

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*ДЕСЯТАЯ ЮБИЛЕЙНАЯ  
ГОДИЧНАЯ НАУЧНАЯ*  
**КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Сборник научных статей**

**ЕРЕВАН 2016**

ՌՈՒՍԱՍՏԱՆԻ ԴԱՇՆՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ  
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ  
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

# ՏԱՍՆԵՐՈՐԴ ՀՈՒՔԵԼՅԱՆԱԿԱՆ ՏԱՐԵԿԱՆ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎ

30 նոյեմբերի – 4 դեկտեմբերի 2015 թ.

Գիտական հոդվածների ժողովածու

ԵՐԵՎԱՆ

2015

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

**РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ДЕСЯТАЯ ГОДИЧНАЯ  
ЮБИЛЕЙНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**30 ноября – 4 декабря 2015 г.**

**Сборник научных статей**

**ЕРЕВАН**

**2015**

УДК 5:06  
ББК 2  
Д 377

*Печатается по решению  
Ученого и Редакционно-издательского советов РАУ*

***Редакционная коллегия:***

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

Д 377 Десятая Годичная юбилейная научная конференция (30 ноября – 4 декабря 2015г.): Сборник научных статей: Физико-математические и естественные науки. – Ер.: Изд-во РАУ, 2016. – 198с.

Сборник печатается по материалам 10-ой Юбилейной Годичной научной конференции, проведенной в Российско-Армянском университете. Статьи публикуются в алфавитном порядке и под авторскую ответственность.

Публикация сборника осуществлена также в соответствии с требованиями ВАК РА к сборникам научных трудов.

УДК 5:06  
ББК 2

ISBN 978-9939-67-154-3

© Издательство РАУ, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### МАТЕМАТИКА

- Берберян С.Л.** О  $P'$  - последовательностях гармонических функций классов  $\mathfrak{R}^{\theta}$  .....9
- Вагаршакян А.А., Варданян И.А.** Причинно-следственная связь в экономических показателях на примере курсов рубля, доллара и евро.....13
- Маргарян В.Н.** Об одном представлении однородных многочленов от двух переменных .....19
- Туманян А.Г.** Об устойчивости индекса в анизотропных пространствах ....24
- Хачатрян А.Х., Хачатрян Х.А., Петросян А.С.** О положительных решениях одного класса нелинейных интегральных уравнений типа Урысона .....29

#### ИНФОРМАТИКА

- Геворкян А.В.** Получение 3D-модели объекта, используя стереозрение.....35
- Геворгян В.В.** Алгоритм завершения изображений основанный на экземплярах с фиксированной функцией доверия.....39
- Gevorgyan G.** An approach to support grid files .....44
- Yeghiazaryan R.** Survey of existing cloud encryption gateways.....51
- Մանուկյան Է.Ս., Մանուկյան Օ.Վ., Մանուկյան Է.Ն.** Խոսքային կառավարման ապահովումն ամպային միջավայրերում համակարգերում .....57
- Мелконян А.А.** Автоматическая классификация по музыкальным жанрам .....64
- Овакимян А.С., Саркисян С.Г.** Методы тестирования сериализуемости параллельных программных интерфейсов.....69

**Սարգսյան Ս.Գ., Հովակիմյան Ա.Ս.** Փաստաթղթերի վարկանիշավորման համակարգի մշակում ..... 74

**Danoyan D., Sokhakyan T.** Implementation of a framework for secure two-party computations ..... 78

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

**Aramyan R.** Zonoids with equatorial characterizations ..... 85

**Давидова Д.С.** Неидемпотентные функции пленка ..... 87

## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Багдасарян О.В., Дарьян А.В., Князян Т.М.** Численное моделирование волоконно-оптического датчика на основе электрооптического микрорезонатора для измерения ближнего электрического поля заряженных и излучающих структур ..... 90

**Багдасарян Д.А, Казарян Э.М., Айрапетян Д.Б., Саркисян А.А.** Адиабатическое описание квантовых штрихов ..... 96

**Геворгян А.О., Казарян Э.М., Костанян А.А.** Поглощение свободными носителями в параболической квантовой яме с учетом рассеяния на трехмерных акустических фононах ..... 101

**Nakhoyan L.** Characterization of CdS thin films deposited by vacuum flash evaporation technique ..... 108

**Մալիլյան Ս.Ս., Մամվելյան Գ.Ա.** Պրոբլեմային ուսուցման կազմակերպումը ֆիզիկական ինդիր-պարադիքների առաջադրման և լուծման միջոցով ..... 116

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

### БИОЛОГИЯ

**Асатрян А.Л., Арцруни И.Г., Матинян К.С., Геворгян Э.С.** Изменение эффективности ингибиторов поли (адф-рибозо) полимеразы 1 в ядрах клеток печени крыс после in vivo действия цисплатина ..... 126

<b>Асланян А., Арутюнян М., Папян Л., Айрапетян В.</b> Определение видовой принадлежности четырех видов подковоносовых летучих мышей ( <i>rhinolophus</i> ) методом генетического анализа.....	132
<b>Гамбарян Г.Г., Папян Л.Г., Явруян Э.Г.</b> Исследование синантропизма у некоторых представителей млекопитающих методом использования фотолавушек .....	136
<b>Грабский О.В., Унанян Л.С.</b> Оценка ДНК-лиганд связывания «энергией линейного взаимодействия (LIE).....	139
<b>Грабский О.В., Унанян Л.С.</b> Использование GPU в качестве сопроцессора при расчетах процессов молекулярной динамики .....	145
<b>Ферешетян К.С., Айрапетян М.Э., Мирумян М.Л., Енкоян К.Б.</b> Изменение уровня МСР-1 в спинномозговой жидкости и нарушение некоторых поведенческих реакций при расстройствах аутистического спектра у крыс .....	150

## ХИМИЯ

<b>Гаспарян С.П., Данагулян Г.Г.</b> Синтез новых аналогов 2-пиримидинилпролина .....	158
<b>Гукасян Г.Т., Топузян В.О.</b> Синтез и реакции (z)-4-(4-(4,6-дифенокси- 1,3,5-триазин-2-илокси) бензилиден)- 2-фенилоксазол-5(4h)-она.....	162
<b>Данагулян Г.Г.</b> Введение фармакофорных групп в пиридины и пиразоло [1,5-a]-пиримидины через рециклизации йодметилатов пиримидина .....	168
<b>Залян Т.М., Акопян А.А., Туманян А.К., Данагулян Г.Г.</b> Синтезы бис-гетероарильных лигандов на основе пиримидина.....	171
<b>Русинов В.Л., Чупахин О.Н., Чарушин В.Н., Киселев О.И.</b> Новые противовирусные соединения на основе азоло-1,2,4-триазинов .....	176
<b>Саватеев К.В., Уломский Е.Н., Русинов В.Л., Русинова Л.И.</b> Тиадиазоло [1,5-a] пиримидины в качестве перспективных предшественников биологически активных гетероциклов .....	182

---

<b>Толщина С.Г., Коротина А.В., Ишметова Р.И., Русинова Л.И., Русинов Г.Л.</b> Синтез и биологическая активность [1, 2, 4] триазолоаннелированных [1, 2, 4, 5] тетразинов.....	186
<b>Шаинова Р.С., Гомкцян Т.А., Карапетян А.В., Енгоян А.П.</b> Синтез новых стимуляторов роста растений в ряду производных пиридазинилоксиазинов .....	191



# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## МАТЕМАТИКА

### О $P'$ -ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ КЛАССОВ $\mathfrak{R}^{\theta 1}$

*С.Л. Берберян*

*samvel357@mail.ru*

#### АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются необходимые и достаточные условия принадлежности гармонических функций, определенных в единичном круге, к классам  $\mathfrak{R}^{\theta}$ . Аналогичные исследования ранее проводились для мероморфных и голоморфных функций.

**Ключевые слова:** гармонические функции,  $P'$ -последовательности, классы  $\mathfrak{R}^{\theta}$ .

В дальнейшем будем придерживаться общепринятых обозначений [1-7]. Обозначим через  $D$  и  $\square$  соответственно, единичный круг  $|z| < 1$  и единичную окружность  $|z| = 1$ . Обозначим через  $L(\xi, \varphi)$  гиперцикл, проходящий через точки  $\xi = e^{i\theta}$ ,  $-\xi$  и который образует угол  $\varphi$  с диаметром  $\Lambda^{\theta}$ , соединяющим точки  $\xi$  и  $-\xi$ . Пусть  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$  – область, ограниченная двумя гиперциклами  $L(\xi, \varphi_1)$  и  $L(\xi, \varphi_2)$ . 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  $D$ :

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

Понятие нормальной функции, рассмотренное для мероморфных функций и состоящее в свойстве порождать нормальное семейство в группе  $\Gamma$  всех конформных автоморфизмов области определения, было затем перенесено на гармонические и субгармонические функции. В случае единичного круга  $D$  группа  $\Gamma$  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

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы развития Российско-Армянского университета.

обозначений из работы [1], скажем, что действительнзначная функция  $f(z) \in \mathfrak{R}$ , если на группе  $T$  всех конформных автоморфизмов единичного круга  $D$  порождаемое ею семейство функций  $\Phi: \{f(S(z)); S(z) \in T\}$  нормально в  $D$  в смысле Монтеля, т.е. из любой последовательности  $\{f(S_n(z))\}$  семейства  $\Phi$ , где  $S_n(z) \in T$  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  $K$ . В статье [1] В.И. Гавриловым была сформулирована общая задача об изучении граничных свойств мероморфных функций, порождающих нормальные семейства на подгруппах группы  $T$ . Была рассмотрена подгруппа  $T^\theta = \{S_a^\theta(z); S_a^\theta(z) = (z + ae^{i\theta}) \cdot (1 + aze^{-i\theta})\}$ , где  $a \in (-1, 1)$  и  $\theta, 0 \leq \theta < \pi$  - фиксировано}. Действительно значную функцию  $f(z)$  отнесём к классу  $\mathfrak{R}^\theta$ , где  $0 \leq \theta < \pi$  - фиксировано, если порождаемое ею семейство функций  $\Phi^\theta = \{f(S_a^\theta(z)); S_a^\theta \in T^\theta\}$  нормально в  $D$  в смысле Монтеля. Пусть  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$  – область, ограниченная двумя гиперциклами  $L(\xi, \varphi_1)$  и  $L(\xi, \varphi_2)$ . Последовательность точек  $\{z_n\}, z_n \in D, n = 1, 2, \dots, \lim_{n \rightarrow \infty} |z_n| = 1$ , применительно к гармоническим функциям, назовем  $P'$ -последовательностью [7], если для любой ее бесконечной подпоследовательности  $\{z_{n_k}\}$  имеет место следующее утверждение: каково бы ни было число  $\varepsilon > 0$  в объединении  $\bigcup_{k=1}^{\infty} D(z_{n_k}, \varepsilon)$  неевклидовых кругов  $D(z_{n_k}, \varepsilon)$  с неевклидовыми центрами  $z_{n_k}$  и неевклидовыми радиусами  $\varepsilon > 0$  гармоническая функция  $u(z)$  принимает бесконечно часто каждое конечное действительное значение. Назовем хорду  $h(\xi, \phi)$   $P'$ -хордой гармонической функции  $u(z)$  в точке  $\xi$ , если  $h(\xi, \phi)$  содержит некоторую  $P'$ -последовательность функции  $u(z)$ . Сформулируем один из основных результатов настоящей работы.

**Теорема 1.** Для того чтобы гармоническая в  $D$  функция  $u(z)$  была из класса  $\mathfrak{R}^\theta, 0 \leq \theta < \pi$  – фиксировано, необходимо и достаточно, чтобы в любой гиперциклической области  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ , где  $\xi = e^{i\theta}$  (или  $-e^{i\theta}$ ), не существовала бы ни одна  $P'$ -последовательность.

При доказательстве теоремы 1 используется следующее утверждение.

**Лемма.** Пусть непрерывная в  $D$  функция  $f(z)$  из класса  $\square^\square, 0 \leq \theta < \pi$  – фиксировано и существует предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n) = c$  по любой последовательности  $\{z_n\}$ , лежащей в некоторой гиперциклической области  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$  и  $z_n \rightarrow \xi = e^{i\theta}$  (или к  $-e^{i\theta}$ ). Если  $\{z_n\}$  – произвольная последовательность точек

в  $D$ , для которой  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0$ , то и  $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z'_n) = c$ .

Справедливы также следующие утверждения.

**Теорема 2.** Предположим, что последовательность  $\{z_n\}$   $n = 1, 2, \dots$ , лежащая в некоторой гиперциклической области  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ , является  $P'$ -последовательностью для гармонической в  $D$  функции  $u(z)$  и пусть  $\{z'_n\}$  – любая другая последовательность точек круга в  $D$ , удовлетворяющая условию  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0$ . Тогда последовательность  $\{z'_n\}$  также является  $P'$ -последовательностью функции  $u(z)$ .

**Теорема 3.** Предположим, что существует последовательность положительных чисел  $\{\delta_n\}$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} \delta_n = 0$  и такая последовательность точек  $\{z_n\}$ , лежащая в некоторой гиперциклической области  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ , что  $z_n \rightarrow \xi = e^{i\theta}$  (или к  $-e^{i\theta}$ ), и по которой гармоническая в  $D$  функция  $u(z)$  имеет конечный или бесконечный предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} u(z_n) = \alpha$ , в то время как для каждого  $n$  в неклидовом круге  $D(z_n, \delta_n) = \{z \in D, \sigma(z_n, z) < \delta_n\}$  существует точка  $t_n$ , в которой

$$\begin{aligned} |u(t_n) - \alpha| &\geq \varepsilon_0, \text{ если } \alpha \text{ – конечное число и} \\ |u(t_n)| &\leq \frac{1}{\varepsilon_0}, \text{ если } \alpha \text{ – бесконечное число,} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0 > 0$  – фиксированное число. Тогда из последовательности  $\{z_n\}$  можно выбрать подпоследовательность, являющуюся  $P'$ -последовательностью для функции  $u(z)$ .

В качестве следствия получаем теорему 4.

**Теорема 4.** Пусть гармоническая в  $D$  функция  $u(z)$  имеет конечный или бесконечный предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} u(z_n) = \alpha$  по такой последовательности точек  $\{z_n\}$ , лежащей в некоторой гиперциклической области  $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ , что  $z_n \rightarrow \xi = e^{i\theta}$  (или к  $-e^{i\theta}$ ), существует последовательность точек  $\{z'_n\}$ , для которой  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z'_n) = 0$  и справедливы соотношения (1). Тогда из последовательности  $\{z_n\}$  (или  $\{z'_n\}$ ) можно выделить подпоследовательность, являющуюся  $P'$ -последовательностью для функции  $u(z)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.И. Нормальные функции и почти периодические функции // ДАН СССР. Т. 240, № 4, 768–770, 1978.
2. Буркова Е.Ф., Гаврилов В.И. О мероморфных функциях, порождающих нормальные семейства на подгруппах автоморфизмов единичного круга // ДАН СССР. Т. 245, № 6, СС. 1293–1296, 1979.
3. Берберян С.Л. О граничных свойствах субгармонических функций, порождающих нормальные семейства на подгруппах автоморфизмов единичного круга // Изв. АН Арм. ССР. Т.15, № 4, СС. 395–402, 1980.
4. Берберян С.Л. Об угловых граничных значениях нормальных непрерывных функций // Изв. вузов, математика, № 3, СС. 22–28, 1986
5. Берберян С.Л. Об угловых граничных значениях гармонических функций, порождающих нормальные семейства на подгруппах автоморфизмов единичного круга // ДНАН Армении. Т. 105, № 4, СС. 323–327, 2005.
6. Lappan P. Special classes of normal families // Computational methods and function theory, vol. 8, № 1/2, СС. 133–142, 2008.
7. Берберян С.Л. О распределении значений гармонических функций в единичном круге // Изв. вузов, математика, № 6, СС.12–19, 2011.

ON THE  $P'$  - SEQUENCE OF HARMONIC FUNCTIONS OF CLASSES  $\mathfrak{R}^\theta$ 

S. Berberyan

## SUMMARY

This paper considers the necessary and sufficient conditions for the harmonic functions defined in the unit circle, classes  $\mathfrak{R}^\theta$ . Similar studies carried out previously for meromorphic and holomorphic functions.

**Keywords:** harmonic functions, classes  $\mathfrak{R}^\theta$ ,  $P'$  – sequence.

ԵՐԿՈՒ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ  $\Lambda$ -ՀԱՄԱՍԵՆ ԲԱԶՄԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՄԻ ՆԵՐԿԱՅԱՑՈՒՄ

Ս.Լ. Բերբերյան

## ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում դիտարկվում են միավոր շրջանում որոշված հարմոնիկ ֆունկցիաների  $\mathfrak{R}^\theta$  դասերին պատկանելիության անհրաժեշտ և բավարար պայմանները: Առաջ նման հետազոտությունները կատարվել են մերոմորֆ և հոլոմորֆ ֆունկցիաների համար:

**Հիմնաբառեր՝** հարմոնիկ ֆունկցիաներ,  $\mathfrak{R}^\theta$  – դասեր,  $P'$  – հարդականություններ:

---

# ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ СВЯЗЬ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ НА ПРИМЕРЕ КУРСОВ РУБЛЯ, ДОЛЛАРА И ЕВРО

*А.А. Вагаршакян, И.А. Варданян*

*Российско-Армянский (Славянский) университет  
Институт математики и высоких технологий  
irena\_123@bk.ru*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье была изучена причинно-следственная связь для временных рядов в экономических показателях. Проведен анализ курсов рубля, доллара и евро с помощью треугольного и прямоугольного окон.

**Ключевые слова:** временной ряд, причинно-следственная связь, сигналы, курсы валют.

## Введение

Сегодня для изучения свойств особенностей сложных систем широко используется подход, который основан на анализе сигналов, производимых системой. Это очень актуально в том случае, когда описать изучаемый процесс математически практически невозможно, но в распоряжении имеется некоторая наблюдаемая величина. Поэтому изучение систем, особенно при экспериментальном исследовании, часто производится с помощью обработки регистрируемых сигналов. Например, в аритмологии таким сигналом является электрокардиограмма (ЭКГ), в сейсмологии – колебания коры Земли, в метеорологии – метеонаблюдения и т.п. Исследование таких сигналов, когда производится реконструкция динамических систем, называется *анализом временных рядов* – измерения какой-либо характеристики подобного рода на протяжении некоторого периода времени. Временные ряды имеют большое значение и в экономике, они отражают динамику изменений экономических процессов и явлений.

Цель анализа временного ряда заключается в выявлении закономерностей этих изменений во времени. Как правило, большая часть имеющихся в распоряжении экономиста статистических данных – это временные ряды.

В условиях нестабильной экономической картины в мире особенно интересно определение причинно-следственной связи между курсами валют. Исходные данные курсов рубля, евро и доллара за период 15.10.2014-15.10.2015 взяты из архива курсов валют ЦБ РФ ([www.val.ru](http://www.val.ru)), при помощи треугольного и прямоугольного окон определена причинно-следственная связь данных экономических показателей.

## Материал и методы

*Определение.* Ограниченный сигнал  $x(n)$ ,  $n = 0, \pm 1, \dots$ , является следствием ограниченных сигналов

$$y_k(n), \quad n = 0, \pm 1, \dots, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

если существуют абсолютно сходящиеся ряды

$$h_k(n), \quad n = 0, \pm 1, \dots, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

такие, что

$$x(n) = \sum_{k=1}^m \left( \sum_{j=0}^{\infty} y_k(n-j) h_k(j) \right), \quad n = 0, \pm 1, \dots,$$

*Определение.* Причинную связь сигналов в терминах z-преобразования запишем в виде

$$\hat{x}(z) = \sum_{k=1}^m \hat{y}_k(z) \hat{h}_k(z), \quad |z| = 1,$$

где  $\hat{h}_k(z)$  являются ограниченными аналитическими функциями вне круга единичного радиуса.

*Определение.* Скажем, что сигнал

$$x(n), \quad n = 0, \pm 1, \dots,$$

является почти периодическим, если существуют действительные числа  $\omega_k \in [-\pi, \pi]$ ,  $k = 0, 1, \dots$ , и комплексные числа  $a_k$ ,  $k = 0, 1, \dots, m$ , такие, что

$$x(n) = \sum_{k=1}^m a_k e^{i \omega_k n}, \quad n = 0, \pm 1, \dots$$

Двустороннее Z-преобразование  $X(z)$  дискретного временного сигнала  $x = \{x_n\}_{n=-\infty}^{\infty}$  задаётся как:

$$X(z) = Z\{x(n)\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) z^n$$

где  $n$  – целое,  $z$  – комплексное число.

$$z = A e^{j\varphi},$$

где  $A$  – амплитуда, а  $\varphi$  – угловая частота (в радианах на отсчет).

**Теорема.** Если  $x(n)$ ,  $n = 0, \pm 1, \dots$ , почти периодический, то его z-преобразование будет равняться

$$\hat{x}(z) = \sum_{k=1}^m a_k \delta(z e^{-i \omega_k}),$$

где  $\delta(z)$ ,  $|z|=1$  – объединённая величина, централизованная в точке 1.

