the coriander was 8.5–10sm, height of the dill was 10.5–12sm, but in the soil coriander was 5sm and the dill was 7sm. The height of the strawberry at the starting point was 2–7 sm, and after a month it became 4.5–19 sm, new stems has also grown up. Blooming of the strawberry has started on the 35th day after the start of the experiment one flower on every steam, but in aquaponics system at on the 40th day after the start of the experiment and there was 3–5 flower.

As results of experiment has been found out the concentration of NO_3^- , which is 15–25 milligram per liter. That's normal for aquarium conditions.

Keywords: Aquaponics, growing plants without soil, hydroponics, aquarium, artificial ecosystem.

АКВАПОНИКА КАК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

С.А. Залинян¹, А.Т. Папикян²

¹Ванадзорский государственный университет

²Ванадзорский государственный университет (магистратура)

АННОТАЦИЯ

В нашей аквапонической среде мы выращивали кориандр (*Coriandrum sativum*), укроп (*Anethum graveolens*) и саженцы клубники (*Fragaria ananassa*).

Выращивание растений в аквапонической системе создают более выгодные условия для рыб, так как растения потребляют вредные для рыб продукты жизнедеятельности, сохраняя равновесие в системе.

В течение месяца в результате к эксперименту выяснилось, что рост кориандра был 8.5–10 см, а у укропа 10.5–12 см, земельных условиях рост кориандра был 5 см, а у укропа 7 см. Рост клубники в момент насаждение был 2–7 см, спустя месяц рост составил 4.5–19 см, кроме того у них росли новые стебли. Цветение у клубники началось в 35-ой день после начала эксперимента и у каждого стебля был по одному цветку, а в аквапонической системе в 40-ой день после начала эксперимента и в каждом стебле по 3–5 цветка.

В результате эксперимента выяснилось концентрация NO_3^- , которая составила 15–25 мг/л, который является аквариумной нормой.

Ключевые слова: Аквапоника, выращивание растений без грунта, гидропоника, аквариум, искусственная экосистема.

СИНТЕЗ ЗЕЛЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ

Л.М. Фарсиян, А.А. Оганесян

lilitffarsiyan@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Наночастицы(НЧ) представляют собой субмикронные – наноразмерные фрагменты, из неорганических или органических материалов, которые имеют множество уникальных свойств по сравнению с объемными материалами. Токсичность НЧ-синтезированных химическими и физическими методами является одной из основных проблем для их применения. Зелёные НЧ, синтезированные с использованием растительных экстрактов, являются менее токсичными, в сравнении с другими методами их конгрегации.

В данной серии экспериментов нами было синтезировано НЧ оксидов железа, изучено их токсичность порезистентности эритроцитов(RBC тест) и исследована антибактериальная активность на выживаемость бактерий Гр. (+) *S.aureusi* Гр. (-) *E.coli K-12*. Результаты эксперимента показали, что полученные нами «зеленые» НЧ не являются токсичными, и, следовательно, могут применяться для дальнейших *invivo* исследований.

Ключевые слова: нанобиотехнология, наночастицы, *S.aureus*, *E.coli K-12*, RBC тест.

Введение

В ходе обширных исследований химического синтеза НЧ было выяснено, что эти частицы обладают несколькими потенциальными опасностями, включая канцерогенность, генотоксичность, цитотоксичность и общую токсичность [1, 2]. Поэтому, в целях сокращения или исключения использования опасных веществ при разработке, производстве и применении наноматериалов, многие исследователи начали синтезировать наноматериалы

на основе природных, биологических систем. Биологические методы являются более экологичным вариантом для разработки наноматериалов с низким воздействием на окружающую среду.

Магнитные НЧ на основе оксидов железа имеют контролируемое магнитное поведение и необходимые магнитные характеристики, управляемы внешним магнитным полем, проявляют минимальную токсичность и считаются наиболее предпочтительными для различных приложений прикладного значения. Одним из наиболее перспективных направлений является использование НЧ оксидов железа в биологии и медицине, а именно: в иммуноанализе для очистки биологических жидкостей, гипертермии, доставки лекарств и генов, клеточной и молекулярной сепарации, в тканевой инженерии и т.д. [3].

H.perforatum L – это одно из наиболее изученных лекарственных растений во всем мире, в листьях, цветках и плодах которого синтезируются и накапливаются биологически активные вторичные метаболиты [4]. *H.perforatum* и некоторые другие виды рода важны и используются как лекарственные препараты при ранах, ожогах, порезах, геморроях, спазме желудка, бессоннице и мышечных болях [5].