**Основная теорема.** Ограниченный и почти периодический сигнал

$$x(n), n = 0, \pm 1, \dots$$

является следствием ограниченных и почти периодических сигналов

$$y_k(n), n = 0, \pm 1, \dots, k = 1, 2, \dots, m$$

тогда и только тогда, когда

$$\text{supp}(\hat{x}) \subseteq \bigcup_{j=1}^m \text{supp}(\hat{y}_j)$$

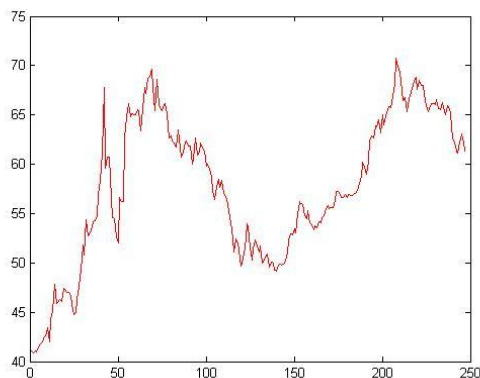
Формула для прямоугольного окна:

$$P_r(x) = \left| \frac{1}{2\pi} \int_{-T}^T X(t) e^{ixt} dt \right|$$

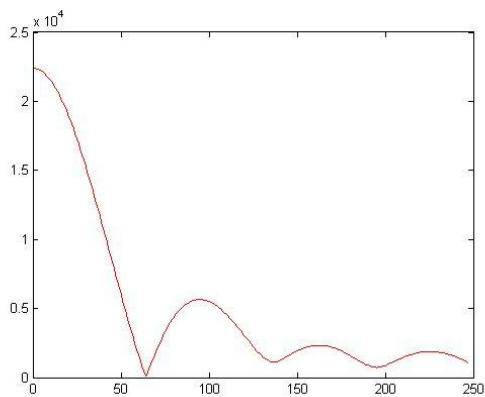
Формула для треугольного окна:

$$P_t(x) = \left| \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) \left(1 - \frac{|t|}{T}\right) e^{-ixt} dt \right|$$

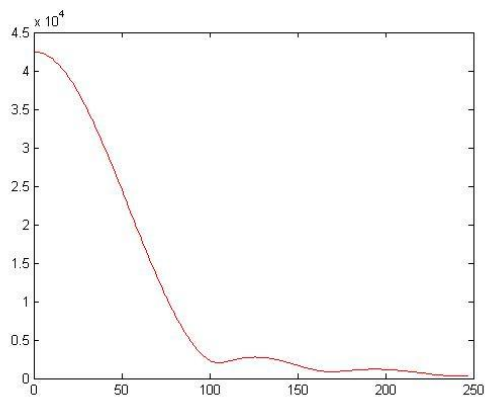
### Курс доллара относительно рубля.



Исходные данные за период 15.10.2014–15.10.2015.

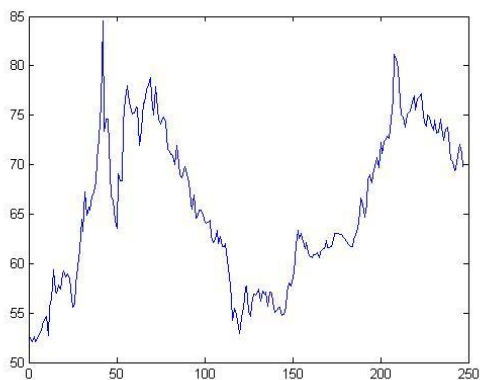


Спектральный анализ с помощью прямоугольного окна



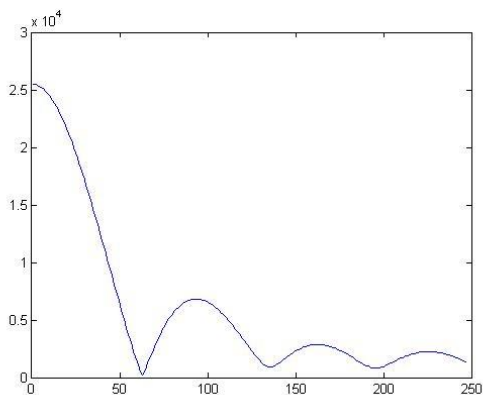
Спектральный анализ с помощью треугольного окна

### Курс евро относительно рубля

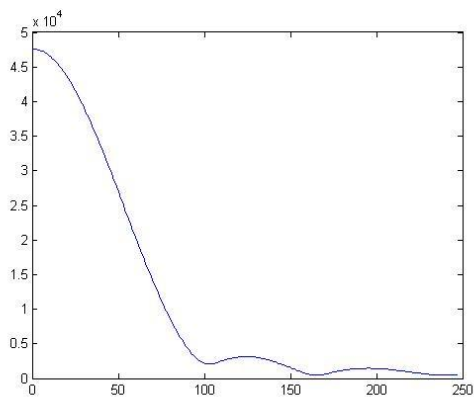


Исходные данные за период 15.10.2014–15.10.2015.

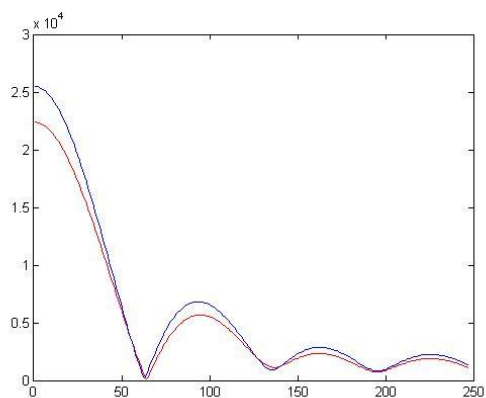




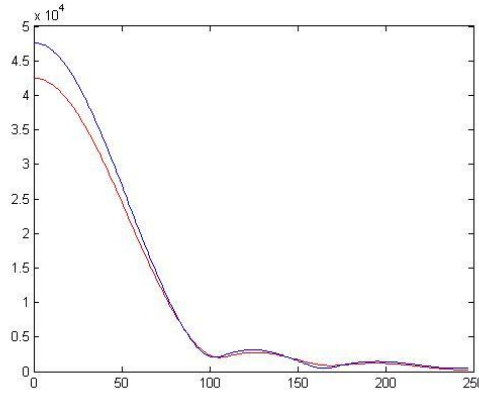
Спектральный анализ с помощью прямоугольного окна



Спектральный анализ с помощью треугольного окна



Сравнение частот для курсов доллара и евро (прямоугольные окна).



Сравнение частот для курсов доллара и евро (треугольные окна).

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Vagharshakyan J. Astola* On hidden periodicities, *Circuits Systems and Signal processes*, v. 19, 1, 2000. PP. 27–42.
2. *Vagharshakyan A.* (1995) On the revealing of hidden periods. *Proc. National Academy of Sciences of Armenia*, vol.95, No 1. PP. 16–17.
3. *Лоскутов А.Ю.* Анализ временных рядов. Курс лекций. СС. 5– 6, 8.
4. *Малюгин В.И., Пранович М.В., Мурин Д.Л., Калечиц Д.Л.* Система эконометрических моделей для анализа, прогнозирования и оценки вариантов денежно-кредитной политики, 2005.

### CAUSAL RELATIONSHIP IN ECONOMICS BY EXAMPLE OF RUBLE, DOLLAR AND EURO RATES

*A. Vagharshakyan, I. Vardanyan*

#### SUMMARY

In this article we studied the causal relationship for time series in economics. The analysis of ruble, dollar and euro rates using triangular and rectangular windows is carried out.

**Keywords:** time series, causal relationship, signals, exchange rates.

ՊԱՏՃԱՌԱՀԵՏԵՎԱՆՔԱՅԻՆ ՀԱՐԱԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ  
ՏՆՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԵԶ, ՌՈՒԲԼՈՒ, ԴՈԼԱՐԻ ԵՎ ԵՎՐՈՒ ՕՐԻՆԱՎՈՎ

*Ա. Ա. Վաղարշակյան, Ի. Ա. Վարդանյան*

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Այս հոդվածում մենք ուսումնասիրել ենք պատճառահետեանքային հարաբերությունները տնտեսական ցուցանիշների ժամանակային շարքերի համար. Կատարվել է փոխարժեքի վերլուծություն ռոբլու, դոլարի եւ եվրոի համար, եռանկյուն եւ ուղղանկյուն պատուհանների օգնությամբ:

**Հիմնաբառեր՝** ժամանակային շարքեր, պատճառահետեանքային հարաբերություններ, ազդանշաններ, փոխարժեքներ:

## ОБ ОДНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ $\lambda$ -ОДНОРОДНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ ОТ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ

*В.Н. Маргарян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье доказывается возможность представления  $\lambda$ -однородных многочленов от двух переменных через простые многочлены.

**Ключевые слова:**  $\lambda$ -однородный многочлен; факторизация многочленов.

Пусть  $N$  – множество натуральных чисел  $N_0 = N \cup \{0\}$ ,  $N_0^2$  – множество двумерных мультииндексов, т.е. точек  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ ,  $\alpha_j \in N_0$   $j=1,2$ ,  $N^2 = \{\alpha = (\alpha_1, \alpha_2), \alpha_j \in N$   $j=1,2\}$ ,  $R^2$  – двумерное вещественное евклидово пространство точек  $\xi = (\xi_1, \xi_2)$ , и  $R_0^2 = \{\xi = (\xi_1, \xi_2) \in R^2, \xi_1 \cdot \xi_2 \neq 0\}$ . Для  $\alpha \in N_0^2$ ;  $\xi, \eta \in R^2$  и  $t > 0$  обозначим  $\xi^\alpha = \xi_1^{\alpha_1} \cdot \xi_2^{\alpha_2}$ ,  $(\xi, \eta) = \xi_1 \eta_1 + \xi_2 \eta_2$ ,  $\xi \cdot \eta = (\xi_1 \eta_1, \xi_2 \eta_2)$ ,  $t^\xi = (t^{\xi_1}, t^{\xi_2})$ ,  $t^\zeta = (t^{\zeta_1}, t^{\zeta_2})$  и  $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} D_2^{\alpha_2}$ , где  $D_j = \partial / \partial \xi_j$ ,  $j=1,2$ .

Пусть  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $\lambda_j > 0$ ,  $j=1,2$ , а  $P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = \sum_{\alpha} \gamma_{\alpha} \xi^{\alpha}$   $\lambda$ -однородный многочлен порядка  $m$ , где сумма распространяется по набору  $(P) = \{\alpha \in N_0^2, \gamma_{\alpha} \neq 0, (\alpha, \lambda) = m\}$ .

Для  $\lambda$ -однородного многочлена  $P$  обозначим

$$\sum(P) = \left\{ \tau \in R^2, \|\tau, \lambda\| = \sqrt{|\tau_1|^{2/\lambda_1} + |\tau_2|^{2/\lambda_2}} = 1, P(\tau) = 0 \right\},$$

$$\text{ord}_P \tau = \min \left\{ l \geq 0, \sum_{|\alpha|=l} D^{\alpha} P(\tau) \neq 0, \tau \in \sum(P) \right\},$$

$$\text{ord}_{P, \lambda} \tau = \min \left\{ l \geq 0, \sum_{(\alpha, \lambda)=l} D^{\alpha} P(\tau) \neq 0, \tau \in \sum(P) \right\}.$$

Известно:

**Лемма (Пини).** Пусть  $Q$  – однородный многочлен порядка  $m$  от двух переменных. Тогда  $Q$  представляется в виде:

$$Q(\xi) = q_0(\xi) \cdot \prod_{j=1}^s (\xi_1 - a_j \xi_2)^{l_j} \cdot \xi_1^{l_{s+1}} \xi_2^{l_{s+2}} \quad \forall \xi \in R^2,$$

где  $s \in N_0$ ,  $\{l_j\}_{j=1}^{s+2} \subset N_0$ ,  $\{a_j\}_{j=1}^{s+2} \subset R$ ,  $a_j \neq a_i$ ,  $i \neq j$ ,  $1 \leq i, j \leq s$ ,  $\sum_{j=1}^{s+2} l_j \leq m$

а  $q_0$  – однородный многочлен порядка  $m - \sum_{j=1}^{s+2} l_j$ , для которого  $q_0(\xi) \neq 0$  при  $\xi \neq 0$ .

**Лемма (см. [1]).** Пусть  $Q(\xi) - \lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $\lambda_j > 0$ ,  $j = 1, 2$  однородный многочлен порядка  $m$ . Тогда при  $\xi \neq 0$  многочлен  $Q$  представляется в виде:

$$Q(\xi) = q_1^{k_1}(\xi) \cdots q_s^{k_s}(\xi) \cdot q_0(\xi), \quad (1)$$

где

а)  $q_0, q_j$ ,  $j = 1, \dots, s$  аналитические функции переменного  $\xi \in R_0^2$ ,  $k_j \in N_0$ ,  $j = 1, \dots, s$ ,

б) если  $q_j(\eta) = 0$  для некоторых  $\eta \in R_0^2$  и  $j: 1 \leq j \leq s$ , то  $q_i(\eta) \neq 0$ ,  $i \neq j$ ,  $1 \leq i \leq s$  и  $\prod_{j=1}^s \frac{\partial}{\partial \xi_k} q_j(\eta) \neq 0$ ,  $k = 1, 2$ .

Наша цель в данной статье заключается в том, чтобы доказать возможность представления  $\lambda$ -однородных многочленов от двух переменных в виде (1), где  $q_0, q_j$ ,  $j = 1, \dots, s$  многочлены.

**Предложение.** Пусть  $r, k \in N$  – взаимно простые числа  $n \in N$  и  $m_1 = r \cdot k \cdot n$ . Если для  $\alpha \in N_0^2$   $r \cdot \alpha_1 + k \cdot \alpha_2 = m_1$ , то существует число  $j = j(\alpha_1) \in N_0$ ,  $0 \leq j \leq n$  такое, что  $\alpha_1 = k \cdot j$  и  $\alpha_2 = k \cdot (n - j)$ .

**Доказательство.** Так как  $r$  и  $k$  – взаимно простые числа и по условию предположения  $r \cdot \frac{\alpha_1}{k} = (r \cdot s - \alpha_2) \in N_0$ , то  $\alpha_1/k := j \in N_0$  и  $0 \leq j \leq n$ . Тогда  $\alpha_1 = k \cdot j$  и  $\alpha_2 = (r \cdot k \cdot n - r \cdot k \cdot j)/k = r \cdot (n - j)$ .

**Лемма 1.** Пусть  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $\lambda_j > 0$ ,  $j = 1, 2$ ,  $P$  –  $\lambda$ -однородный многочлен порядка  $m$  с  $\text{card}(P) \geq 2$ . Тогда многочлен  $P$  представляется в виде (1), где  $q_j$ ,  $j = 1, \dots, n$  простые  $\lambda$ -однородные многочлены, а  $q_0$   $\lambda$ -однородный многочлен, для которого  $q_0(\eta) \neq 0$  при  $\eta \neq 0$ .

**Доказательство.** Из условия  $\lambda$ -однородности многочлена  $P$  в силу условия  $\text{card}(P) \geq 2$  следует, что  $\lambda_1/\lambda_2$  рациональное число. Так как  $\lambda$ -однородный многочлен порядка  $m$  для любого  $t > 0$  является  $t \cdot \lambda$ -однородный многочлен порядка  $t \cdot m$ , то при  $\text{card}(P) \geq 2$  существует число  $t_0 > 0$  – такое, что компоненты  $\lambda_1^0, \lambda_2^0$  вектора  $\lambda^0 := t_0 \cdot \lambda$  взаимно простые натуральные чис-

ла. При этом,  $m_0 := t_0 \cdot m \in N$  и

$$P_{m_0}(\xi) := P(\xi) = \sum_{(\alpha, \lambda^0) = m_0} \gamma_\alpha \xi^\alpha \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^2.$$

Нетрудно проверить, что существуют числа  $l_1, l_2 \in N_0$  ( $l_1 \in N$  при  $P_{m_0}(0,1) = 0$ ,  $l_2 \in N$  при  $P_{m_0}(1,0) = 0$ ) такие, что:

$$\begin{aligned} P_{m_0}(\xi) &= \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot \sum_{(\alpha, \lambda^0) = m_1} \gamma_{(\alpha_1+l_1, \alpha_2+l_2)} \xi_1^{\alpha_1} \cdot \xi_2^{\alpha_2} := \\ &= \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot R_{m_1}(\xi) \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$m_1 = m_0 - (l_1 \cdot \lambda_1^0 + l_2 \cdot \lambda_2^0) \in N, \quad \text{card}(R_{m_1}) = \text{card}(P_{m_0}) \geq 2 \text{ и}$$

$$R_{m_1}(0,1) \cdot R_{m_1}(1,0) \neq 0.$$

Из условий  $R_{m_1}(0,1) \cdot R_{m_1}(1,0) \neq 0$  и  $m_1 > 0$  следует, что  $m_1/\lambda_1^0$ ,  $m_1/\lambda_2^0 \in N$ . Так как  $\lambda_1^0, \lambda_2^0 \in N$  – взаимно простые числа, то отсюда следует, что существует  $n \in N$ , для которого  $m_1 = \lambda_1^0 \cdot \lambda_2^0 \cdot n$ . Тогда из представления (2) в силу предложения имеем:

$$\begin{aligned} P_{m_0}(\xi) &= \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot \sum_{j=0}^n \gamma_{(\lambda_2^0 \cdot j + l_1, \lambda_1^0 \cdot (n-j) + l_2)} \xi_1^{\lambda_2^0 \cdot j} \cdot \xi_2^{\lambda_1^0 \cdot (n-j)} := \\ &= \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot \sum_{j=0}^n c_j \left( \xi_1^{\lambda_2^0} \right)^j \cdot \left( \xi_2^{\lambda_1^0} \right)^{n-j} := \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot Q_n \left( \xi_1^{\lambda_2^0}, \xi_2^{\lambda_1^0} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Q_n$  – однородный многочлен порядка  $n$ . Тогда из представления (4) в силу леммы Пини имеем

$$P(\xi) = P_{m_0}(\xi) = \xi_1^{l_1} \cdot \xi_2^{l_2} \cdot \prod_{j=1}^s \left( \xi_1^{\lambda_2^0} - a_j \xi_2^{\lambda_1^0} \right)^{s_j} \cdot q_0 \left( \xi_1^{\lambda_2^0}, \xi_2^{\lambda_1^0} \right) \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^2, \quad (4)$$

где

$$s \in N_0, \quad s \leq n, \quad \{\rho_j\}_{j=1}^s \subset N_0, \quad \{a_j\}_{j=1}^s \subset \mathbb{R},$$

$$a_j \neq a_i, \quad i \neq j, \quad 1 \leq i, j \leq s, \quad \sum_{j=1}^{s+2} l_j \leq n,$$

а  $q_0$  – однородный многочлен порядка  $s - \sum_{j=1}^s \rho_j$ ,  $q_0(\eta) \neq 0$  при  $\eta \neq 0$ . Лемма

доказана.

Из предположения (5) следует, что

1) если  $\tau = \pm(0,1) \in \sum(P)$ , то  $\text{ord}_P \tau = l_1$ ,  $\text{ord}_{P,\lambda^0} \tau = l_1 \cdot \lambda_1^0$ ,

2) если  $\tau = \pm(1,0) \in \sum(P)$ , то  $\text{ord}_P \tau = l_2$ ,  $\text{ord}_{P,\lambda^0} \tau = l_2 \cdot \lambda_2^0$ ,

3) если  $\tau \in \sum(P) \cap R_0^2$ , то существует  $j_0: 1 \leq j_0 \leq s$ , для которого  $\tau_1^{\lambda_2^0} - a_{j_0} \tau_2^{\lambda_1^0} = 0$ ,  $\text{ord}_P \tau = \rho_{j_0}$  и  $\text{ord}_{P,\lambda^0} \tau = \rho_{j_0} \cdot \min \{ \lambda_1^0, \lambda_2^0 \}$ .