O.basilicum широко используют в кулинарии, однако трава также известна своей ценностью в традиционной медицине. Базилик содержит высокие уровни фенольных соединений, которые участвуют в защите клеток от действия свободных радикалов [6]. Базилик также используется в традиционной медицине, он стимулирует работу пищеварительной системы (снимает вздутие, спазмы), обладает антимикробным, противогрибковым, антибактериальным, противосудорожным и антиканцерогенными свойствами.

Так как МНЧ оксидов железа находят все большее применение в прикладной медицине, встает вопрос о возможностях их введения в организм, без побочных эффектов для него. Следовательно, применяемые НЧ не должны обладать цитотоксичным действием, поэтому, целью данной работы являлось изучение ранее синтезированных нами зеленых НЧ, синтезированных с помощью экстрактов *H.perforatum* и *O.basilicum* на рост бактерий и резистентность эритроцитов.

Материалы и методы

Синтез НЧ оксидов железа проводили посредством экстрактов *H.perforatum* и *O.basilicum*, для экстрагирования которых использовался 50% и 96% этанольный спирт и дистиллированная вода, посредством их добавления к раствору 1М соли хлорида железа.

Исследование антибактериальной активности проводили диск диффузионным методом против штамма дикого типа *Escherichia coli K-12* и непатогенного *Staphylococcus aureus*.

Резистентность (устойчивость) эритроцитов оценивали по изменению оптического поглощения суспензии эритроцитов при 680 нм в течение 10 – 15 мин, снимая показания через каждые 30 сек, на спектрофотометре UV/Vis (JENWAY 6405).

Статистический анализ материала проводили на основе комплексного применения стандартных статистических методов: вычисления средних значений, стандартных отклонений, стандартных средних ошибок. Биологическая повторность опытов 4–6 кратная при проведении 2–3 серий опытов в каждом. В таблицах, на графиках и диаграммах приведены средние арифметические и их стандартные ошибки ($n = 8-12$), $p < 0.05$.

Результаты и обсуждения

Для изучения свойств, полученных нами «зеленых» НЧ оксидов железа на рост бактерий, мы провели исследование на 2 различных штаммах: грамотрицательных бактерий *E. coli K-12* и грамположительных *S. aureus*.

Как показали наши результаты, в *invitro* условиях синтезированные нами МНЧ оксидов железа не обладают выраженной цитотоксичностью по отношению к исследуемым штаммам *E. coli K-12* и *S. aureus*, несмотря на то, что положительный контроль – соль хлорида железа приводит к довольно большой зоне лизиса.

Антибактериальную активность проявили только НЧ на основе 96% экстракта *H. perforatum*, по отношению к *S. aureus*, при этом зона полного ингибирования равна 24 мм (учитывая кор агара 9 мм) (Рис.1). Такая антибактериальная активность против грамм положительных бактерий обусловлена наличием высокого содержания гиперидина в составе *H. Perforatum* (5.7 мкг/г сухого веса. Ингибирующая концентрация для МНЧ составила

0,53 мг/мл. Поскольку такую же активность проявили 96% и 50% контрольные экстракты *H. perforatum*, то подобная антибактериальная активность объясняется наличием в составе *H. perforatum* мажорного спирторастворимого компонента – гиперидина, который проявляет антибактериальную активность по отношению к *S.aureus*, что подтверждается также данными литературы [7].

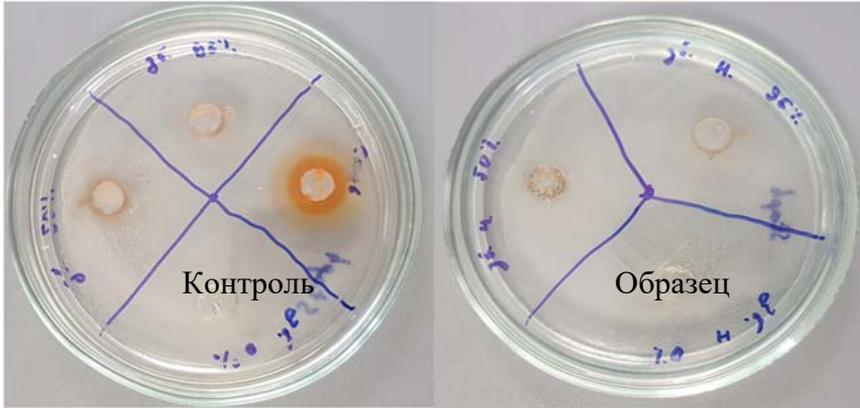


Рис.1 Действие МНЧ Fe_2O_3 на основе экстрактов зверобоя на рост бактерий *S. aureus*.