Из 3) и представлений (4) и (2) следует, что для любого  $\tau \in \sum(P) \cap R_0^2$

$$\text{ord}_{P,\lambda^0} \tau \leq \frac{m_1}{\lambda_1^0 \cdot \lambda_2^0} \min \{ \lambda_1^0, \lambda_2^0 \} \leq \frac{m_0}{\lambda_1^0 \cdot \lambda_2^0} \min \{ \lambda_1^0, \lambda_2^0 \} \quad (5)$$

**Лемма 2.** Пусть  $Q \lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$ ,  $\lambda_j > 0$ ,  $j = 1, 2$ , однородный многочлен порядка  $m$  от двух переменных, для которого

$$\max_{\tau \in \sum(Q)} \text{ord}_{Q,\lambda} \tau = l \quad (l \leq m).$$

Тогда с некоторой постоянной  $c$

$$1 + \sum_{\alpha} |D^{\alpha} Q(\xi)| \geq c \|\xi, \lambda\|^{m-l} \quad \forall \xi \in R^2.$$

**Доказательство.** Предположим обратное, что существует последовательность  $\{ \xi^s \}_{s=1}^{\infty} \subset R^2$   $\|\xi^s, \lambda\| \rightarrow \infty$  при  $s \rightarrow \infty$ , для которого при  $s \rightarrow \infty$

$$\sum_{\alpha} |D^{\alpha} Q(\xi^s)| / \|\xi^s, \lambda\| \rightarrow 0. \quad (6)$$

Так как  $\|\xi^s / \|\xi^s, \lambda\|^{\lambda}, \lambda\| = 1$ ,  $s = 1, 2, \dots$  то за счет выбора последовательности  $\{ \xi^s \}_{s=1}^{\infty}$  можно считать, что последовательность  $\tau^s := \xi^s / \|\xi^s, \lambda\|^{\lambda}$   $s = 1, 2, \dots$  сходится пусть к точке  $\tau$ ,  $\|\tau, \lambda\| = 1$ . Из определения точки  $\tau$  в силу соотношения (6) имеем, что  $\tau \in \sum(Q)$ . Пусть  $\text{ord}_{Q,\lambda} \tau = l_0$ . Тогда в силу  $\lambda$  – однородности многочлена  $Q$  имеем, что при всех  $s = 1, 2, \dots$

$$\sum_{\alpha} |D^{\alpha} Q(\xi^s)| \geq \sum_{(\alpha,\lambda)=l_0} |D^{\alpha} Q(\xi^s)| = \|\xi^s, \lambda\|^{m-l_0} \cdot \sum_{(\alpha,\lambda)=l_0} |D^{\alpha} Q(\tau^s)| \quad (7)$$

Так как при  $\tau^s \rightarrow \tau$  при  $s \rightarrow \infty$ , то из определения  $l_0$  имеем, что при  $s \rightarrow \infty$

$$\sum_{(\alpha,\lambda)=l_0} |D^{\alpha} Q(\tau^s)| \rightarrow \sum_{(\alpha,\lambda)=l_0} |D^{\alpha} Q(\tau)| > 0. \quad (8)$$

Оценка (7) в силу (8) противоречит соотношению (6) так как  $l_0 \leq l$ . Полу-

ченное противоречие доказывает справедливость утверждения леммы.

**Теорема.** Пусть  $P$  –  $\lambda^0$ -однородный многочлен, представленный в виде (4). Тогда с некоторой постоянной  $c$

$$1 + \sum_{\alpha} |D^{\alpha} P(\xi)| \geq c \|\xi, \lambda^0\|^{m_1 \left(1 - \frac{\min\{\lambda_1^0, \lambda_2^0\}}{\lambda_1^0 \cdot \lambda_2^0}\right)} \quad \forall \xi \in R^2.$$

Доказательство непосредственно следует из леммы 2 в силу пунктов 1–3 и неравенства (5).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Казарян Г.Г. Об одном семействе гипоеллиптических полиномов // Изв. АН Арм.ССР, т. 9, #3. СС. 189–211, 1974.

### A REPRESENTATION OF $\lambda$ -HOMOGENEOUS POLYNOMIALS OF TWO VARIABLES

*V. Margaryan*

#### SUMMARY

In the paper proved that every  $\lambda$ -homogeneous polynomial of two variables can be presented by elementary polynomials.

**Keywords:**  $\lambda$ -homogeneous polynomial, factorization of polynomial.

### ԵՐԿՈՒ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ $\lambda$ -ՀԱՄԱՍԵՌ ԲԱԶՄԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՄԻ ՆԵՐԿԱՅԱՑՈՒՄ

*Վ. Ն. Մարգարյան*

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ապացուցված է երկու փոփոխանի  $\lambda$ -համասեռ բազմանդամի ներկայացումը տարական բազմանդամներով:

**Հիմնաբառեր**՝  $\lambda$ -համասեռ բազմանդամ, բազմանդամի վերլուծություն:

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ИНДЕКСА В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

*А.Г. Туманян*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе исследован вопрос устойчивости индекса полуэллиптического оператора при возмущении дифференциального оператора младшими членами. Получено достаточное условие, при выполнении которого индекс полуэллиптического оператора в анизотропных соболевских пространствах функций, определенных на всем  $R^n$ , является устойчивым относительно возмущений младшими членами дифференциального выражения.

**Ключевые слова:** индекс оператора, нетеровость, устойчивость индекса, полуэллиптический оператор.

Нетеровость и исследование индекса операторов имеют важное значение для таких вопросов, как: существование и единственность решения, определение условий разрешимости операторного уравнения, спектральные свойства операторов [1].

Для сингулярных интегро-дифференциальных операторов, определенных на гладких компактных многообразиях с краем и без края М.С. Аграновичем [2] установлена эквивалентность нетеровости и эллиптичности в определенных пространствах Соболева. Атьей и Зингером найдена формула для выражения индекса в топологических терминах для эллиптического оператора на компактных многообразиях [3].

Для исследования неоднородных физических моделей Л. Хермандер ввел класс гипозэллиптических операторов при изучении которого был введен класс полуэллиптических операторов. С важностью класса гипозэллиптических операторов связана актуальность изучения конечности индекса для таких операторов, на базе которых будет доказана разрешимость неоднородных уравнений. Для некоторых классов полуэллиптических операторов в работах А.А. Дарбиняна и Г.А. Карапетяна [4–5] доказана нетеровость и фредгольмовость в определенных весовых пространствах типа Соболева. Для полуэллиптического оператора с постоянными коэффициентами в области в работе [6] построен регуляризатор и найдено необходимое и достаточное условие нетеровости для оператора с постоянными коэффициентами в анизотропных соболевских пространствах функций, определенных на всем  $R^n$  [7]. Инвариантность индекса линейного ограниченного оператора на вложенных банаховых пространствах изучена в работе [8], а инвариантность индекса полуэллиптического оператора на шкале анизотропных пространств в работе [9].

Данная работа посвящена исследованию индекса операторов при возмущениях младшими членами дифференциального оператора.



**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  $A$  замкнуто ( $ImA = \overline{ImA}$ );
- 2) ядро оператора  $A$  является конечномерным ( $dim KerA < \infty$ );
- 3) коядро оператора  $A$  конечномерно ( $dim cokerA = dim Y / ImA < \infty$ ).

**Определение 2.** Ограниченный линейный оператор  $A$ , определенный на всем банаховом пространстве  $X$  и действующий в банахово пространство  $Y$ , называется нормально разрешимым, если образ оператора замкнут ( $ImA = \overline{ImA}$ ).

Индексом нетероваго оператора  $A$  назовем разность между размерностью ядра и коядра:

$$ind(A) = dim KerA - dim cokerA.$$

Обозначим:

$$C_b^\infty = \left\{ a(x) \in C^\infty : \sup_{x \in R^n} |D^\beta a(x)| < \infty, \forall \beta \in Z_+^n \right\}.$$

Рассмотрим дифференциальное выражение

$$P(x, D) = \sum_{(\alpha: \nu) \leq s} a_\alpha(x) D^\alpha, \quad (1)$$

где

$$\nu \in Z_+^n, s \in N, (\alpha: \nu) = \frac{\alpha_1}{\nu_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{\nu_n}, D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n},$$

$$D_k = i \frac{\partial}{\partial x_k}, x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n, n \geq 2, a_\alpha(x) \in C_b^\infty,$$

а

$$P_s(x, D) = \sum_{(\alpha: \nu) = s} a_\alpha(x) D^\alpha \quad (2)$$

называется главной частью дифференциального выражения  $P(x, D)$ , и обозначим через

$$\sigma_s(x, \xi) = \sum_{(\alpha: \nu) = s} a_\alpha(x) \xi^\alpha. \quad (3)$$

символ главной части  $P(x, D)$ .

**Определение 3.** Скажем, что  $P(x, D)$  равномерно полуэллиптический, если существует такая положительная постоянная  $C$ , что

$$|\sigma_s(x, \xi)| \geq C |\xi|_\nu^s, \forall x \in R^n, \forall \xi \in R^n.$$

**Определение 4.** Для вектора  $\nu$  с натуральными компонентами и натураль-

ного числа  $k$  обозначим через  $H_v^k(\mathbb{R}^n)$  множество измеримых функций  $\{u\}$  с конечной нормой

$$\|u\|_{k,v} = \left( \sum_{(\alpha:v) \leq k} \int |D^\alpha u(x)|^2 dx \right)^{1/2}.$$

Обозначим

$$\mathcal{Q} = \left\{ q(x) \in C^\infty(\mathbb{R}^n) : \frac{1}{|q(x)|} \rightarrow 0 \text{ и } \frac{|D^\beta q(x)|}{|q(x)|} \rightarrow 0, \text{ для } \forall \beta \in Z_+^n \text{ при } |x| \rightarrow \infty \right\}$$

**Определение 5.** Для вектора  $V$  с натуральными компонентами, натурально-го числа  $k$  и функции  $q(x) \in \mathcal{Q}$  обозначим через  $H_{v,q}^k(\mathbb{R}^n)$  множество измеримых функций  $\{u\}$  с конечной нормой

$$\|u\|_{k,v,q} = \left( \sum_{(\alpha:v) \leq k} \int |D^\alpha u(x) q(x)^{(k-(\alpha:v))v_{\max}}|^2 dx \right)^{1/2}.$$

Заметим, что  $P(x, D)$  является ограниченным линейным оператором из  $H_v^{k+s}(\mathbb{R}^n)$  в  $H_v^k(\mathbb{R}^n)$ , с областью определения  $H_v^{k+s}(\mathbb{R}^n)$ . Число  $s$  назовем порядком оператора.

Заметим также, что  $P(x, D)$  является ограниченным линейным оператором из  $H_{v,q}^{k+s}(\mathbb{R}^n)$  в  $H_{v,q}^k(\mathbb{R}^n)$  с областью определения  $H_{v,q}^{k+s}(\mathbb{R}^n)$ . Такой оператор обозначим  $P_q(x, D): H_{v,q}^{k+s}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H_{v,q}^k(\mathbb{R}^n)$ .

В работе доказывается следующая лемма:

**Лемма 1.** Пусть  $P(x, D): H_v^{k+s}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H_v^k(\mathbb{R}^n)$  – равномерно полуэллиптический нетеровый оператор и  $P_q(x, D): H_{v,q}^{k+s}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H_{v,q}^k(\mathbb{R}^n)$  нормально разрешимый. Тогда  $P_q(x, D): H_{v,q}^{k+s}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H_{v,q}^k(\mathbb{R}^n)$  также является нетеровым оператором, причем  $\text{ind}(P) = \text{ind}(P_q)$ .

Рассмотрим дифференциальное выражение с младшими членами

$$T(x, D) = \sum_{(\alpha:v) < s} b_\alpha(x) D^\alpha,$$

где  $b_\alpha(x) \in C_b^\infty$ . Через  $\tilde{P}(x, D)$  обозначим  $P(x, D) + T(x, D)$ .

Доказана следующая теорема об устойчивости индекса относительно возмущений младшими членами:

**Теорема.** Пусть  $P(x, D): H_v^{k+s}(R^n) \rightarrow H_v^k(R^n)$  равномерно полуэллиптический оператор и  $P_q(x, D): H_{v,q}^{k+s}(R^n) \rightarrow H_{v,q}^k(R^n)$  – нормально разрешимый оператор. Если  $P(x, D): H_v^{k+s}(R^n) \rightarrow H_v^k(R^n)$  и  $\tilde{P}(x, D): H_v^{k+s}(R^n) \rightarrow H_v^k(R^n)$  являются нетеровыми операторами, то их индексы равны:  $ind(P) = ind(\tilde{P})$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кутателадзе С.С. Основы функционального анализа. Новосибирск, Изд-во Института Математики, 2006.
2. Агранович М.С. Эллиптические сингулярные интегродифференциальные операторы. // Успехи Мат. Наук, 1965. Т. 20, вып. 5 (125). СС. 3–120.
3. Atiyah M. F., Singer I. M. The index of elliptic operators on compact manifolds, Bull. A.M.S. 69 (1963). СС. 422–433.
4. Карапетян Г.А., Дарбинян А.А. Об индексе полуэллиптического оператора в  $R^n$ , Изв. НАН. Арм., Мат. Т. 42, № 5. СС. 33–50, 2007.
5. Карапетян Г.А., Дарбинян А.А. Нетеровость полуэллиптического оператора с постоянными коэффициентами в области, Уч. Записи ЕГУ, № 3, 2008.
6. Дарбинян А.А., Туманян А.Г. Построение регуляризатора для полуэллиптического оператора // Седьмая Годичная Научная конференция (3–7 декабря 2012), Ер.: Изд-во РАУ. СС. 19–23, 2013.
7. Дарбинян А.А., Туманян А.Г. Необходимое и достаточное условие нетеровости оператора с постоянными коэффициентами // «Вестник РАУ», 2014 #2, Ер.: Изд-во РАУ. СС. 4–14, 2014.
8. Дарбинян А.А., Туманян А.Г. Построение регуляризатора для полуэллиптического оператора // Девятая Годичная Научная конференция, Ер.: Изд-во РАУ, 2014 (в печати).
9. Darbinyan A., Tumanyan A. Interpolation of noethericity and index invariance on the scale of anisotropic spaces. Proceedings of International Conference “Harmonic analysis and approximations, VI”. PP. 28–29.

#### ON INDEX STABILITY OF SEMIELLIPTIC OPERATOR IN ANISOTROPIC SPACES

G. Tumanyan

#### SUMMARY

In this paper index stability is studied for semielliptic operators perturbed by lower order terms of differential operators. The conditions are established under which lower order terms of differential operators does not affect the index of semi-elliptic operators, acting in anisotropic Sobolev spaces.

**Keywords:** operator’s index, Noetherian operator, index stability, semi-elliptic operator.

ԱՆԻՋՈՏՐՈՊ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ԻՆՂԵՔՄԻ  
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

*Ա. Գ. Թումանյան*

**ԱՄՓՈՓՈՒՄ**

Աշխատանքում հետազոտվում է կիսաէլիպտիկ օպերատորների ինդեքսի կայունության հարցը դիֆֆերենցիալ օպերատորի կրտսեր անդամներով գրգռման դեպքում: Գտնված են պայմաններ, որոնց կատարման դեպքում կիսաէլիպտիկ օպերատորի ինդեքսը կայուն է դիֆֆերենցիալ օպերատորի կրտսեր անդամներով գրգռման նկատմամբ սոբոլյան անիզոտրոպ տարածություններում:

**Հիմնաբառեր`** օպերատորի ինդեքս, նյոտերյան օպերատոր, ինդեքսի կայունություն, կիսաէլիպտիկ օպերատոր:

# О ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЯХ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА УРЫСОНА<sup>1</sup>

*А.Х. Хачатрян, Х.А. Хачатрян, А.С. Петросян*

## АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена исследованию одного класса нелинейных интегральных уравнений типа Урысона на положительной полупрямой. При определенных условиях на нелинейность устанавливаются глобальные теоремы существования однопараметрических семейств положительных решений в определенных пространствах.

**Ключевые слова:** уравнение Урысона, монотонность, положительное решение, предел решения.

## Введение

Нелинейными интегральными уравнениями вида

$$\phi(x) = \int_0^{\infty} U(x, t, \phi(t)) dt, \quad x \geq 0 \quad (1.1)$$

(именуемыми уравнениями типа Урысона) описываются ряд задач современного естествознания. В частности, такие уравнения возникают в кинетической теории газов, в биологии, в р-адической математической физике [1–3]. В уравнении (1.1)  $\phi(x)$  – искомая измеримая функция, определенная на  $R^+ := [0, +\infty)$ . Функция  $U(x, t, z)$  определена на множестве  $R^+ \times R^+ \times R$ , принимает вещественные значения и удовлетворяет определенным дополнительным условиям (см. формулировки основных теорем).

Исторически первая работа, относящаяся к изучению интегрального уравнения вида

$$f(x) = g(x) + \int_a^b U(x, t, f(t)) dt, \quad x \in (a, b), \quad -\infty < a < b < +\infty, \quad (1.2)$$

(в дальнейшем именуемым уравнением Урысона) появилась в начале прошлого столетия (см. [4]). В данной работе исследованы вопросы построения непрерывных решений на отрезке  $[a, b]$  при достаточно сильных ограничениях на функции  $g$  и  $U$  (непрерывность функции  $g$ , существование и непрерывность производной функции  $U$  по третьему аргументу, определенные неравенства для этой производной и т.д.). В дальнейшем, начиная с 50-х гг. XXв., были начаты систе-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта SCS 15T-1A033.

математические исследования нелинейных уравнений вида (1.2) в работах М.А. Красносельского, С.Г. Крейна, П.П. Забрейко [5–8]. Затем представители научной школы М.А. Красносельского начали проводить более глубокие исследования соответствующих нелинейных операторов Урысона. В этом аспекте следует отметить работы [9–13] в которых найдены уникальные, необходимые и достаточные условия, обеспечивающие компактность (или полную непрерывность) операторов Урысона в банаховых пространствах  $L_p(a, b)$ . С помощью этих условий при дополнительных ограничениях на  $g$  и  $U$  в данных работах доказаны довольно тонкие теоремы существования и единственности решения. Аналогичные вопросы параллельно изучались на западе в работах таких крупнейших математиков, как: Ф. Браудер, Г. Брейзис, ДЖ. Минти и т.д. [14–17].

Однако следует отметить, что во всех этих работах существенную роль играла компактность (или слабая компактность) соответствующих отображений в конкретных пространствах. В некоторых случаях конечность чисел  $a$  и  $b$  также играла ключевую роль.

В последнее время в связи с развитием различных математических моделей для нелинейного кинетического уравнения Больцмана возрос интерес к исследованию нелинейных интегральных уравнений Урысона на положительной полупрямой, соответствующий оператор которых не обладает свойством компактности.

В настоящей работе при некоторых ограничениях на функцию  $U$  сформулированы теоремы существования однопараметрических семейств положительных решений.

### Обозначение и вспомогательные факты

Пусть  $E$  – одно из следующих банаховых пространств:  $L_p(\mathbb{R}^+)$ ,  $1 \leq p \leq +\infty$ ,  $C_0(\mathbb{R}^+)$ , где  $C_0(\mathbb{R}^+)$  – пространство непрерывных функций на  $\mathbb{R}^+$  с нулевым пределом в бесконечности. Обозначим через  $\Omega$  класс интегральных операторов Винера-Хопфа:  $\mathfrak{R} \in \Omega$ , если для некоторого  $K \in L_1(\mathbb{R})$

$$(\mathfrak{R}f)(x) = \int_0^{\infty} K(x-t)f(t)dt, \quad f \in E. \quad (2.1)$$

Достаточно хорошо известно, что интегральные операторы из  $\Omega$  действуют в каждом из пространств  $E$ , не обладают свойством компактности в этих пространствах.

Пусть теперь  $\mathfrak{R} \in \Omega$  – интегральный оператор Винера-Хопфа, ядро  $K$  которого удовлетворяет следующим условиям:

а)  $K(\tau) \geq 0$ ,  $\tau \in \mathbb{R}$ ,  $K \in L_1(\mathbb{R}) \cap L_{\infty}(\mathbb{R})$ ,

$$\text{b) } \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) d\tau = 1, \quad v(K) := \int_{-\infty}^{\infty} \tau K(\tau) d\tau < 0,$$

$$\text{c) } \int_{-\infty}^{\infty} |\tau|^j K(\tau) d\tau < +\infty, \quad j = 1, 2.$$

Тогда, как известно [18], оператор  $I - \mathfrak{R}$  (где  $I$  – единичный оператор) допускает следующую факторизацию:

$$I - \mathfrak{R} = (I - V_-)(I - V_+), \quad (2.2)$$

где  $V_{\pm}$  – суть верхние и нижние вольтерровые операторы вида:

$$(V_- f)(x) = \int_x^{\infty} v_-(t-x) f(t) dt, \quad x \geq 0, \quad f \in E,$$

$$(V_+ f)(x) = \int_0^x v_+(x-t) f(t) dt, \quad x \geq 0, \quad f \in E,$$

причем

$$\begin{aligned} v_{\pm}(x) \geq 0, x \geq 0, v_{\pm} \in L_1(\mathbb{R}^+) \cap L_{\infty}(\mathbb{R}^+), \gamma_+ = \\ = \int_0^{\infty} v_+(x) dx < 1, \gamma_- = \int_0^{\infty} v_-(x) dx = 1. \end{aligned}$$

Число  $\gamma_+$  в наших дальнейших рассуждениях будет играть важную роль.

Введем следующий класс вещественных и измеримых функций:  $\omega \in \Sigma$ , если:

- 1) существует число  $A > 0$  такое, что при всяком фиксированном  $t \in \mathbb{R}^+$   $\omega(t, y) \uparrow$  по  $y$  на  $[A, +\infty)$ ,
- 2)  $\omega(t, y) \geq 0$ , при  $(t, y) \in \mathbb{R}^+ \times [A, +\infty)$ ,
- 3) существует  $\sup_{y \geq A} \omega(t, y) := \beta(t)$ , где

$$\beta \in L_1(\mathbb{R}^+) \cap L_{\infty}(\mathbb{R}^+), m_1(\beta) := \int_0^{\infty} t \beta(t) dt < +\infty,$$

4)  $\omega \in \text{Car}_y(\mathbb{R}^+ \times [A, +\infty))$ , т.е. при каждом фиксированном  $y \in [A, +\infty)$  функция  $\omega(t, y)$  измерима по  $t$  на  $\mathbb{R}^+$  и почти при всех  $t \in \mathbb{R}^+$  функция  $\omega(t, y)$  непрерывна по  $y$  на  $[A, +\infty)$ .

Основными результатами настоящей работы являются следующие теоремы:

**Теорема 1.** Пусть существует число  $A > 0$  такое, что

I)  $U(x, t, y) \geq K(x-t)(y + \omega(t, y))$  для  $(x, t, y) \in \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \times [A, +\infty)$ , где  $K$  удовлетворяет условиям а) – с), где  $\omega \in \Sigma$ ,

II) при каждом фиксированном  $(x, t) \in \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+$  функция  $U(x, t, y) \uparrow$  по  $y$  на  $[A, +\infty)$ ,

III)  $U \in \text{Car}_y(\mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \times [A, +\infty))$  и для каждой измеримой и ограниченной на  $\mathbb{R}^+$  функции  $\phi(x) : \phi(x) \geq A, x \in \mathbb{R}^+$  функции  $U(x, t, \phi(t))$  и  $\int_0^\infty U(x, t, \phi(t)) dt$  измеримы соответственно по  $t$  и по  $x$  на  $\mathbb{R}^+$ ,

IV) существует

$$\sup_{y \geq A} \int_0^\infty [U(x, t, y) - K(x-t)y] dt = g_0(x), \quad x \in \mathbb{R}^+, \quad g_0 \in L_1(\mathbb{R}^+) \cap L_\infty(\mathbb{R}^+) \quad \text{и} \\ m_1(g_0) < +\infty.$$

Тогда уравнение (1.1) обладает однопараметрическим семейством положительных и ограниченных решений  $\{\phi^\gamma(x)\}_{\gamma \in \Pi}$ , причем  $\lim_{x \rightarrow \infty} \phi^\gamma(x) = \frac{\gamma}{1 - \gamma_+}$ ,  $\gamma \in \Pi := [A, +\infty)$ , где число  $\gamma_+$  определяется в пункте 2.2.

**Теорема 2.** Пусть функция  $U(x, t, y)$  удовлетворяет следующим условиям:

$$i_1) \quad U(x, t, y) \geq K(x-t) \left( y + \omega \left( t, y + \frac{A}{1 - \gamma_+} \right) \right), \quad \forall (x, t, y) \in \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+,$$

где числа  $A$  и  $\gamma_+$  определяются с посредством  $\omega$  и  $K$ , причем  $\omega \in \Sigma$ , а  $K$  обладает свойствами а)–с),

$i_2)$  при каждом фиксированном  $(x, t) \in \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+$  функция  $U(x, t, y) \uparrow$  по  $y$  на  $\mathbb{R}^+$ ,

$i_3)$   $U \in \text{Car}_y(\mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+)$  и для каждой суммируемой и неотрицательной функции  $\phi(x), x \geq 0$  функции  $U(x, t, \phi(t))$  и  $\int_0^\infty U(x, t, \phi(t)) dt$  измеримы, соответственно, по  $t$  и по  $x$ ,

$i_4)$  существует

$$\sup_{y \geq 0} \int_0^\infty [U(x, t, y) - K(x-t)y] dt = \tilde{g}(x), \quad x \in \mathbb{R}^+, \quad \tilde{g} \in L_1(\mathbb{R}^+) \cap L_\infty(\mathbb{R}^+) \quad \text{и} \\ m_1(\tilde{g}) < +\infty.$$



Тогда уравнение (1.1) имеет положительное решение  $\phi^* \in L_1(R^+) \cap L_\infty(R^+)$ , для которого  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \phi^*(x) = 0$ .

Подробному доказательству этих теорем и обсуждению соответствующих частных примеров будет посвящена отдельная работа авторов. Отметим также, что из теорем 1 и 2 непосредственно следует, что при выполнении условий  $i_1) - i_4)$  (условия  $i_1) - i_4)$  более сильные по сравнению со условиями I–IV уравнение (1.1) одновременно обладает однопараметрическим семейством положительных и ограниченных решений  $\{\phi^\gamma(x)\}_{\gamma \in \Pi}$  с положительными пределами в бесконечности и суммируемым ограниченным положительным решением  $\phi^*(x)$ , предел которого в  $+\infty$  равна нулю.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Хачатрян А.Х., Хачатрян Х.А.* Качественное различие решений для стационарных модельных уравнений Больцмана в линейном и нелинейном случаях, ТМФ, 2014. Т. 180, № 2. СС. 272–288.
2. *Diekmann O.* Thresholds and travelling waves for the geographical spread of infection. J. Math. Biol. 1978, vol. 6, № 2. PP. 109–130.
3. *Vladimirov V.S., Volovich Y.I.* Nonlinear Dynamics equation in p-adic string theory. Theoretical and Mathematical physics. 2004, vol. 138, № 3. PP. 355–368.
4. *Урысон П.С.* Об одном типе нелинейных интегральных уравнений. Матем. сборник, 1923 г. Т. 31, № 2. СС. 236–255.
5. *Красносельский М.А.* Некоторые задачи нелинейного анализа. УМН, 1954г. Т. 9, № 3. СС. 57–114.
6. *Красносельский М.А., Пустыльник Е.И.* Об условиях полной непрерывности нелинейного интегрального оператора // Труды семинара по функ. анализу, Воронеж, вып. 7, 1963г. СС. 5–7.
7. *Крейн С.Г.* Линейные уравнения в банаховом пространстве. М.: «Наука», 1971. 464 с.
8. *Красносельский М.А., Забрейко П.П.* О разрешимости нелинейных операторных уравнений. Функ. анализ и его прилож. 1971 г. Т. 5, № 3. СС. 42–44.
9. *Красносельский М.А., Забрейко П.П., Пустыльник Е.И., Соболевский П.Е.* Интегральные операторы в пространствах суммируемых функций. М.: «Наука», 1966. 500 с.
10. *Забрейко П.П., Пустыльник Е.И.* О непрерывности и полной непрерывности нелинейных интегральных операторов в пространствах  $L_p$  // Успехи мат. наук, 1964г. Т. 19, № 2. СС. 204–505.
11. *Забрейко П.П.* О непрерывности и полной непрерывности операторов П.С. Урысона // Доклады АН СССР, 1965 г. Т. 161, № 5. СС. 1007–1010.
12. *Забрейко П.П.* О непрерывности нелинейного оператора // Сибирский мат. журнал, 1964г. Т. 5, № 4. СС. 958–960.
13. *Красносельский М.А.* Положительные решения операторных уравнений. М.: Изд-во физ. мат. лит., 1962г. 394 с.
14. *Brezis H., Browder F.E.* Existence theorems for nonlinear integral equations of Hammerstein type. Bull. Amer. Math. Soc. 1975, vol. 81, № 1. PP. 73–78.

15. *Banas J.* Integrable solutions of Hammerstein and Urysohn integral equations. J. Austral. Math. Soc. (A) 1989, vol. 46. PP. 61–68.
16. *Benes V.E.* A nonlinear integral equation from the theory of servo-mechanisms. Bell. System. Techn. J. 1961, vol. 40, № 5. PP. 1309–1321.
17. *George J. Minty,* Monotone (nonlinear) operators in Hilbert space, Duke Math. vol. 29 1962. PP. 341–346.
18. *Արաբաձյան Լ.Գ., Էնցիբարյան Ն.Բ.* Уравнения в свертках и нелинейные функциональные уравнения. Итоги науки и техники, Математический анализ, 1984г. Т. 22. СС. 175–242.

## ON POSITIVE SOLUTIONS FOR ONE CLASS URYSOHN TYPE NONLINEAR INTEGRAL EQUATIONS

*A. Khachatryan, Kh. Khachatryan, H. Petrosyan*

### SUMMARY

The work is devoted to the study of one class Urysohn type nonlinear integral equations on positive half line. Imposing certain conditions on nonlinearity global theorems of existence of one-parametric families of positive solutions in concrete spaces are established.

**Keywords:** Urysohn's equation, monotonicity, positive solution, limit of solution.

## ՈՒՐԻՍՈՆԻ ՏԻՊԻ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻ ԴԱՍԻ ՀԱՄԱՐ ԴՐԱԿԱՆ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

*Ա.Խ. Խաչատրյան, Խ.Ա. Խաչատրյան, Հ.Ս. Պետրոսյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է դրական կիսաառանցքի վրա Ուրիսոնի տիպի ոչ գծային ինտեգրալ հավասարումների մի դասի ուսումնասիրությանը: Ոչ գծայնության վրա որոշ պայմանների դեպքում աշխատանքում ստացվել են դրական լուծումների մեկ պարամետրանոց ընտանիքների գոյության գլոբալ թեորեմներ:

**Հիմնաբառեր**՝ ուրիսոնի հավասարում, մոնոտոնություն, դրական լուծում, լուծման սահման:

---

# ИНФОРМАТИКА

## ПОЛУЧЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ ОБЪЕКТА, ИСПОЛЬЗУЯ СТЕРЕОЗРЕНИЕ

*А.В. Геворкян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье представлен метод получения 3D-модели объекта, используя 2 камеры. Метод основан на стереозрении и, в отличие от других решений, не нуждается в лазере, ультразвуковом преобразователе или других дорогих сенсоров. Сначала мы находим соответствующие точки между левым и правым изображением камер и строим карту смещений. По карте смещений при помощи триангуляции мы получаем карту глубины и соответствующее облако точек объекта для одной сцены. Соединяя облака точек объекта из разных сцен, мы получаем его трехмерную модель.

**Ключевые слова:** стереозрение, 3D-регистрация, карта смещений, облако точек

### Введение

В последнее время активно развиваются 3D-технологии, которые имеют различную область применения: в киноиндустрии, видеоиграх, робототехнике, биометрии, медицине и в других отраслях. Одна из самых актуальных задач в данной области является получение 3D-модели объекта, которая обычно решается при помощи 3D-сканирования. 3D-сканеры обычно разделяются на два типа: контактные, которые требуют непосредственного соприкосновения с объектом для получения 3D-информации, и бесконтактные. Бесконтактные сканеры бывают двух типов: активные (обычно излучают лазерный луч или структурированный свет) и пассивные (ничего не излучают и анализируют отраженное окружающее излучение).

В данной статье представлен метод построения пассивного 3D-сканера на основе двух обычных веб камер. Данный метод основан на стереозрении и его преимущество в том, что нет нужды в дорогостоящих оборудованьях.

Стереозрение – это технология, которая позволяет при помощи двух или более камер получить расстояние объектов от камеры (карту глубины). Мы получаем карту глубины в виде облака точек (множество точек с трехмерными координатами X, Y и Z). Для получения 3D-модели нужно соединить облака точек разных ракурсов объекта. Этот процесс соединения называется регистрацией.

### Построение карты глубины

Рассмотрим в подробности процесс получения карты глубины. Построение карты глубины состоит из следующих этапов: калибровка, ректификация, стерео-соответствие и триангуляция.

Калибровка – это задача определения ориентации и расположения камеры в пространстве по изображению, полученному с ее помощью. Во время калибровки определяются внутренние и внешние параметры камеры. Внутренние параметры содержат такие данные, как фокусное расстояние, размер пикселя, координаты принципиальной точки и коэффициент дисторсии. Внешние параметры показывают позицию и ориентацию камеры в пространстве. Существуют различные способы калибровки камеры [1], нами используется метод калибровки камеры при помощи шахматной доски.

Если две камеры будут параллельны друг другу, то их изображения будут иметь одинаковую плоскость, и соответствующие точки левых и правых изображений будут находиться на одной строке, таким образом, облегчится задача стерео сопоставления. Ректификация – это процесс проектирования изображений с камер на плоскость, параллельную линии, соединяющей центры объективов двух камер (базовая линия) [2].

Стерео соответствие – это нахождение одинаковых пикселей в левом и правом изображениях камер, которым соответствует одна и та же точка в трехмерном пространстве. Пусть  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$  координаты точки в левом и правом изображениях, как было сказано, если изображения ректифицированы, то соответствующие точки находятся на одной строке, то есть  $y_1 = y_2$ . Разность  $x_2 - x_1$  называется смещением или диспаратетом. Задача алгоритмов стерео соответствия заключается в построении карты смещений. Существует множество алгоритмов стерео соответствия, но в основном их можно разделить на две группы: глобальные и локальные, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Глобальные алгоритмы более точны и имеют лучшее качество по сравнению с локальными, однако они могут иметь неприемлемое время выполнения, в отличие от локальных алгоритмов, которые более эффективны. Более подробно об алгоритмах стерео соответствия и их сравнительный анализ приведен в [3]. Для нахождения карты смещений мы используем алгоритм Semi-Global Matching (SBM) [4], который совмещает качество глобальных алгоритмов и скорость локальных.

Зная геометрическое расположение камер, их внутренние параметры и карту смещений, при помощи триангуляции мы можем вычислить карту глубины [5].

## Реализация

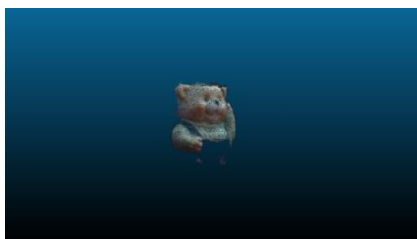
Нами реализовано программное обеспечение, которое позволяет построить трехмерную модель по изображениям, полученным из двух камер. Проект реализован на OpenCV [6–7] и Point Cloud Library [8].

Две камеры закреплены друг от друга на фиксированном расстоянии так, чтобы они были максимально параллельны по отношению друг другу.

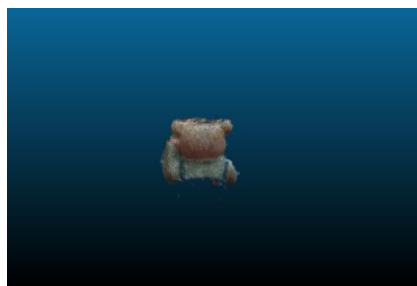
Объект ставится приблизительно на расстоянии 40–50 см от камер и вращается на маленький угол (около 2–5 градусов). Для каждого вращения вычисляется карта глубины в виде облака точек и для каждого облака точек объект от-

деляется от сцены. Таким образом, для каждого вращения объекта мы имеем ему соответствующее облако точек. Далее идет процесс соединения облаков точек в одну единую модель. Соединение или регистрация осуществляется при помощи Iterative Closest Point (ICP) алгоритма [9]. Результатом алгоритма будет полученная 3D-модель.

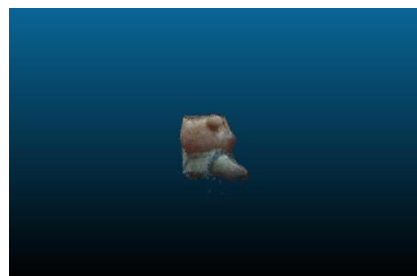
На Рис. 1 показан пример полученной 3D-модели при помощи вышеуказанного алгоритма.



a)



b)



c)

Рис. 1 Построенная 3D-модель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Z. Camera calibration with one-dimensional objects, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26. PP. 892–899, 2004.
2. <http://www.sci.utah.edu/~gerig/CS6320-S2013/Materials/CS6320-CV-F2012-Rectification.pdf>

3. Scharstein D. and Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms, *International Journal of Computer Vision*, vol. 47. PP. 7–42, 2002.
4. Hirschmuller H. Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi Global Matching and Mutual Information. *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2. PP. 807–814 2005.
5. Bagga P. Real time depth computation using stereo imaging, *Journal Electrical and Electronic Engineering*, vol. 1. PP. 51–54, 2013.
6. OpenCV: <http://opencv.org/>
7. Bradski G. and Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, 1st ed., O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, 2008.
8. Point Cloud Library: <http://pointclouds.org/>
9. Rusinkiewicz S. and Levoy M. Efficient variants of the ICP algorithm, 3-D Digital Imaging and Modeling. PP. 145–152, 2001.

## GETTING OBJECT 3D-MODEL USING STEREOVISION

A. Gevorgyan

### SUMMARY

In this paper low-cost solution for getting object 3D-model from 2 web cameras is presented. This approach is based on stereovision technique and it benefits from other solutions that it doesn't need laser, ultrasound or some other expensive sensors. At first we match corresponding points at left and right camera images and construct disparity map. From disparity map we get depth map by triangulation and respective point cloud of the object from one scene. Merging object point clouds from different scenes we get object 3D-model.

**Keywords:** stereovision, 3D-registration, disparity map, point cloud.

## ՕԲՅԵԿՏԻ 3D-ՄՈԴԵԼԻ ՍՏԱՅՈՒՄ ՕԳՏԱԳՈՐԾԵԼՈՎ ՍՏԵՐԵՈՏԵՍՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա. Վ. Գևորգյան

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Մույն հոդվածում ներկայացված է օբյեկտի 3D-մոդելը 2 տեսախցիկից ստանալու մեթոդ: Լուցումը հիմնված է ստերեոտեստողության վրա և տարբերվում է ուրիշ լուցումներից, որ չի պահանջում լազերային, ուլտրաձայնային կամ ուրիշ թանկարժեք սենսորներ: Սկզբում մենք գտնում ենք համապատասխան կետերը տեսախցիկների նկարների միջև և կառուցում անհավասարությունների քարտեզը: Ահավասարությունների քարտեզից տրիանգուլացիայով մենք ստանում ենք խորությունների քարտեզը և օբյեկտի կետերի ամպը մի տեսարանից: Միավորելով օբյեկտի կետերի ամպերը տարբեր տեսարաններից մենք ստանում ենք օբյեկտի 3D-մոդելը:

**Հիմնաբառեր՝** ստերեոտեստողություն, 3D-վերականգնում, անհավասարությունների քարտեզ, կետերի ամպ:

# АЛГОРИТМ ЗАВЕРШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОСНОВАННЫЙ НА ЭКЗЕМПЛЯРАХ С ФИКСИРОВАННОЙ ФУНКЦИЕЙ ДОВЕРИЯ

*В.В. Геворгян*

## АННОТАЦИЯ

Завершение (закрашивание) изображений – это процесс восстановления поврежденных или недостающих частей изображения. Один из наиболее известных и эффективных алгоритмов в данной сфере является алгоритм завершения изображений, основанных на экземплярах, разработанных Криминиси и др. Восстановление текстурной и структурной информации в данном алгоритме очень зависит от функции приоритета. Значения функции доверия, которая входит в функцию приоритета, в процессе завершения уменьшается очень быстро, что негативно влияет на итоговый результат в некоторых случаях. В данной статье мы предлагаем во время обновления значений доверия присваивать им фиксированное значение. Как показали наши эксперименты, данный подход дает лучший результат во многих случаях.

**Ключевые слова:** удаление объектов, завершение изображений, алгоритм закрашивания основанный на экземплярах.

## 1. Введение

Старые фотографии со временем начинают портиться и возникает потребность в их закрашивании. Завершение изображений так же применяется для удаления объектов, текста из изображений и т.д. Завершение (закрашивание) изображений – это процесс восстановления поврежденных или недостающих частей изображения таким образом, чтобы это было незаметно для обозревателя. Алгоритмы завершения можно разделить на два основных класса: основанные на диффузии и основанные на экземплярах. Алгоритмы, основанные на диффузии, в первую очередь, распространяют структурную информацию в поврежденную область при помощи процесса диффузии. Данный класс алгоритмов обычно решает задачу при помощи Частных Дифференциальных Уравнений (ЧДУ). Данный подход дает хороший результат, когда закрашиваемая область мала, но они не подходят для восстановления больших областей. Алгоритмы, основанные на экземплярах, заполняют поврежденную область поблочно. Они ищут подходящие куски для копирования значений из известной области изображения и в состоянии закрашивать большие области.

## 2. Алгоритм закрашивания изображений, основанный на экземплярах и наша модификация

Для заданного изображения  $I$  пользователь выбирает целевую область  $\Omega$ , которую следует удалить и закрасить. Граница этой области обозначается через  $\delta\Omega$ . Область источника – это та область откуда алгоритм берет значения для завершения изображения и обозначается как  $\Phi$ . По умолчанию в качестве  $\Phi$  берется оставшееся часть изображения ( $\Phi = I - \Omega$ ). Размер блока по умолчанию авторы берут  $9 \times 9$  пикселей, но значение этого параметра может быть изменено. Далее алгоритм выполняет следующие шаги, до тех пор пока все точки не будут закрашены:

1. определение граничных точек и вычисления функции приоритета для них;
2. выбор блока с центром в точке с наибольшим приоритетом (целевой блок);
3. поиск наиболее похожего блока (блок источника) на целевой блок;
4. копирование значений цвета для неизвестных пикселей из целевого блока значениями пикселей на соответствующих позиций из блока источника;
5. обновление значений функции доверия (которая входит в функцию приоритета) для только что закрашенных пикселей.

Граничная точка – это точка, которая принадлежит  $\Omega$  и имеет соседнюю точку из  $\Phi$ . Функция приоритета для таких точек считается по следующей формуле:

$$P(p) = C(p)D(p), \forall p \in \delta\Omega,$$

где  $C(p)$  называется функция доверия, а  $D(p)$  – функция данных и они имеют следующий вид:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap (I - \Omega)} C(q)}{|\Psi_p|}, D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha},$$

где  $|\Psi_p|$  – это площадь блок  $\Psi_p$  с центром в точке  $p$ ,  $\alpha$  – это фактор нормализации (равен 255 для черно-белых изображений),  $n_p$  – единичный вектор ортогональный к  $\delta\Omega$  в точке  $p$ , а  $\nabla I_p^\perp$  – изофот (линия одинаковой интенсивности) в  $p$ .

Функция  $C(p)$  изначально принимает следующие значения:  $C(p) = 0$ ,  $\forall p \in \Omega$  и  $C(p) = 1$ ,  $\forall p \in I - \Omega$ . Функция доверия показывает насколько надежной является информация вокруг точки  $p$ . Она дает преимущество тем блокам, в которых больше заполненных точек, и чем раньше точка заполнена (или изначально была известной), тем надежнее она.