Токсичность экстрактов и НЧ также исследовалась на эритроцитах, в результате чего было определено, что НЧ оксидов железа, также, как и исследуемые экстракты не обладали гемолитическими свойствами. Через 24 ч. в условиях темновой инкубации водные экстракты *H.perforatum*L. и *O.basilicum* L. практически не проявляли гемолитической активности, и резистентность эритроцитов составляла 93% и 100%, соответственно (Рис.2).

В условиях темновой инкубации НЧ на основе водных экстрактов *O.basilicum*L. через 24 ч. инкубации МНЧ на основе водных экстрактов также не привели к гемолизу и резистентность эритроцитов составляла 100%, а НЧ на основе водного экстракта *H.perforatum* L. практически не привели к гемолизу и резистентность эритроцитов составляла 90%.

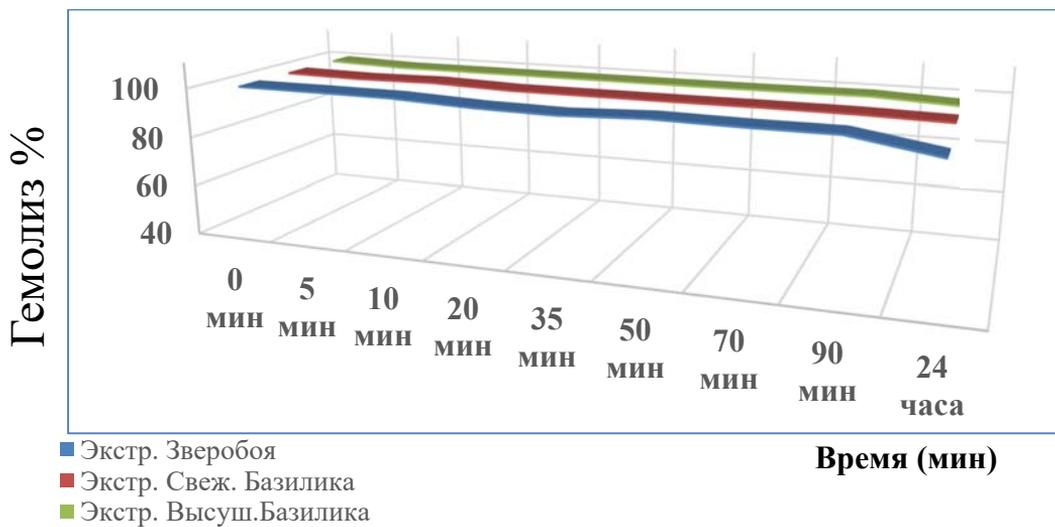


Рис. 2 Гемолитическое действие водных экстрактов *H.perforatum*L. и *O.basilicum*L. на эритроциты.