Функции данных  $D(p)$  нужна для того, чтобы лучше сохранять структурные свойства изображения.

После нахождения целевого блока, алгоритм ищет наиболее похожий блок из области источника. Похожесть блоков считается по следующей формуле:

$$\Psi_q = \arg \min_{\Psi_l \in \Phi} d(\Psi_l, \Psi_q),$$



где  $\Psi_q$  это блок источника,  $\Psi_p$  – целевой блок,  $d$  – функция расстояния (похожести) между блоками. В качестве функции расстояния берется сумма квадратичных разностей цветовых значений известных точек целевого блока с точками на соответствующих позициях блока источника.

Затем для каждого незаполненного пикселя из  $\Psi_p$  копируется значение пикселя на соответствующей позиции из  $\Psi_q$

В конце значения функции доверия для только что заполненных точек обновляются следующим образом:

$$C(t) = C(p), \forall t \in \Psi_p \cap \Omega.$$

Значения функции доверия в процессе заполнения для покрашенных точек убывает, показывая, что мы менее уверены в цветовых значениях вокруг центра целевой области. Как показано в [3], значения доверия убывают экспоненциально и данный факт искажает функцию приоритета. В данной статье мы предлагаем в процессе обновления значений доверия всем точкам присваивать фиксированное значение  $k$  ( $0 < k < 1$ ). Как показали наши эксперименты, оптимальное значение  $k$  находится в промежутке 0.75–0.85. В следующем разделе мы приведем сравнение нашего подхода с первоначальным.

### 3. Экспериментальные результаты

В данной статье мы реализовали алгоритм закрашивания изображений основанный на экземплярах, а также нашу модификацию. Программа реализована на языке программирования C++, используя библиотеку обработки изображений Open CV. Как показали наши эксперименты, наш алгоритм дает лучше результаты во многих случаях. Ниже приведены несколько примеров.

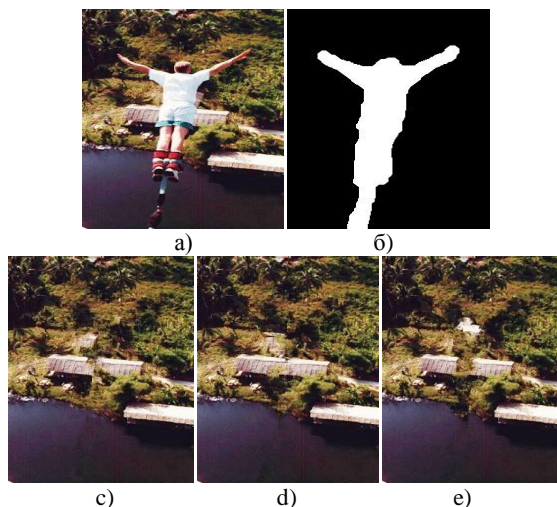


Рис. 1. Сравнение алгоритмов. Размер изображения 206×308. а) входное изображение, б) маска закрашивания, с) результат Криминиси, д) наш результат при  $k=0.8$  е) наш результат при  $k=0.85$

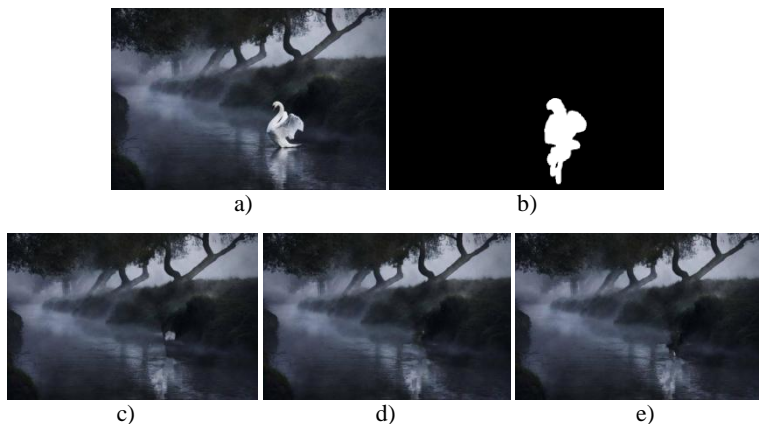


Рис.2. Сравнение алгоритмов. Размер изображения  $618 \times 412$ .  
 а) входное изображение, б) маска закрапивания, в) результат  
 Криминиси, д) наш результат при  $k=0.8$ , е) наш результат при  
 $k=0.85$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bertalmio M., Sapiro G., Caselles V., and Ballester C. Image inpainting, in Proc. 27th Annu. Conf. Comput. Graph. Interact. Techn., 2000. PP. 417–424.
2. Criminisi A., Perez P., Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 9. PP. 1200–1212, 2004.
3. Anupam, P. Goyal, and S. Diwakar Fast and enhanced algorithm for exemplar based image inpainting, in Proc. Fourth Paci\_c-Rim Symp. Image and Video Technology (PSIVT). PP. 325–330, 2010.
4. <http://opencv.org/>

#### EXEMPLAR BASED INPAINTING ALGORITHM WITH FIXED CONFIDENCE TERM

V. Gevorgyan

#### SUMMARY

Image completion (inpainting) is the process of recovering missing or damaged parts of the image. Exemplar based inpainting algorithm proposed by Criminisi *et al* is one of the most popular and effective algorithms in that sphere. The priority of patches to fill is critical in that algorithm, because due to its texture and structure information of damaged image is recovered. A confidence term, which is used in the priority function, decreases very fast during the update stage and this fact harms the result in some cases. In this paper, we suggest during update values of the confidence term to update them with fixed value. Our experimental results show that this approach gives better output in many cases.

**Keywords:** object removal, image completion, exemplar based inpainting.

**ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԱՎԱՐՏՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻՏՄ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ  
ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՎՍՏԱՀՈՒԹՅԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅՈՎ**

*Վ. Վ. Գևորգյան*

**ԱՄՓՈՓՈՒՄ**

Պատկերների ավարտումը(ներկումը) դա վնասված կամ բացակայող տիրույթների վերականգման պրոցես է: Կրիմինիսիի և մն. առաջարկված նմուշների հիման վրա ներկման ալգորիտմը ամենա հայտնի և էֆֆեկտիվ ալգորիտմներից է այդ բնագավառում: Հյուսվածքային և կառուցվածքային հատկությունների վերականգնումը նշված ալգորիտմում կախված է առաջնայնության ֆունկցիայից: Վստահության ֆունկցիան, որը մտնում է առաջնայնության ֆունկցիայի մեջ, այդ ալգորիտմում շատ արագ է նվազում, ինչը վատ է ազդում վերջնական պատկերների վրա որոշ դեպքերում: Այս հոդվածում մենք առաջարկում ենք վստահության ֆունկցիայի արժեքները թարմացնելուց վերագրել հաստատուն արժեք: Մեր փորձնական արդյունքները ցույց տվին որ առաջարկված մոտեցումը շատ դեպքերում տալիս է ավելի լավ արդյունք:

**Հիմնաբառեր՝** օբյեկտների հետազոտում, պատկերների ավարտում, պատկերների ներկում նմուշների հիման վրա:

# AN APPROACH TO SUPPORT GRID FILES

*G. Gevorgyan*

*Russian-Armenian (Slavonic) University  
grigor.gevorgyan@gmail.com*

## SUMMARY

A new dynamic index structure for multidimensional data is considered. Efficient algorithms for storage and access such indexes are proposed. Estimations of complexities for these algorithms are presented.

**Keywords:** grid file, algorithms, dynamic index, multidimensional data.

## 1. Introduction

The concept of grid files allows to effectively organize queries on multidimensional data [1] and can be used for efficient data cube storage in data warehouses [2, 3]. The grid file can be represented as if the space of points is partitioned in an imaginary grid. The grid lines parallel to axes of each dimension divide the space into stripes. The number of grid lines in different dimensions may vary, and there may be different spacings between adjacent grid lines, even between lines in the same dimension.

Dynamic aspects of file structures where all keys are treated symmetrically, avoiding distinction between primary and secondary keys, are studied in [5]. The paper introduces the notions of a grid partition of the search space and of a grid directory, which are the keys to a dynamic file structure called the grid file. This file system is able to adapt to its contents under insertion and deletion operations, and thus achieves an upper bound of two disk accesses for single record retrieval. It also efficiently handles range queries and partially specified queries. Several splitting and merging policies, resulting in different refinements of the grid partition are considered.

One of the problems intrinsic to grid files is the problem of non-efficient memory usage by groups of cells, pointing to the same data buckets. We propose an alternative data structure for the grid file index, aiming to avoid storage of multiple pointers to the same data buckets, as well as to maintain slow index size growth and provide reasonable costs for common operations.

Firstly, we refuse from storing the grid file as a multidimensional array. The reason for that lies within the necessity of creation of numerous new cells each time a data bucket is split, while many of those cells contain duplicate pointers to the same data buckets. Instead, all cells which contain pointers to the same data buckets are grouped into chunks, represented by single memory cells with one pointer to the considered data bucket. Hence, chunks are used as a mechanism of struggle with empty cells problem in grid file. For each dimension, the information about how it is divided is stored in a linear scale. The data subspace, corresponding to a particular element of that scale, is called a stripe, and is represented by an array of pointers to corresponding chunks.

Secondly, we consider each stripe as a linear hash table, allowing usage of overflow blocks to reduce the number of chunk partitions, while maintaining the average number of overflow blocks for the chunks of each stripe not greater than one. This allows us to significantly reduce the total number of chunks, while guaranteeing not more than two disk operations for data access in average.

## 2. Grid file structure

A grid file can be formally represented as a triple  $F = \langle D, S, C \rangle$  where  $D$  is the set of dimensions,  $S$  is the set of stripes, and  $C$  is the set of cells. Each stripe belongs to exactly one dimension. We call a set of cells  $A \subset C$  a grid file chunk (or just chunk), if the divisions between those cells are imaginary, and they all refer to the same bucket. Each stripe is represented by an array of pointers to chunks, crossing the corresponding data subspace.

To estimate the size of index directory and dynamics of its growth, several important values have been estimated. Analysis have been conducted under the assumption that all dimensions of considered grid file data domain are independent and equivalent. Let us denote the number of dimensions as  $n$  and the average number of splits performed in one dimension as  $m$ .

The following table contains summary of the estimated values:

Value	Assessment
Number of dimensions	$\Theta(n)$
Number of divisions per dimension	$\Theta(m)$
Total number of cells	$\Theta(m^n)$
Number of stripes per dimension	$\Theta(m)$
Total number of stripes	$\Theta(nm)$
Total number of chunks	$\Theta(nm)$
Number of cells per segment	$\Theta\left(\frac{m^n}{mn}\right)$
Average length of segment side	$\Theta\left(\frac{m}{\sqrt[n]{mn}}\right)$
Average number of segments crossed by stripe	$O(nm)$

Table 1: Estimated average values

Since each of the  $\Theta(nm)$  stripes crosses  $O(nm)$  chunks in average, the total number of stored pointers will be equal to  $O(n^2m^2)$ . Also each chunk has one pointer to data bucket,  $\Theta(nm)$  pointers in total. Hereby, the grid file directory size in this case is  $O(n^2m^2)$ .

### 3. Improvement of the grid file structure

The grid file memory consumption can be improved by allowing chunks to refer to each other and removing a number of references from stripes pointer lists. Here is the new definition for the set of pointers in the grid file structure:

**Definition 1.** *Let there be a total order  $<$  defined on the set of chunks. Let us also denote the projection of chunk  $A$  to dimension  $d$  as  $\Pi_d(A)$ . The set of pointers  $E$  is defined as:*

1. *For each pair of chunks  $A$  and  $B$  s.t.  $A < B$  and a dimension  $d$  exists s.t.  $\Pi_d(A) \subseteq \Pi_d(B)$ , and no chunk  $C$  exists s.t.  $A < C < B$  and  $\Pi_d(A) \subseteq \Pi_d(C)$ , there exists a pointer  $(A, B)$  in  $E$ . Let us call such pointer a pointer of dimension  $d$ .*

2. *For each chunk  $A$  and stripe  $s$  of dimension  $d$ , if there exists no pointer of dimension  $d$  incoming into  $A$ , then there exists a pointer  $(s, A)$  in  $E$ .*

It can be proved by means of probability theory that the expected total number of pointers will be  $|E| = O(n^2m)$ . Hereby, the proposed structure modification leads to effective reduction of directory size  $O(n^2m^2)$  to  $O(n^2m)$ .

#### 3.1. Comparison of directory size

The described approach proposes several optimizations to reduce the directory size. One of them is to consider each stripe as a linear hash table, which allows having additional overflow blocks for chunks (but not more than one overflow block in average for each stripe). For uniform filling of the chunks it is practically helpful to store statistical averages of values stored in each chunk by every coordinate. Another important optimization is to use the chunking technique to address the problem of empty cells in grid file.

This approach is compared to two main techniques for grid file organization described in [6] – multidimensional dynamic hashing (MDH) and multidimensional extendible hashing (MEH). Estimated directory sizes, provided in [6], for these techniques are

$O\left(r^{1+\frac{1}{s}}\right)$  and  $O\left(r^{1+\frac{n-1}{ns-1}}\right)$  correspondingly. Here  $r$  is the total number of records,  $s$  is the block size and  $n$  is the number of dimensions. Note that for this

comparison the case of uniform data distribution is considered.

Since each chunk in our approach can have one overflow block in average, we can, without loss of generality, assume that each of the overflow blocks will be half-full in average, meaning that  $1.5s$  records will be stored per chunk in average. Hereby we can conclude that the number of chunks  $m$  required to store all  $r$  records  $\frac{2r}{3s}$  in average. Hence, according to Section 3, the grid file directory size can be estimated as  $O\left(\frac{nr}{1.5s}\right)$ . Compared to MDH and MEH techniques, directory size in the de-

scribed approach is  $O\left(\frac{2sr^{\frac{1}{s}}}{3n}\right)$  and  $O\left(\frac{2sr^{ns-1}}{3n}\right)$  times smaller correspondingly.

#### 4. Grid file operations

This section describes the basic operations performed with usage of grid files. Two aspects of operations are distinguished: index modification expenses (estimated in terms of Big-O notation) and operation costs expressed in disk operations.

##### 4.1. Index modifications

**Insert.** To insert a value we first locate the chunk it belongs to by given coordinates, then read the corresponding data bucket and perform insertion. Since we consider each stripe as a linear hash table, in case of insufficient space it may be possible to add an overflow block. However, if after insertion there exists a stripe for which the average number of overflow per chunk exceeds 1, we need to split current chunk into two parts, and reorganize corresponding data buckets.

**Split.** Consider a chunk  $c$  which is needed to be split. Firstly, we choose the dimension in which the split shall be performed. For that purpose we choose some dimension  $d$  which currently contains the least number of stripes. Secondly, we choose some coordinate  $d_0$  in dimension  $d$  which will define the dividing hyperplane. Chunk  $c$  then is split into two chunks  $c_1$  and  $c_2$  with all points from  $c$  with  $d$  coordinate less than  $d_0$  belonging to  $a_1$ , and the rest point belonging to  $a_2$ . The coordinate  $d_0$  is chosen in such a way that the numbers of points in the resulting chunks are as close as possible. This can be achieved by storing additional statistical data for each chunk, like total number and average values of the points of considered chunk. As a result of split, some stripe  $s$  in dimension  $d$  is also divided into two stripes  $s_1$  and  $s_2$ . Pointers to the newly created chunks should be added to pointer lists of all stripes crossing them.

**Delete.** To delete a value, as when inserting, we first find the chunk it belongs to and read the corresponding data block. After deletion, the data block may become

empty, meaning the considered chunk does not contain any more points. In such cases, we can merge this chunk with some neighbour chunk. Even if the data block does not become empty, it may still be possible to merge the chunk with a neighbor chunk, if the condition of having not more than one overflow block per chunk in average is satisfied. The dimension towards which to perform the merge is again chosen in such a way that the number of stripes in different dimensions differs not more than by 1.

**Merge.** Consider two chunks  $a_1$  and  $a_2$  which have a common boundary in dimension  $d$  and are being merged into a single chunk  $a$ . For any stripe  $s$  if its pointer list contains either a pointer to  $a_1$  or  $a_2$ , those should be replaced with a pointer to  $a$  instead. There is a possibility that after this operation an empty stripe arises, and has to be removed.

**Single key retrieval.** In order to find all records for a key  $k$  from dimension  $d$  we first find the stripe  $s$  which  $k$  belongs to, and then traverse over all the chunks which are accessible from pointer list of  $s$ . Since all of these chunks have to be considered, and no other chunks may contain records matching the key  $k$ , only necessary and sufficient chunks will be traversed. The average number of such chunks is  $O(nm)$  according to Table 1. Assuming that the required stripe  $s$  can be found in  $O(\log m)$  time, the time complexity of a single key retrieval operation is  $O(nm \log m)$ .

**Multiple keys retrieval.** Multiple keys retrieval is performed in two steps. First, a single key retrieval procedure is called for each of the keys, each one separately retrieving a set of referable chunks. These sets are then intersected, and only buckets corresponding to chunks in the intersection are being considered. Time complexity to perform a query using  $k$  keys is thus  $O(knm \log m)$ .

## 4.2. Disk operations

**Point lookup.** To find a point provided its coordinates, we first find the chunk it belongs to in the grid file, then read the corresponding data bucket. This requires at most two disk operations in average, since the average number of overflow blocks per bucket is not more than one. Additionally, if an update operation has to be performed, a write operation is needed. Besides, adding/deleting a record can result in bucket overflow or exhaustion, rising a necessity to perform a split or merge operation correspondingly, resulting in another disk operation.

**Queries with several coordinates and value ranges.** We shall traverse over all chunks, belonging to intersection of the stripes corresponding to the provided coordinates, or to the grid file subspace matching the provided ranges. Number of disk operations equals to the number of considered chunks times two (due to overflow blocks).

**Closest object lookup.** To find the point, closest to the provided one, we first find the chunk it belongs to, and check corresponding data buckets. It may happen that, however, the nearest point belongs to a neighbor chunk, and it needs to be consi-



dered as well. In worst case, we shall need to visit all  $n$  neighbor chunks. Since reading data belonging to one chunk requires not more than 2 disk operations in average, in worse case we shall need to perform  $2(n+1)$  disk operations. Note that necessity to add/remove a record and potential split/merge operations will also increase the number of disk operations.

## 5. Conclusion

This paper describes a new dynamic indexing scheme for effective data management. This approach is based on an extended grid file concept. Each stripe is considered as a linear hash table, guaranteeing that the number of overflow blocks for each bucket per stripe is less than one in average, and the growth of buckets quantity is slow. A modification of grid file structure is also described, reducing the memory consumption of the index directory. Basic operations on grid files are provided with corresponding analysis of complexities and memory usage. Chunking technique is used to solve the empty cells problem intrinsic to grid files.

## REFERENCES

1. *Garcia-Molina H., Ullman J. and Widom J.* Database Systems: The Complete Book. Prentice Hall, USA, 2009.
2. *Whang K.-Y. and Krishnamurthy R.* The multilevel grid file – a dynamic hierarchical multidimensional file structure. In DASFAA Conference, pages 449–459, 1991.
3. *Luo C., Hou W.C., Wang C.F., Want H. and Yu X.* Grid file for efficient data cube storage. Computers and their Applications, pages 424–429, 2006.
4. *Karayannidis N. N.* Storage Structures, Query Processing, and Implementation of On-Line Analytical Processing Systems (Ph.D. Thesis). Athens, 2003.
5. *Nievergelt J. and Hinterberger H.* The grid file: An adaptable, symmetric, multikey file structure. ACM Transactions on Database Systems, 9(1): 38–71, March 1984.
6. *Regnier M.* Analysis of grid file algorithms. BIT, 25(2):335–358, 1985.
7. *Otoo E. J.* A mapping function for the directory of a multidimensional extendible hashing. In 10<sup>th</sup> International Conference on VLDB, pages 493–506. Singapore, Aug 1984.
8. *Otoo E. J.* A multidimensional digital hashing scheme for files with composite keys. In ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pages 214–229. USA, 1985.
9. *Papadopoulos A.N., Manolopoulos Y., Theodoridis Y. and Tsoras V.* Grid file (and family). In Encyclopedia of Database Systems, pages 1279–1282, 2009.
10. *Sharma S., Tim U. S., Wong J., Gadia S. and Sharma S.* A brief review on leading big data models. In Data Science Journal, December 2014.

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОДДЕРЖКЕ СЕТОЧНЫХФАЙЛОВ

*Г. Геворгян*

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается новая динамическая структура индекса для многомерных данных. Предложены эффективные алгоритмы для работы с такими индексами. Приводятся оценки сложности этих алгоритмов.  
**Ключевые слова:** сеточный файл, алгоритмы, динамический индекс, многомерные данные.

### ՑԱՆՑԱՅԻՆ ՖԱՅԼԵՐԻ ԱՋԱԿՑՄԱՆ ՄԻ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

*Գ. Գևորգյան*

### ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Դիտարկվում է բազմաչափ տվյալների ինդեքսավորման նոր դինամիկ կառուցվածք: Առաջարկվել են արդյունավետ ալգորիթմներ նման ինդեքսների աջակցման: Բերվում են այդ ալգորիթմների բարդության գնահատականները:

**Հիմնաբառեր՝** Ցանցային ֆայլ, ալգորիթմներ, դինամիկ ինդեքս, բազմաչափ տվյալներ:

---

# SURVEY OF EXISTING CLOUD ENCRYPTION GATEWAYS

*R. Yeghiazaryan*

*Russian-Armenian University  
roland.yeghiazaryan@gmail.com*

## SUMMARY

Public cloud storages such as Box, Dropbox, Google Drive or OneDrive are used now in ubiquitous way for both personal and business purposes. On the other hand, cloud storage providers gain full access to all information stored on their servers. Different companies have emerged in recent years to solve this serious security issue by applying cutting-edge encryption technologies to the user's files in public clouds. In this paper we review the main solutions in this domain designed to provide security for public cloud storages.

**Keywords:** cloud encryption, Dropbox security, Google Drive security, encryption gateway.

## 1. Introduction

Dropbox, Google Drive or any other public cloud storage provider take and can read all information the users store there. This is a very serious security issue [1] and for all individuals and organizations caring about their data security but still wanting to benefit from public cloud storages, the only solution is using some encryption tool, which will help to encrypt user information before uploading it to the cloud. The design of advanced security solution for public cloud storages and for distributed file storages in general is a hard scientific and technical problem [2–6]. From the other hand, there is a tradeoff between security and usability, as encryption eliminates the easy access to data via search and also makes the sharing/collaboration harder. Various special cloud encryption gateways had been emerged in recent years aiming to secure users data in public cloud storages without compromising the sharing and collaboration features provided by the storage providers. In this paper we will review the main solutions existing in this domain showing what level of security is provided by each of them and their main advantages and disadvantages from both the security and usability points of view.

## 2. Background

There are dozens of cloud encryption tools operating in the market. In this chapter we review the most widely used solutions.

### 2.1. Sookasa

Sookasa [7] is a new emerged cloud encryption gateway specially designed to help the companies from regulated industries and facilitate compliance with six federal

standards such as HIPAA, FERPA, PCI DSS, GLBA, FINRA, SOX. It helps such organizations to store their data in cloud in encrypted form and also have full visibility on how the data was used or shared. However Sookasa does not provide a perfect secrecy as it handles all user secret key management on behalf of the users.

Sookasa secures the users files in Dropbox in the following manner:

1. Sookasa creates a special folder in user's Dropbox.
2. The user put sensitive files in that folder, which are seamlessly encrypted with AES-256 encryption with unique file key randomly generated for that file.
3. Sookasa encrypts the file encryption key with the Sookasa's public key. The encrypted file key is stored at the beginning of the file.
4. The encrypted files are synced among all devices
5. When Alice shares some file with Bob and Bob wants to access Alice's encrypted file, Sookasa's server takes the file key encrypted with the server's public key, decrypts it and sends the file key to Bob.

As can be seen Sookasa owns all encryption keys used for securing the users files. This is a serious security drawback as the powerful adversary or Sookasa itself can always access the users sensitive files. Such solution may satisfy specific companies but it cannot be a reliable security solution for companies which want to fully exclude the chance of their data appearing into third-parties hands.

## **2.2. nCryptedCloud**

nCryptedCloud [8] is another cloud encryption gateway working with most cloud storage providers such as Dropbox, Google Drive, OneDrive and Egnyte. It provides a rich functionality of file/folder sharing and unlike Sookasa allows securing any file in any folder. However, from the security point of view there is still a little difference between Sookasa and nCryptedCloud. The later provide perfect security for individual files meaning the user does not need to share the file encryption keys with nCryptedCloud as far as the file should not be shared with others users. But for securely collaborating on cloud files, the user again needs to share the file encryption keys with nCryptedCloud's server. The following examples highlight the main file storing and sharing functionality.

File encryption works as follows:

1. Alice creates a secure unique password for her file.
2. Alice encrypts the plaintext data using AES-256 Zip encryption by using the generated password.
3. Alice encrypts the file password with her public key and stores the encrypted password in the encrypted Zip file among with the encrypted file.
4. When she wants to share the file with Bob, she encrypts the file password with nCryptedCloud's server's public key and sends it to server as well.
5. When Alice wants to open the encrypted file, she just takes the encrypted password from the zipped file and decrypts it with her private key. Next, she decrypts the AES encrypted file with that password.

6. Bob receives the shared file and when he needs to access the files on his machine, nCryptedCloud verifies that Bob has access to the file key and distributes it to him. Bob stores the received key on his local key store, so for further accesses he does not need the nCryptedCloud to distribute him the file key.

Again, the main drawback of nCryptedCloud is the fact that it can learn the secret keys and/or passwords used for file encryption. Although they claim that they never can access the cloud encrypted files, theoretically they can do it having the cloud storage access token for each user as well as the secret keys generated by user for securing data.

### 2.3. Boxcryptor

Boxcryptor [9] is a cloud encryption gateway that provides a zero-knowledge service to users. Its secure key management is based on asymmetric RSA cryptosystem and all files are encrypted with AES-256 block cipher. Each user has own private and public keys. The file encryption procedure works as follows

1. Create a secure random file key.
2. Encrypt the file using the file key.
3. Encrypt the file key with the user's public key.
4. Store the encrypted file key next to the encrypted data in the encrypted file.
5. If file is shared among many users, encrypt the file key with each user's public key and append it to the encrypted file.

The main drawback of Boxcryptor is the fact, that if multiple users have access to a file, the file key is encrypted multiple times with different user public keys and each result is stored in the encrypted file. This forces the user to re-encrypt each file with different file key every time the group of people having access to the file is changed. Also the file size is growing linearly with number of people having access to it as for each new user having access to that file a new ciphertext should be stored at the beginning of the file.

### 2.4. Tresorit

Tresorit is an encrypted cloud storage provider providing own storage to users where the data is uploaded only after being encrypted with client devices. Tresorit claims to provide zero-knowledge solution meaning they never can have access to any secret key used for user file encryption.

If the user wants to upload a file to a 'tresor', which is an encrypted and integrity protected storage, it is encrypted and uploaded to the cloud by the client-side Tresorit application. The encryption is performed with a fresh 256-bit symmetric key chosen by the client-side application. The encryption algorithm Tresorit applies is AES in CFB mode. The integrity of the files is protected with HMAC, typically HMAC-SHA-512. Finally, once the encrypted file is uploaded, it has to be added to the existing directory structure in the cloud. This remote directory structure is the exact copy of the client-side directory structure and consists of directories and files. All the files and

directories are encrypted and a directory containing files and directories also holds the related symmetric keys. This results in a layered hierarchy of directories, files and keys of arbitrary depth and complexity. The top of the hierarchy is the root directory. A file can be inserted into the directory structure in the cloud only if one knows the key the root directory is encrypted with. The key that decrypts the root directory and thus gives access to all the files and directories in a tresor's directory structure is provided by Tresorit's Agreement Module.

An RSA-based Agreement Module contains a set of pre-master secrets, one for each user who is sharing the files, encrypted with the user's public RSA key. Furthermore, the Agreement Module also stores the RSA public-key certificates of the users. When a user wants to get access to the shared files, he or she has to provide a private key to the Agreement Module. The latter decrypts the pre-master with the provided private key and calculates the symmetric key of the root directory. The calculation is done by applying HMAC to the user certificates as inputs and with the pre-master secret as the key. The TGDH-based Agreement Module works similarly to the RSA-based Agreement Module. The only difference is that the former does not store encrypted pre-master secrets, but the Diffie-Hellman certificates of the user. The key decrypting the root directory in case of a TGDH-based Agreement Module is calculated using ITGDH. With the symmetric key provided by the Agreement Module, the user can decrypt the root directory and access the files and folders, along with the corresponding symmetric keys, of the directory structure. By navigating in the same way through the directories as one would do on her local machine, authorized users can add, delete and modify files and directories with ease.

## 2.5. Viivo

Viivo provides a zero-knowledge solution for encrypting any folder in user computer including all cloud synced folders. Viivo uses a multi-level hybrid crypto approach when securing user files, whether they are personal or shared. The advantage of Viivo against Boxcryptor is that every time the user give or revoke access to a folder, it doesn't have to be re-encrypted. At the base level, Viivo creates a 2048 RSA key pair to safely exchange keys between collaborators and devices. RSA Private key is secured with user password. The password is strengthened using PBKDF2 HMAC SHA256. All your files are encrypted using AES-256 before they leave the user physical device.

So the basics of Viivo's architecture are:

- Each Viivo user has a Private Key that is encrypted with AES-256. The key is generated from your password using PBKDF2 HMAC SHA256
- All user's files are encrypted with a unique, randomly selected, 256-bit AES key. This is the "Session" key – it is used for one file and never used again. A recipient of that file needs to know the session key. We encrypt the session key for that (and possibly other files) using an asset key.
- Asset keys are 256-bit AES keys which are generated by the client and en-

encrypted for the recipient before it goes to the server. For sharing assets(folders)the shared asset Key is encrypted with the recipients' RSA public key.

– When someone is removed from accessing an asset, his asset keys are taken away, and also a fresh asset key is taken and used for future encryptions.

Viivo stores security keys separately from Dropbox, Box, OneDrive and Drive so that they are kept as private as possible. This system keeps the users public and private key pairs in separate locations, and they cannot be correlated outside of the application. Although Viivo does not store the user passphrase or private key on the server, Viivo does support passphrase recovery through a secure process that uses data on the server with data on the user's Viivo-enabled device.

### 3. Conclusion

Public cloud storages thoroughly changed the way we work and collaborate together on digital data. But this should not be done at the price of compromised personal or corporate privacy. In this paper we have shown what solutions can be applied to ensure privacy in insecure clouds. There are also number of companies bringing more universal solutions to protect any data shared via any channel would it be public clouds, email or other channel. The most important players are Ionic Security and Vera. They provide a persistent data protection model for enterprises to securing data at the point of its creation and use. By attaching visibility, control and protection to the data at the moment it is created, enterprises enable full control of the data during its entire lifecycle – from data inception to death regardless how the data was shared or sent out of the company's perimeter.

### REFERENCES

1. *Mather T., Kumaraswamy S., Latif S.* (2009). *Cloud Security and Privacy: An Enterprise Perspective on Risks and Compliance*. O'Reilly media.
2. *Fu K.E.* Group sharing and random access in cryptographic storage file systems, Master's thesis, MIT, 1999.
3. *Goh E.-J., Shacham H., Modadugu N. and Boneh D.* SiRiUS: Securing Remote Untrusted Storage, in Proceedings of NDSS, no.0121481, ISOC. Geneva.
4. *Harrington A., Jensen C.* Cryptographic access control in a distributed file system. In Proceedings of 8th ACM Symposium on Access Control Models and Technologies.
5. *Fu K.* Integrity and access control in untrusted content distribution networks. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.2005.
6. *Kallahalla M., Riedel, E., Swaminathah, R., Wang, Q., AND Fu, K.* Plutus: scalable secure file sharing on untrusted storage. USENIX,2003.
7. <http://www.sookasa.com>
8. <https://www.ncryptedcloud.com>
9. <http://www.boxcryptor.com>
10. *Giuseppe K.B. Ateniese and Hohenberger S.* Key-private proxy re-encryption. In CT-RSA, 2009.

## ОБЗОР ШЛЮЗОВ ШИФРОВАНИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ

*Р.Г. Егизарян*

### АННОТАЦИЯ

Современные облачные хранилища данных – таких, как Box, Dropbox, Google Drive или OneDrive, повсеместно используются в частных и коммерческих целях. Но взамен поставщики хранилищ данных получают полный доступ к информации всех пользователей. В последние годы появились различные компании, которые стараются решить эту серьезную проблему безопасности путем применения передовых технологий шифрования файлов пользователя в облачных хранилищах. В данной статье рассмотрены основные решения в этой области, предназначенные для обеспечения безопасности облачных хранилищ.

**Ключевые слова:** облачное шифрование, безопасность Dropbox, безопасность Google Drive, шлюз шифрования.

### ԱՄՊԱՅԻՆ ՊԱՀՈՑՆԵՐՈՒՄ ՏԿՅԱԼՆԵՐԻ

ԳԱՂՏՆԱԳՐՄԱՆ ԿԱՊՈՒՂԻՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

*Ռ.Հ. Եղիազարյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Տվյալների ամպային պահոցները, ինչպիսիք են Box, Dropbox, GoogleDrive կամ OneDrive, այժմ համատարած օգտագործվում են անձնական եւ գործնական նպատակներով: Սակայն ամպային պահոցների մատակարարները ստանում են հասանելիություն բոլոր օգտատերերի տվյալներին: Վերջին տարիներին տարբեր ընկերություններ են ստեղծվել լուծելու այս լուրջ անվտանգության խնդիրը՝ կիրառելով արդիական գաղտնագրման տեխնոլոգիաներ: Այս հոդվածում դիտարկված են ոլորտի այն հիմնական լուծումները, որոնք նախատեսված են ապահովելու ամպային պահոցներում տվյալների անվտանգությունը:

**Հիմնաբառեր՝** ամպային տվյալների գաղտնագրում, Dropbox անվտանգություն, GoogleDrive անվտանգություն, տվյալների գաղտնագրման կապուղի:



## ԽՈՍՔԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄՆ ԱՄՊԱՅԻՆ ՌՈՒՐՈՏՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

*Է. Ս. Մանուկյան, Օ. Վ. Մանուկյան, Է. Ն. Մանուկյան*

*Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան  
isma.team@gmail.com*

### ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում դիտարկվում է ինտերնետ միջավայրում գործող սեմանտիկ ցանցերով ներկայացվող գիտելիքների բազայի կառավարման համակարգի միջոցների մոդիֆիկացիայի, որոնք թույլ են տալիս ստեղծել ամպային տեխնոլոգիայով աշխատող ռոբոտատեխնիկական համակարգեր:

**Հիմնաբառեր**՝ ամպային ռոբոտատեխնիկա, սեմանտիկ ցանց, գիտելիքների բազա, խոսքային կառավարում:

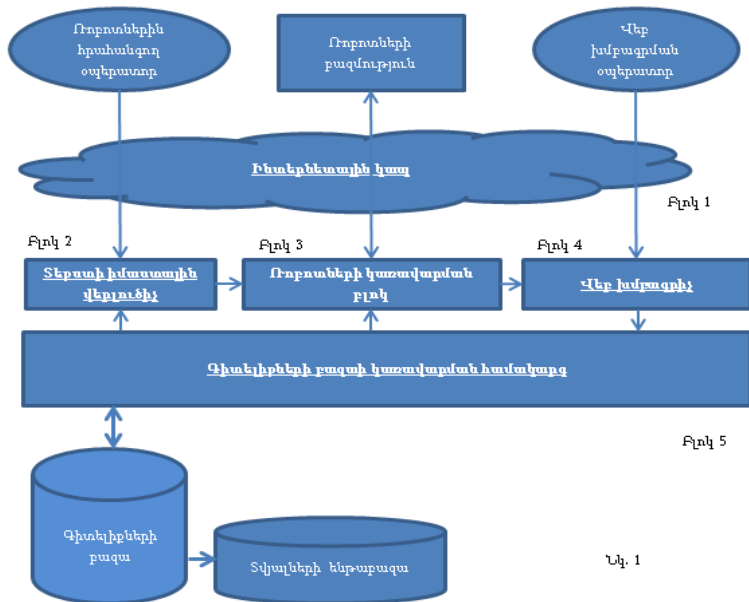
Ամպային տեխնոլոգիայի օգտագործում ռոբոտատեխնիկական միջոցներում թույլ է տալիս բարձրացնել նրանց ինտելեկտուալության աստիճանը:

Ամպային ռոբոտատեխնիկայում ռոբոտը դառնում է համացանցի մի մաս: Ռոբոտները այստեղ գործում են ոչ մեկուսի: Իրենց անհրաժեշտ տեղեկությունների ստացումը և մշակումը չի կատարվում տեղում: Այս ամենը կազմակերպվում է ռոբոտներին կառավարող և համացանցում գործող համակարգի կողմից: Վերջինս պլանավորում է յուրաքանչյուր ռոբոտի գործողությունները և գեներացնում ծրագրեր, որոնք կարող են ինտերպրիտացվել ռոբոտում առկա հաշվողական միջոցների կողմից:

Ռոբոտն իր գործենեության ընթացքում համացանց կարող է առաքել տեղեկություններ իր շրջապատի օբյեկտների մասին և հաշվետվություն նրանց հետ իր շփումների արդյունքների մասին: Այսպիսի կազմակերպումը թույլ է տալիս կառավարող համակարգին բարելավել համատեղ գործող ռոբոտների աշխատանքը:

Ինքնաշարժ ռոբոտների աշխատանքի կազմակերպումը համարվում է էֆեկտիվ, եթե առկա է նրանց ձայնային ղեկավարման հնարավորություն: Նախընտրելի է այդ գործընթացում օգտագործել բնական լեզու: Նշենք որ մարդու և տեխնիկական միջոցների միջև երկխոսության կազմակերպումը համարվում է բարդ գիտական խնդիր: Մակայն ամպային տեխնոլոգիայի դեպքում մուտքային հրահանգների ընդունումը, նրանց տեքստի իմաստաին վերլուծությունը կատարվում են ամպում գործող տեխնիկական և ծրագրահին հզոր միջոցներով, որոնք հեշտացնում են նշված խնդրի լուծումը: Այստեղ ճանաչված մուտքային հրահանգների համապատասխան գեներացվում է ռոբոտին առաքվող և նրա օրգանները անմիջական կառավարող հրամանների շարք:

Այս աշխատանքում առաջարկվում է բարձրացված խնդիրների լուծման համար հիմք ընդունել ԻՄՄԱ ինտելլակտուալ համակարգը, որը գործում է համացանցում և ներկայումս օգտագործվում է բնական լեզվով ներկայացված տեքստերի իմաստաին թարգմանությունների համար[1]: Ամպային ռոբոտտեխնիկայի պահանջներին այն հարմարացնելու համար անհրաժեշտ է կատարել նրա որոշ միջոցների զարգացում և համակարգի ծրագրահին միջոցների հարստացում նոր բաղադրիչներով: Նկար 1-ում բերված է մեր կողմից առաջարկվող ռոբոտների կառավարման ամպային միջոցների ճարտարապետությունը, որի հիմքում ընկած է ԻՄՄԱ համակարգը: Նկարում հաստացված գծերով նշված արդեն փորձարկված բաղադրիչները: Այս աշխատանքում դրված խնդիրների լուծման համար նրանք կարիք ունեն միայն որոշակի մոդիֆիկացիայի, իսկ բարակ գծերով ներկայացված են բաղադրիչներ, որոնցով պետք է հարստացվի և լրացվի ԻՄՄԱ-ի կազմը, որպիսի այն լուծի ամպային տեխնոլոգիայով ռոբոտների կառավարման հարցը: Կարճ նկարագրենք ինֆորմացիոն հոսքերի և հաշվողական աշխատանքների կազմակերպումը առաջարկված սխեմայում: Համակարգի համալարման սկզբնական փուլում կատարվում է առարկայական աշխարհի այն ենթատիրույթի նկարագրումը, որտեղ պետք է կազմակերպվի ռոբոտների գործենությունը: Ապա ԻՄՄԱ համակարգի վեբ խմբագրիչի կողմից իրականացվում է առարկայական աշխարհի այդ ենթատիրույթի մոդելավորումը Գիտելիքների բազայի (ԳԲ) առանձին բաղադրիչում, որին հետագայում կանվանենք տվյալների ենթաբազա: Ռոբոտների գործենության կազմակերպման փուլում օպերատորից ստացվում է բնական լեզվով ներկայացված և այդ ռոբոտներին ուղված հրահանգներ:



Նկ. 1

Բլոկ 2-ում ԳԲ-ի օգնությամբ կատարվում է այդ հրահանգների տեքստի իմաստային վերլուծություն, որի արդյունքում ստացվում է այդ տեքստին համարժեք, նրա քերականական վերլուծությունը ներկայացնող հիերարխիկ ծառը: Ծառի գագաթը ներկայացնում է հրահանգի էությունը արտահայտող բայը, իսկ ստորադաս հանգույցները՝ այդ բայի լրացումները:

Բլոկ 3-ում կատարվում է հրահանգվող ռոբոտի միկրոգործողությունների պլանի կազմում: Նման պլանավորման ժամանակ բավարարվում են վերը նշված ծառով ներկայացված պահանջները և հաշվի առնվում ընթացիկ պահին ռոբոտին շրջապատող իրերի փոխադարձ դիրքը: Այս բոլոր նշված դիրքերի մասին տվյալներ ստանում է համակարգի տվյալների ենթաբազայից, որոնք արտացոլում են իրավիճակը առարկայական աշխարհի ընթացիկ ենթատիրույթում:

Նկարագրված սխեմայում ԻՄՄԱ ինտելեկտուալ համակարգի և նրա բաղադրիչների հարմարեցումը դրված նպատակներին (նայիր Բլոկ1, Բլոկ2, Բլոկ4 և Բլոկ 5) պահանջում են այդ համակարգի որոշակի մոդիֆիկացիա: Ստորև բերենք այդ մոդիֆիկացիաների իրականացման առաջարկվող սխեմաներ:

### **Տվյալների ենթաբազայի տրամաբանական կազմակերպումը**

Առաջարկվում է տվյալների ենթաբազայի կազմակերպչական միավորների և նրանց միջև հնարավոր կապերի կազմը հիմնականում համընկեցնել համակարգի ԳԲ-ի միավորների և նրանց միջև կապերի կազմի հետ: Սա թույլ կտա աննշան փոփոխություններով օգտագործել համակարգի արդեն մշակված և փորձարկված Վեբ խմբագրիչի և բազաների կառավարման համակարգի ծրագրային միջոցները: [2] առաջարկվում է, որ ԳԲ-ն դիտարկվի որպես այսպես կոչված մուլտիպլետների հիերարխիկ կառուցվածք ունեցող սեմանտիկ ցանց: Մուլտիպլետները մեկ մակարդականոց հիերարխիկ ցանցեր են: Յուրաքանչյուր մուլտիպլետի գագաթ հանդիսանում է վերադաս մուլտիպլետի ստորադաս օղակ: Մուլտիպլետի ներհանգուցային կապերը ապահովում են դաս-ենթադաս հարաբերություններ: Այսպիսով, ապահովվում է վերադաս մուլտիպլետների հանգույցների հատկությունների ժառանգումը ստորադասների կողմից: ԻՄՄԱ համակարգում այս հանգույցները ներկայացնում են իրական աշխարհի հասկացույթները (կոնցեպտները): Մեր կողմից առաջարկվում է ԳԲ մտցնել զրոյական մակարդակի մուլտիպլետներ, որոնց ստորադաս հանգույցներն արդեն կներկայացնեն ռոբոտին շրջապատող առարկայական աշխարհի օբյեկտները: Մակայն, որպեսզի այս հանգույցներով լիարժեքորեն մոդելավորենք առարկայական աշխարհը, անհրաժեշտություն է առաջանում համակարգում մտցնել նոր տիպի կապեր՝

ա) ռոբոտին շրջապատող տարածքում առկա օբյեկտների դիրքը ներկայացնելու համար առաջարկվում է ԳԲ-ի զրոյական մակարդակի յուրաքանչյուր հանգույցին թույլ տալ կոորդինատ տիպի հատկանիշի վերագրում, որոնք բնական է կունենան երեք բազադրիչ, կարտահայտվեն թվերով,

կտրվեն առարկայական աշխարհի մոդելավորման ժամանակ:

բ) Ռոբոտների գործողությունները պլանավորող մոդուլի աշխատանքը կազմակերպելու համար առաջարկում ենք համակարգ մտցնել նաև օբյեկտների փոխադարձ դիրքը նկարագրող կապեր, որոնցից որոշները դիտարկվում են գրականությունում: Այսպիսի հարաբերություններից են  $R_1(a, b)$ - a օբյեկտը գտնվում է b օբյեկտի վրա,  $R_2(a, b)$ - a օբյեկտը գտնվում է b օբյեկտին կից,  $R_3(a, b)$ - b օբյեկտը հանդիսանում է a օբյեկտի բաղադրիչը, և այլն:

### **Հրահանգների տեքստի իմաստային վերլուծիչի մուտքի և ելքի տվյալների ձևաչափը**

Արդեն նշվել էր որ վերլուծիչի մուտքին հրահանգի տեքստը պետք է տրվի բնական լեզվով: Վերլուծիչի ելքի ներկայացման ձևաչափը պետք է բավարարի հետևյալ պահանջներին. արտահայտի մուտքային տեքստի իմաստը և անկախ լինի նրա ներկայացման ձևից, նրա ստացումը չառաջացնի վերլուծիչի ծրագրային միջոցների բարդություն, հարմար լինի այդ ձևաչափով ներկայացված հրամանը կառավարման բլոկում ինտերպրետացնելու համար:

Ընդունվում է որ առկա է robotc-ով ( կամ նման դասի լեզվով ) գրված ենթածրագրերի գրադարան որոնցից յուրաքանչյուրի մեքենայական հրամանները ինտերպրետացնելով ռոբոտի տեխնիկական միջոցներով ապահովում են ռոբոտի կողմից տարրական գործողությունների կատարում: Այսպիսով կառավարման բլոկում առկա գործողությունների պլանավորման հանգույցը պետք է ձևավորի նման ենթածրագրերի կանչերի մի ցուցակ, որոնց բոլորի կատարման դեպքում մենք կստանանք մուտքին տրված հրահանգի իրականացում: Ստորև բերվում է տեքստային վերլուծիչի ելքի ձևաչափը: Ելքում հրահանգի էությունն արմատային բաղադրիչը ներկայացվում է գիտելիքների շտեմարանի և որևէ մեխանիկական շարժում ներկայացնող բայական տիպի կոնցեպտով (C0): Առաջարկվող ձևաչափում շտեմարանի կոնցեպտների անվանումները հանդես են գալիս ֆունկցիաների անվանումների տեսքով: Դրանց օգնությամբ ելքային հրահանգը ներկայացվում է որպես միմյանց մեջ ներդրված ֆունկցիաների համակարգ՝ որը ունի հետևյալ ֆորմալ նկարագիրը:

<հրահանգ> := C<sub>0</sub> (<արգումենտների ցուցակ>)

<ցուցակի էլեմենտ> := R<sub>0i</sub> C<sub>i</sub> (<արգումենտների ցուցակ>)

Այստեղ C<sub>i</sub>-ին ներկայացնում է շտեմարանի գոյական կամ ածական կոնցեպտ, R<sub>0i</sub>-ին դա C<sub>0</sub>-ի և C<sub>i</sub>-ի միջև առկա շարահյուսական հարաբերությունն է, որը ֆիքսված է գիտելիքների բազայի սեմանտիկ ցանցում:

Այսպիսով հրահանգի ելքային տեքստը ներկայացվում է որպես հրահանգի քերականական վերլուծման հիերարխիկ ծառ C<sub>0</sub> գազաթով, և նրան ենթակա C<sub>i</sub> ենթագազաթներով:

## **Գիտելիքների բազայի սեմանտիկ ցանցի ընդլայնում պլանավորման ծրագրային մոդուլի աշխատանքի համար**

Հետագա շարադրվածքը ապահովելու համար դիտարկման մեջ մտցնենք մի քանի նոր հասկացություններ:

Մակրոհրահանգ – այսպիսինն ենք մենք համարում այն հրահանգի տեքստերը որոնց մոտ վերը բերված ֆորմալ նկարագրերում  $C_i$ -ին ներկայացնում է ոչ թե տվյալների ենթաբազայի օբյեկտներ այլ նրա վերադաս մուլտիպլետների գազաթները ներկայացնող կոնցեպտներ: Նկատենք որ համակարգի մուտքին նման հրահանգներ չեն կարող հնչել քանի որ մուտքային հրահանգը ունի կոնկրետություն, նրա մոտ  $C_i$ -ի դերում կարող են հանդես գալ միայն տվյալների ենթաբազայի օբյեկտներ: մակրոհրահանգներ ստեղծում և օգտագործում ենք գիտելիքների բազայի ձևավորման ժամանակ

Մակրոծրագրեր – սա իրենից ներկայացնում է մակրոհրահանգներ հաջորդականություն որոնք կապակցված են միմյանց հետ 'և հետո', 'կամ հետո' տրամաբանական օպերացիաներով, և թույլ են տալիս գիտելիքների բազա ստեղծողին բարդ հրահանգը արտահայտել ավելի պարզ հրահանգներով:

Որպեսզի ապահովենք անկախություն ռոբոտը աշխատեցնող ծրագրերի, տվյալների, համակարգի հնարավոր զարգացումների միջև, այս աշխատանքում առաջարկվում է զարգացնել գիտելիքների բազան, սեմանտիկ ցանցի հանգույցների հետ կապի մեջ մտցնել մակրոհրահանգների և մակրոծրագրերի տեքստերը: Այդ նպատակով առաջարկվում է օգտագործել դինամիկ պլանավորման մոտեցում՝ ռոբոտների աշխատանքային պլանի և աշխատանքային ծրագրերի գեներացիան իրականացնել յուրաքանչյուր հրահանգի դեպքում ըստ գիտելիքների բազայի ընթացիկ պարունակության: Այս նպատակով առաջարկվում է յուրաքանչյուր բայական տիպի և  $C_0$  ֆունկցիան ներկայացնող կոնցեպտների հետ շարահյուսական (խնդրատանկան) կապի մեջ գտնվող  $C_i$ -ի կոնցեպտի մոտ տալ  $R_{0i}$  անմիջական կապ  $C_0$ -ի հետ: Այդ կապի տողին կցել համապատասխան մակրոհրահանգը նախօրոք այն անցկացնելով տեքստային անալիզատորի միջով: Յուրաքանչյուր նման հրահանգի տեքստը պետք է վերջանա նրան իրականացնող *robotc* ի մոդուլի կամ մակրոծրագրի կանչով:

## **Ռոբոտների գործունեության պլանավորման ծրագրային մոդուլի սխեման**

Նշված պլանի կազմումը առաջարկվում է իրականացնել հետևյալ սխեմայով:

Մուտքային հրահանգի վերլուծման արդյունքում ստանալ այդ հրահանգի ֆորմալ տեսքը որտեղ  $C_i$ -ին տվյալների ենթաբազայի մի որևէ օբյեկտն է, իսկ  $C_0$ -ն հրահանգվող գործողություն նրա նկատմամբ: Եթե գիտելիքների բազայում առկա է այդ հրահանգը անմիջականորեն ներկայացնող մակրոհրահանգը ապա նրան կցված *robotc*-ի մոդուլը տրվում է անմիջական իրա-

կանացման համար: Հակառակ դեպքում կատարվում է վերընթաց շարժում դեպի վերադաս մուլտիպլետների գազաթները: Նրանցից ընտրվում է այն  $C_j$ -ին որին կա կցված  $C_0$  բայր(գործողությունն) իրականացնող մակրոհրահանգը: Այս մակրոհրահանգի կամ և նրան իրականացնող մակրոծրագրերում բոլոր  $C_j$ -ները փոխարինվում են  $C_i$ -ի կոնկրետ արժեքով: Մակրոծրագրի բացակայության դեպքում  $C_i$ -ին փոխանցվում է որպես արգումենտ, մակրոհրահանգին կցված *robotc*-ի ֆունկցիային և այդ ֆունկցիան ներդրվում է ռոբոտի պլանավորվող գործողությունների ցանկի մեջ: Հակառակ դեպքում կատարվում է տվյալ մակրոհրահանգի իրականացման մակրոծրագիրը: Ընդորում այս տակտում կատարվող մակրոծրագրի բոլոր բաղադրիչ մակրոհրահանգները դիտարկվում են կարծես թե համակարգի մուտքին տրված հասարակ հրահանգ: Նկարագրված ցիկլիկ գործընթացը ավարտվում է երբ նրա ընթացքում հանդիպած բոլոր մակրոհրահանգները որոնք հերթով ներդրվում են ռոբոտի պլանավորվող գործողությունների ցանկի մեջ:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ

1. Манукян Э., Манукян С., Манукян А., Саядян А. Основы построения интеллектуальной системы машинного перевода // Сборник материалов годичной научной конференции ГИУА. Ер., 2001.Т.1. С. 306.
2. Շարաբյան Ա. Հ., Մանուկյան Է. Ն., Մանուկյան Ա. Ա., Մելիքյան Ա. Ա., Մեքենայական թարգմանության համակարգերում գիտելիքների բազաների ձևավորման սկզբունքները, ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր, հատոր 64, № 3, 2011, 257–264 էջ:
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы построение и анализ // Изд-во МЦНМО: Бином. М., 2004. СС. 960.
4. Մանուկյան Է. Ն., Շարաբյան Ա. Հ., Մանուկյան Ա. Ա., Մելիքյան Ա. Ա. Թարգմանչական համակարգերում կոնտեքստ-կախյալ վերլուծություն իրականացնող մետալեզվի մշակումը // Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի և ՀՊՃՀ տեղեկագիր, Տեխնիկական գիտությունների սերիա LXVI, հատոր. 2, Եր., 2013, էջ.156–162.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЧЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАЧНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Э.С. Манукян, О.В. Манукян, Э.Н. Манукян

#### АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается модификация средств системы управления базы знаний предоставленной семантической сетью и функционирующей в среде интернета. Модификации обеспечивают облачную технологию создания робототехнических систем.

**Ключевые слова:** облачная робототехника, семантическая сеть, база знаний, речевое управление.

## **VOICE CONTROL OF CLOUD ROBOTIC SYSTEMS**

*E. Manukyan, O. Manukyan, E. Manukyan*

### **SUMMARY**

In the project we have studied the modification of the means of the control system of the knowledge base provided by the semantic network, functioning in the environment of the Internet. The modifications provide cloud-based technology to create robotic systems.

**Keywords:** cloud robotics, semantic network, knowledge base, voice control.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПО МУЗЫКАЛЬНЫМ ЖАНРАМ

*А.А. Мелконян*

### АННОТАЦИЯ

Проблема автоматической классификации произведений (музыкальных или каких-либо иных) представляется весьма сложной, а с определенной точки зрения во многом и не разрешимой проблемой в силу некоторых объективных и субъективных особенностей. В настоящей статье рассматриваются основные существующие подходы к решению данной задачи.

**Ключевые слова:** музыкальный жанр, алгоритм классификации, таксономия жанров.

### Введение

Музыкальные жанры – это высокоуровневые описания, создаваемые и используемые для категоризации музыки. Вообще, проблема автоматической (да и не только, автоматической) категоризации музыки, по большому счету, на наш взгляд, не является полностью решаемой в силу определенного ряда объективных и субъективных причин. В первую очередь, еще и потому, что не существует четкого и однозначного определения жанров, т.е. определенная мелодия может не подходить к какому-либо жанру или, наоборот, содержать в себе фрагменты, которые можно отнести к различным жанрам и так далее. Более того, современная музыкальная индустрия постоянно продуцирует все новые и новые жанры. Казалось бы, если проблема категоризации музыки является практически не решаемой даже для такого совершенного компьютера, каким является человеческий мозг, что требовать от ограниченных возможностей моделей и компьютерных программ? Однако потребность в подобных программах, пусть и с весьма урезанными функциями становится весьма серьезной, если учесть, что количество музыкальных файлов в цифровом виде, доступных в Интернете, стремительно растет, появляются различные сервисы, предоставляющие доступ к большому объему музыки по подписке. Автоматический анализ музыки может стать одной из услуг, с помощью которой владельцы таких сервисов будут привлекать клиентов. Такая возможность может стать полезной и для администраторов сетевых архивов с информацией о музыке, в том числе, включающей жанр. Обычно такие сервисы полагаются на ручную классификацию, являющуюся медленной и громоздкой.

**Классификация.** Общую схему решения задачи классификации музыкальных произведений по жанрам можно условно разделить на следующие этапы:

– определение набора признаков (в данном контексте признак означает порцию информации, которая может быть извлечена из аудиозаписи и затем использована для ее описания или классификации [1,6]);



- выделение признаков из аудиозаписи;
- выбор алгоритма классификации;
- выбор таксономии жанров – иерархического множества категорий, отображаемого на музыкальную коллекцию;
- классификация выбранным алгоритмом.

В общем виде, задача классификации определяется следующим образом: пусть  $X$  – множество описаний объектов,  $Y$  – конечное множество имен классов. Существует неизвестная зависимость – отображение  $y^* : X \rightarrow Y$ . Требуется построить алгоритм  $a : X \rightarrow Y$ , способный классифицировать произвольный объект  $x \in X$ .

Хотя разделение музыки по жанрам является в немалой степени субъективным, для описания того или иного жанра можно использовать критерии, связанные с фактурой, инструментовкой и ритмической структурой музыки. Из всего этого следуют два важных вопроса автоматической классификации по жанрам: какие музыкальные признаки использовать для классификации и как разработать иерархическое множество категорий, в котором будут классифицироваться записи. Наличие надежных проверочных данных также является ключевым требованием для эффективного обучения классификаторов музыкальных произведений по жанрам. Учитывая тот факт, что между аннотаторами-людьми (производящими классификацию) может быть достигнуто только ограниченное согласие, можно сделать вывод, что это ограничение задает верхнюю границу эффективности автоматической классификации жанров.

**Признаки классификации.** Основой систем автоматического анализа аудио-сигналов любого типа является извлечение вектора признаков. Основопологающими в области классификации по жанрам является работа Дж. Цанетакиса и П. Кука [2], которыми были взяты за основу работы по распознаванию речи, а также неречевых сигналов – таких, как звуки музыкальных инструментов. Ими было предложено три набора признаков, служащих для представления тембра, ритма и высоты звука. Набор тембральных признаков был заимствован из области распознавания речи и звуков в целом, но два других набора были разработаны именно для представления музыкальных характеристик – ритма и гармонии.

Тембр – это характеристика звука, позволяющая двум звукам одинаковой высоты и громкости звучать по-разному. Для извлечения признаков, описывающих тембр, используется спектральное распределение сигнала. Тембральные признаки часто называются **низкоуровневыми**, так как обычно вычисляются на коротких отрезках сигнала (от 10 до 60 миллисекунд).

Признаки, описывающие высоту сигнала, – это признаки, описывающие гармонию и мелодию. Гармония – слаженность звуков и аккордов («горизонтальное» измерение музыки). Мелодия – последовательность звуков различной высоты, воспринимаемых как единое целое («вертикальное» измерение).

Точного определения ритма не существует. Многие авторы рассматривают ритм как идею временной регулярности. В более общем смысле, слово «ритм»

может использоваться для обозначения всех временных аспектов музыкального произведения.

К **высокоуровневым** признакам относятся тональность, основная частота, последовательность аккордов.

Основной идеей является, как и в большинстве анализаторов мелодии и гармонии, использование функций, описывающих распределение высот на коротком участке композиции: вычисляется набор значений таких признаков, как амплитуды и расположения основных пиков, величины интервалов между ними и т.д. Т.е. такие высокоуровневые признаки не используются.

Техники извлечения высокоуровневых сигналов из полифонических аудиосигналов еще весьма далеки от совершенства. Тембр содержит достаточно информации для грубого определения жанра. По результатам работы [3], правильная классификация по жанрам (всего было рассмотрено 10 жанров) была произведена для 53% при прослушивании 250 миллисекунд и в 72% после прослушивания 3 секунд. Поэтому стала бытовать точка зрения, что для определения жанра не требуется использование высокоуровневых признаков, так как 3 секунды – слишком маленький временной промежуток для определения музыкальной структуры.

Однако в работе [4] было проведено исследование на базе данных из 20000 произведений по 18 жанрам. Результаты показали, что между тембром и жанром существует лишь небольшая корреляция, из чего следует, что анализаторы, работающие на тембре, изначально ограничены.

**Алгоритмы классификации.** Существует три основных класса алгоритмов классификации:

- экспертные системы;
- алгоритмы обучения без учителя;
- алгоритмы обучения с учителем.

Экспертные системы определяют наборы правил в явном виде. Для задачи классификации по жанрам, это было бы аналогично перечислению набора правил, которые бы точно и однозначно могли описать жанр. Пока не было предложено моделей, основанных на экспертных системах.

Обучение без учителя – это кластеризация данных неконтролируемым способом таким образом, что классификация сама возникает из данных на основе объективных мер сходства. Преимущество состоит в том, что такой подход позволяет избежать ограничений фиксированной таксономии, приводящих к неоднозначности. Кроме того, некоторые произведения могут просто не вписываться в заданную таксономию. Аудиозапись представляется набором признаков, а для сравнения произведений между собой используются меры схожести (например, какие-либо метрики). Однако такие метрики имеют смысл, только если векторы признаков не изменяются во времени. Иначе два схожих произведения могут оказаться удаленными друг от друга по результатам измерений, если схожие признаки сдвинуты во времени. Обучение без учителя хорошо подходит для

реализации систем, определяющих сходство музыкальных произведений в целом, но не конкретно для задачи классификации музыкальных жанров, так как в этом случае получаемые категории могут быть несодержательными для пользователя. Хотя эти категории могут быть более точными, по сравнению с жанрами, определяемыми людьми, система, использующая свой собственный набор жанровых категорий, будет иметь ограниченную полезность для пользователя, привыкшего использовать знакомые и понятные жанры.

Методы обучения с учителем изучены более подробно и пытаются отобразить базу музыкальных произведений на заданную таксономию жанров с использованием алгоритмов машинного обучения. Система сначала обучается на каких-то данных, размеченных вручную, а затем используется для классификации неразмеченных данных.

**Заключение.** В настоящее время для извлечения значений признаков существуют различные готовые решения. Например, библиотека *Essentia* [5], предназначенная для анализа аудиозаписей и музыкального информационного поиска на основе аудиоданных. Она содержит обширную коллекцию алгоритмов, такие, как обработка цифровых сигналов, алгоритмов для получения статистических описаний данных и так далее, в результате чего имеется возможность описать каждую аудиозапись 99 признаками.