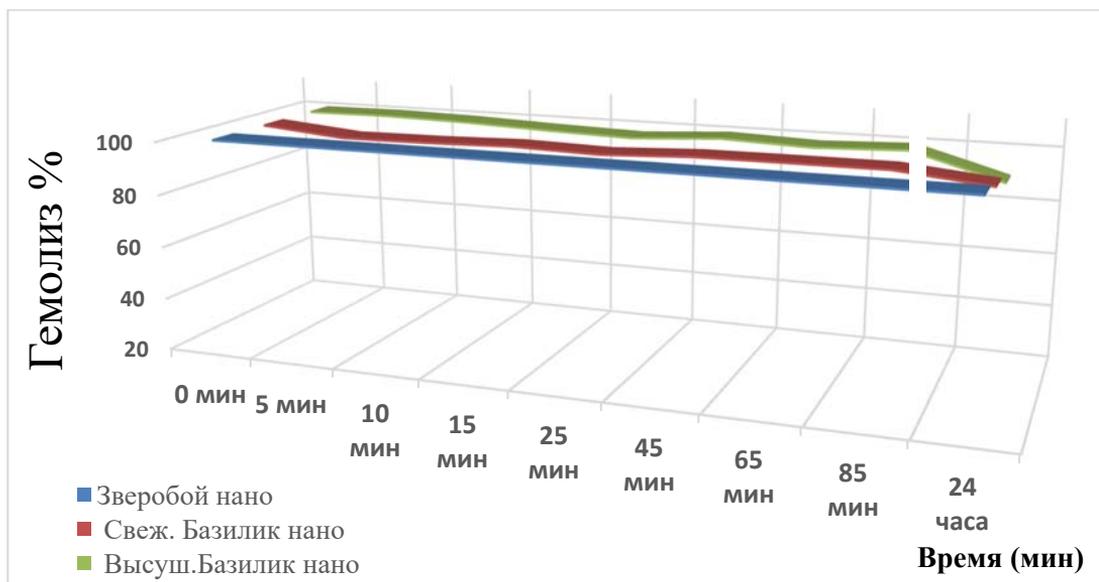


Рис. 3 Гемолитическое действие НЧ на основе водных экстрактов *H.perforatum* L. и *O.basilicum* L. на эритроциты.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать следующие выводы: синтезированные НЧ не обладают бактерицидным действием по отношению к штаммам *E.coli K-12*, синтезированные НЧ не обладают бактерицидным действием по отношению к штаммам *S.aureus*, кроме НЧ, синтезированных на основе 96% экстракта *H.perforatum*, что наверняка связано с содержанием гиперицина (5.7 мкг/г сухого веса), водные экстракты *H.perforatum* L. и *O.basilicum* L. и полученные нами НЧ оксидов железа на их основе, практически не обладают гемолитической активностью, нецитотоксичные «зеленые» МНЧ могут иметь широкий спектр прикладных применений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *W. Wu, Q. He, C. Jiang* Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies // *Nanoscale Research Letters*, Vol.3, № 11, 2008. PP. 397–415.
2. *Malabadi R.B., Naik S.L., Meti N. T., Mulgund G.S., Nataraja K., Kumar S.V.* Silver nanoparticles synthesized by in vitro derived plants and callus cultures of *Clitoria ternatea*; Evaluation of antimicrobial activity // *Research in Biotechnology*, Vol. 3, № 5, 2012, PP. 26–38.
3. *Kumar A.M., Chisti Y., Banerjee U C.* Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts // *Journal Biotechnology Advances*, Vol. 31, № 2, 2013. PP. 346–356.
4. *Crockett S.L. and Robson N. K.* Taxonomy and chemotaxonomy of the genus *Hypericum* // *Med Aromat Plant Sci Biotechnol.*, Vol. 5(Special Issue 1), 2003, PP. 1–13.
5. *Altun M.L., Yilmaz B.S., Orhan I.E., Citoglua G.S.* Assessment of cholinesterase and tyrosinase inhibitory and antioxidant effects of *Hypericum perforatum* L. (St. John's wort) // *Journal Industrial Crops and Products*, Vol. 43, 2013. PP. 87–92.
6. *Lee J., Scagel C.F.* Chicoric acid levels in commercial basil (*Ocimum basilicum*) and *Echinacea purpurea* products // *Journal of Functional Foods*, Vol. 2, N 1, 2010, PP. 77–84.

7. *Saddiqe Z., Naeem I., Maimoona A.* A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L // *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 131, № 3, 2010, PP. 511 –521.

SYNTHESIS OF GREEN NANOPARTICLES OF IRON OXIDES AND THE STUDY OF THEIR CYTOTOXICITY

L. Farsiyan, A. Hovhannisyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

Nanoparticles (NPs) are submicron – nanoscale fragments from inorganic or organic materials, which have a variety of unique properties compared with bulk materials. The toxicity of NPs synthesized by chemical and physical methods is one of the main problems for their application. Green NPs synthesized by using plant extracts are less toxic in comparison with other methods of their congregation. In this series of experiments, we synthesized iron oxide NPs, studied their toxicity for erythrocyte resistance (RBC test), and investigated the antibacterial activity on the survival of Gr. (+) *S.aureus* and Gr. (-) *E.coli* K-12 bacteria. The results of the experiment showed that the obtained green NPs are not toxic, and, therefore, can be used for further in vivo studies.

Keywords: nanobiotechnology, nanoparticles, *S.aureus*, *E.coli* K-12, RBC test.

ТРИНАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(3–7 декабря 2018г.)
СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ:
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Главный редактор РНИ – М.Э. Авакян
Компьютерная верстка – А.Г. Антонян

Адрес Редакции научных изданий
Российско-Армянского университета:
0051, г. Ереван, ул. Овсена Эмина, 123
тел/факс: (+374 10) 27-70-52, (внутр. 42-02)
e-mail: redaction@gmail.com