Как уже было сказано, важным требованием для эффективного обучения классификаторов музыкальных произведений по жанрам является наличие надежных проверочных данных. Под проверочными данными понимается набор пар: «музыкальное произведение – его жанр». Одним из самых популярных наборов данных является набор *GTZAN*, находящийся в свободном доступе и разработанный авторами работы [2]. Он состоит из 1000 30-секундных музыкальных отрывков, каждый из которых может принадлежать одному из 10 жанров. Точность классификации с использованием *GTZAN* оценивается примерно в 61%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *McKay C.* Issues in automatic musical genre classification - Presented at the Mc Gill Graduate Students Society Symposium, (2004).
2. *Tzanetakis G., Cook P.* Musical Genre Classification of Audio Signals, *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 10, no. 5, (2002).
3. *Perrott D., Gjerdingen R.O.* Scanning the dial: an exploration of factors in the identification of musical style, *Research Notes, Department of music, Northwestern University, Illinois*, (1999).
4. *Aucouturier J.J., Pachet F.* Representing musical genre: a state of the art, *Journal of New Music Research*, vol. 32, no. 1. PP. 83–93, (2003).
5. *ESSENTIA* | Open-source C++ library for audio analysis and audio-based music information retrieval [Electronic resource]. URL: <http://essentia.upf.edu>
6. *Ромацкий Д.Б.* Автоматическая классификация музыкальных произведений по жанрам, магистерская диссертация, ТГУ, (2014).

**AUTOMATIC CLASSIFICATION OF MUSICAL GENRES.***A. Melkonyan***SUMMARY**

The problem of automatic classification of works (music or any other) is very difficult, but from a certain point of view, in many respects, and not a solvable problem due to some objective and subjective features. This article discusses the main existing approaches to solving this problem.

**Keywords:** musical genre, algorithm of classification, taxonomy of genres.

**ԱՎՏՈՄԱՏԻԿԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸՍԸՍՏԵՐԱԺՇՏԱԿԱՆԺԱՆՐԵՐԻ***Ա.Ա. Մելքոնյան***ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Ավտոմատ դասակարգումը ըստ երաժշտական կամ որևէ այլ ժանրերիբարդ է, իսկ որոշակի տեսանկյունից, շատ առումներով, անգամ անլուծելի խնդիր, ինչը պայմանավորված է որոշ օբյեկտիվ և սուբյեկտիվ հատկանիշներով: Այս հոդվածը քննարկում է հիմնական մոտեցումները, որոնք մշակված են այս խնդիրը լուծելու համար:

**Հիմնաբառեր**՝ երաժշտական ժանր, դասակարգման ընթացակարգ, ժանրերի տաքսոնոմիա:

## МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ СЕРИАЛИЗУЕМОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

*А.С. Овакимян, С.Г. Саркисян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье описывается метод проверки сериализуемости программных интерфейсов, методы которых могут быть вызваны из нескольких потоков параллельных программ одновременно. Под сериализуемостью интерфейса понимают свойство интерфейса, состоящее в том, что в любом состоянии программы результат параллельного выполнения методов интерфейса в нескольких потоках эквивалентен некоторому последовательному выполнению этих же методов. Метод основан на анализе результатам прогона программы на множестве тестов, каждый из которых индуцирует некоторое выполнение.

**Ключевые слова:** параллельный интерфейс, многопоточная программа, сериализуемость интерфейса.

В настоящее время, в соответствии с многоядерной и многопроцессорной архитектурой электронно-вычислительных машин, параллельное программирование получило широкое распространение. Разрабатываются программы, состоящие из нескольких потоков, которые выполняют работу параллельно [1, 2].

Разработка многопоточных программ намного сложнее последовательных, поскольку порядок, в котором будут выполнены инструкции разных потоков, заранее непредсказуем и разработчик должен предусмотреть корректную работу программы при всех возможных чередованиях инструкций. Интерфейс состоит из операций, которые можно выполнять (вызывать) с различными значениями параметров. Выполнение операции завершается возвратом значения, называемого результатом. Кроме того, операции могут быть выполнены в различных потоках одновременно.

Важным свойством параллельных программ является свойство сериализуемости программных интерфейсов [3, 4]. Параллельный интерфейс состоит из методов, которые могут быть вызваны из разных потоков параллельной программы одновременно. Выполнение методов в нескольких потоках называют параллельным выполнением метода, а в выполнении в одном потоке – последовательным выполнением метода. Параллельное выполнение метода называют сериализуемым, если существует эквивалентное данному выполнению последовательное выполнение метода. Таким образом, сериализуемость программного интерфейса состоит в том, что в любом состоянии программы результат параллельного выполнения методов интерфейса в нескольких потоках эквивалентен некоторому последовательному выполнению этих же методов. Иными словами, интерфейс должен быть разработан таким образом, чтобы любому выполнению программы соответствовало бы последовательное выполнение.

Свойство сериализуемости локально и неблокируемо. Локальность означает, что, если показано, что методы, работающие с одним и тем же объектом, сериализуемы, то они в совокупности сериализуемы с другим сериализуемым методом, работающими с другим объектом. Свойство неблокируемости означает, что метод, вызываемый в сериализуемой программе, для завершения работы не требует вызова другого метода.

На практике свойство сериализуемости весьма актуально. Для библиотечных функций, предназначенных для их использования в многопоточных программах, это свойство специально оговаривается, что обеспечивает безопасный вызов таких функций. В случае программ, разработанных на основе клиент-серверной архитектуры, предоставляющих сервисы клиентам, результат одновременного использования одного и то же сервиса разными клиентами должен быть таким же, как если бы клиенты обслуживались последовательно [5, 6].

В общем случае, задача сериализуемости не разрешима. Но ее можно решить в случае ограничения числа методов и потоков. Основная сложность состоит в числе разных выполнений.

Пусть имеется набор операций вида  $op\langle name \rangle$ , для которых вызов операции обозначается через  $op\langle name \rangle\_begin\langle parameters \rangle$ , а окончание выполнения операции – через  $op\langle name \rangle\_end\langle result \rangle$ . Сценарий выполнения, или просто выполнение – это конечная последовательность событий вида  $\alpha:op\langle name \rangle\_begin\langle parameters \rangle$  и  $\alpha:op\langle name \rangle\_end\langle result \rangle$ , где  $\alpha$  - название потока. Говорят, что ответ соответствует вызову, если в сценарии выполнения существует пара событий вызова/окончания, в которой названия потоков и операций совпадают.

Рассмотрим интерфейс, состоящий из набора функций {insert, delete, lookup}.

```
int x;
boolean b = false;
boolean insert(int i) {
    if(b==false) {
        x=i;b=true;return true;
    }
    else return false;
}
void delete() {
    b = false;
    return;
}
int lookup() {
    if(b==true)
        return x;
    else return -1;
}
```

Сценариями выполнения приведенного интерфейса будут, например, последовательности  $h_1, h_2, h_3$ , где  $\alpha, \beta, \gamma$  – имена потоков.

$h_1 = \alpha:op\langle insert \rangle\_begin\langle 0 \rangle, \beta:op\langle delete \rangle\_begin\langle \rangle, \alpha:op\langle insert \rangle\_end\langle true \rangle,$   
 $\gamma:op\langle lookup \rangle\_begin\langle \rangle, \beta:op\langle delete \rangle\_end\langle \rangle, \gamma:op\langle lookup \rangle\_end\langle 0 \rangle;$

$h_2 = \alpha:op\langle insert \rangle\_begin\langle 0 \rangle, \alpha:op\langle insert \rangle\_end\langle true \rangle, \gamma:op\langle lookup \rangle\_begin\langle \rangle,$

$\gamma:op<lookUp>_end<0>$ ,  $\beta:op<delete>_begin<>$ ,  $\beta:op<delete>_end<>$ ;  
 $h_3=\alpha:op<insert>_begin<0>$ ,  $\alpha:op<insert>_begin<1>$ ,  $\beta:op<insert>_end<true>$ ,  
 $\beta:op<insert>_end<true>$ .

Выполнение называется последовательным, если в нем первое событие является вызовом какого-либо метода, а за всеми событиями, кроме последнего, следует соответствующий ответ. Например, выполнение  $h_3$  является последовательным, а  $h_1$  и  $h_2$  – нет.

Историей потока  $\alpha$  в сценарии выполнения  $H$  (обозн.  $(H | \alpha)$ ) называется подпоследовательность событий в выполнении  $H$ , в которых имя потока есть  $\alpha$ . Например,  $h_1 | \alpha = \alpha:op<insert>_begin<0>$ ,  $\alpha:op<insert>_end<true>$ .

Два сценария выполнения  $H$  и  $H'$  называются эквивалентными, (обозн.  $H \sim H'$ ), если для любого потока  $\alpha$  история  $H | \alpha$  потока  $\alpha$  в сценарии выполнения  $H$  эквивалентна истории того же потока в  $H'$ . Например, в приведенном примере  $h_1 \sim h_2$ : Сценарий выполнения  $H$  называется совершенным, если для какого-то потока  $\alpha$  его история  $H | \alpha$  является последовательным. Операция называется отложенной, если за ее вызовом не следует ответа.

Максимальную подпоследовательность в сценарии выполнения  $H$ , состоящую из вызовов, за которыми следует ответ, обозначим через  $complete(H)$ .

Множество выполнений  $S$  называется замкнутым по префиксам, если префикс любого выполнения  $H$  из множества  $S$  также находится в  $S$ . Последовательной спецификацией программы называется замкнутое по префиксам множество  $S$  последовательных выполнений. Выполнение  $H$  соответствует спецификации, если  $H \in S$ .

Выполнение  $H$  определяет нереклексивный частичный порядок  $<_H$  на множестве операций такой, что  $e_0 <_H e_1$ , если за  $end(e_0)$  следует  $begin(e_1)$  в  $H$ .

Выполнение  $H$  сериализуемо, если путем добавления некоторого количества ответов оно может быть дополнено до какого-то  $H'$ , для которого имеют место следующие утверждения:

1)  $complete(H')$  эквивалентно какому-то последовательному выполнению  $S$ , соответствующему спецификации;

2)  $<_H \subseteq <_S$ :

В приведенном выше примере  $h_1$  сериализуемо, а  $h_3$  не сериализуемо, так как любая последовательная спецификация, которая эквивалентна  $h_3$ , содержит две операции  $insert$ , что противоречит спецификации.

Допустимым считается выполнение, которое встречается при выполнении программы. Программа сериализуема, если любое допустимое выполнение сериализуемо.

Программа самосериализуема, если для любого допустимого выполнения  $H$  существует допустимое последовательное выполнение  $H'$  такое, что  $H \sim H'$ . Если программа самосериализуема, то показав, что все допустимые последовательные выполнения соответствуют спецификации, показывается, что программа сериализуема.

Анализ программы выполняется по результатам ее прогона на множестве тестов, каждый из которых индуцирует некоторое выполнение. В программу заранее вносятся средства, позволяющие проконтролировать сценарии ее выполнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бейзер Б.* Тестирование черного ящика. Питер, 2004.
2. *Cormac Flanagan, Stephen N. Freund.* Atomizer: A dynamic atomicity checker for multithreaded programs. Proceedings of the ACM Symposium on the Principles of Programming Languages. CC. 256–267, 2004.
3. *Derek Bruening.* Systematic testing of multithreaded Java programs. Master's thesis, MIT, 1999.
4. *Carver, Richard H., and Y. Lei.* A general model for reachability testing of concurrent programs. Proc. International Conference on Formal Engineering Methods. PP. 76–98, 2004.
5. *Andrews, Gregory R.* Concurrent Programming: Principles and Practice. Redwood City, CA: Benjamin-Cummings, 1991.
6. *Carver, Richard H.* Modern multithreading: implementing, testing, and debugging multithreaded Java and C++/Pthreads/Win32 programs / by Richard H. Carver and Kuo-Chung Tai. 2006.

#### THE SERIALIZABILITY OF PARALLEL PROGRAMMING INTERFACES TESTING METHODS

*A. Hovakimyan, S. Sargsyan*

#### SUMMARY

The article describes a method of testing of program interfaces serializability where the methods of the interface can be called from multiple threads of parallel programs simultaneously. Under the serializable interface we understand such a property of interface that any parallel execution of the program by using the methods of the interface in multiple threads is equivalent to some serial execution of the same functions. The described method is based on the analysis of results of the program that run on a variety of tests each of which induces a certain implementation.

**Keywords:** parallel interface , multithreaded program , serializability of interface.

#### ԶՈՒԳԱՀԵՌ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԻՆՏԵՐՖԵՑՄԱՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱԼԻԶԱԿԱԾՈՒԹՅԱՆ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

*Ա.Ս. Հովակիմյան, Ս.Գ. Մարգարյան*

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում նկարագրվում է ծրագրային ինտերֆեյսների սերիալիզացիան հատկության ստուգման մի եղանակ: Ինտերֆեյսի մեթոդները կարող են կանչվել զուգահեռ ծրագրի մի քանի հոսքերից միաժամանակ: Ինտերֆեյսի սերիալիզացիան տակ հասկանում են նրա այն հատկությունը, որ ինտերֆեյսի մեթոդների զու-



գահեա կանչերին համապատասխանող ծրագրի ցանկացած կատարում համարժեք է այդ մեթոդների որևէ հաջորդական կատարմանը: Թեստավորման մեթոդի հիմքում ընկած է թեստային օրինակների վրա ծրագրի աշխատանքի արդյունքների վերլուծությունը, որտեղ յուրաքանչյուր թեստ հանգեցնում է ծրագրի որոշակի կատարման:

**Հիմնաբառեր՝** զուգահեռ ինտերֆեյս , բազմահոսքային ծրագիր, ինտերֆեյսի սերիալիզացվածություն:

**ՓԱՍՏԱԹՂԹԵՐԻ ՎԱՐԿԱՆԻՇԱՎՈՐՄԱՆ  
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ**

*Ս.Գ. Սարգսյան<sup>1</sup>, Ա.Ս. Հովակիմյան<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup> *Երևանի պետական համալսարան  
siranushs@ysu.am*

**ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Օգտատիրոջն անհրաժեշտ ինֆորմացիայի տրամադրման և արագ ընտրություն կատարելու համար ստեղծվել են որոնման համակարգեր: Դրանցից են օրինակ Google, Yandex, Yahoo և այլն: Խնդիր է առաջանում ստեղծել փաստաթղթերի որոնման այնպիսի համակարգ, որը օգտատիրոջն օգնում է փնտրումը կատարել համեմատաբար քիչ և որոշ իմաստով կարևոր փաստաթղթերում: Նոր տիպի որոնման համակարգի ստեղծումը ավելի է կարևորվում մասնագիտացված կազմակերպություններում (ֆինանսական, հաշվապահական, առևտրային և այլն) որպես ինֆորմացիայի փնտրման օգնող միջոց:

Ստեղծվել է որոնման համակարգ, որտեղ իրականացված է սկզբնական փնտրված փաստաթղթերի մշակում, վերլուծություն և օգտատիրոջ նախընտրած քանակով վարկանիշավորված փաստաթղթերի տրամադրում: Մշակված և ծրագրորեն իրականացված են ստատիկ (ըստ որոշ պարամետրերի) և դինամիկ (ըստ նեյրոնային ցանցի) վերլուծությունների մեթոդներ:

**Հիմնաբառեր՝** որոնման համակարգ, ինդեքսավորում, նեյրոնային ցանցեր, ցանցի ուսուցում

Օրեցօր համացանցը տվյալներով և զանազան ինֆորմացիայով լրացնող մարդկանց թիվն աճում է: Հավաքագրված ինֆորմացիայի հիման վրա ստեղծվում են բազմաթիվ կիրառություններ, որոնցից են որոնման համակարգերը: Օրինակ Google որոնման համակարգը այսպիսի խնդիրների լուծման համար սովորաբար տրամադրում է 60-ին մոտ փաստաթղթեր, ինչը անհարմարություն է ստեղծում կարճ ժամկետում ուսումնասիրել այդ բոլոր փաստաթղթերը:

Աշխատանքում նկարագրված է հեղինակների կողմից մշակված փաստաթղթերի որոնման այնպիսի համակարգ, որը օգտվողներին օգնում է փնտրումը կատարել համեմատաբար քիչ և որոշ իմաստով կարևոր փաստաթղթերում: Այս որոնման համակարգի օգտագործումը ավելի է կարևորվում որպես ինֆորմացիայի փնտրման օգնող միջոց մասնագիտացված կազմակերպություններում: Մշակված են փաստաթղթերի ստատիկ և դինամիկ վերլուծությունների մեթոդներ, որոնք իրականացված են մշակված փաստաթղթերի վարկանիշավորմամբ որոնման համակարգում:

Դինամիկ վերլուծությունների մշակման համար աշխատանքում օգտագործվել են նեյրոնային ցանցերը [1, 2]: Համակարգի մշակման ժամանակ առաջացել են հետևյալ խնդիրները:

– Հետագոտել և հաշվի առնել նախօրոք նման փնտրումներով օգտվողների կատարած ընտրությունները:

– Ըստ այդ ընտրությունների արդյունքների ստանալ փաստաթղթերի վարկանիշավորման որոշ գնահատականներ:

– Հաշվի առնելով օգտվողների պահանջը՝ սահմանափակել էլքային տվյալների (URL-ների) քանակը:

**Նեյրոնային ցանցի-ի** մշակման ժամանակ առաջացել են հետևյալ խնդիրները:

– Մշակել նեյրոնային ցանցի ճարտարապետությունը:

– Ձևավորել ուսուցանող հաջորդականության տարրերը:

– Կազմակերպել ցանցի ուսուցումը ինդեքսավորված փաստաթղթերի համար:

– Ցանցը կիրառել փաստաթղթերի ցուցակի համապատասխան ցանցային գնահատականների ստացման համար:

– Ձտել և առաջարկել վարկանիշավորման գնահատականներով փաստաթղթերի ցուցակ:

Համակարգի մշակման հիմքում ընկած է մեքենայական ուսուցումը: Մուտքային տվյալների հավաքածուից համակարգի էլքում դուրս է բերվում այդ տվյալների հատկությունների վերաբերյալ ինֆորմացիա, որը օգնում է կատարել որոշ ընդհանրացումներ և կանխագուշակումներ դեռևս անհայտ տվյալների վերաբերյալ: Դա հնարավոր է այն պատճառով, որ գործնականորեն բոլոր մուտքային տվյալները պարունակում են ինչ-որ օրենքներ և օրինաչափություններ, որոնք բացահայտելով համակարգը կարողանում է կատարել որոշ ընդհանրացումներ: Օգտագործվել է հետադարձ կապով նեյրոնային ցանցերի մեխանիզմը:

Ծրագրային համակարգը իրականացվել Python լեզվով [3,4]: Python-ն ունի մի շարք առավելություններ, որոնցից համակարգի մշակման համար կարևորվել են պլատֆորմից անկախությունը և համակարգում այլ լեզուների օգտագործումը:

Նեյրոնային ցանցի կարևոր առանձնահատկությունը, որը վկայում է նրա լայն հնարավորությունների և մեծ պոտենցիալի մասին, կայանում է բոլոր միավորների կողմից տեղեկատվության զուգահեռ մշակման մեջ: Հսկայական թվով միջնեյրոնային կապերի առկայությունը թույլ է տալիս զգալի չափով արագացնել տեղեկատվության մշակման գործընթացը: Մեկ այլ ոչ պակաս կարևոր առանձնահատկություն է ցանցի սովորելու և կուտակված գիտելիքները ընդհանրացնելու ունակությունը: Տվյալների սահմանափակ բազմության վրա վարժեցված ցանցը կարող է ընդհանրացնել ստացված տեղեկատվությունը և լավ արդյունքներ ցույց տալ այն տվյալների

համար, որոնք չեն օգտագործվել ուսուցման գործընթացում:

Նեյրոնային ցանցի աշխատանքն իրականացվում է համակարգի կառուցվածքի նախագծման, ցանցի ուսուցման և ճանաչման կազմակերպման փուլերով:

Ստատիկ եղանակով վարկանիշավորված փաստաթղթերի համար համակարգի մշակումը կատարվում է հետևյալ քայլերով.

1. Փնտրվող փաստաթղթերի հավաքագրման մեթոդի մշակում:
2. Փաստաթղթերի համապատասխան վերլուծություն:
3. Հավաքագրված փաստաթղթերի ինդեքսավորում:
4. Վարկանիշավորված փաստաթղթերի տրամադրում:

Փաստաթղթերի դասակարգման համար իրականացված են ըստ տարբեր չափանիշների (բառերի քանակի, նրանց տեղադրության և այլն) ալգորիթմներ: Նեյրոնային ցանցի համար մշակվել է նրա ճարտարապետությունը, ձևավորվել ուսուցանող հաջորդականություն, կազմակերպվել ցանցի ուսուցում, ստեղծվել

վարկանիշավորման գնահատականներով փաստաթղթերի ցուցակ:

Փաստաթղթում որոնման համակարգի համար ընտրված պարամետրեր են՝ տրված բառերի հաճախություն, բառի տեղակայում, բառերի միջև առկա հեռավորություն: Այս պարամետրերի ձևավորման և յուրաքանչյուր էջի համապատասխան ռանգի ձևավորման համար մշակվել են ալգորիթմներ և իրականացվել: Տարբեր մեթոդներով ստացված արդյունքները համեմատելու համար նրանք նորմալիզացվել են, բերվել նույն միջակայքի մեջ:

Ըստ բառերի հաճախության ալգորիթմը ի նկատի է առնում թե քանի անգամ է հանդիպում տրված բառը փաստաթղթում: Որքան շատ է բառը հանդիպում փաստաթղթում այնքան մեծ է փաստաթղթի վարկանիշը:

Ըստ փաստաթղթի մեջ դիրքավորման ալգորիթմը հաշվի է առնում այն փաստը, թե որքան մոտ է գտնվում բառը էջի սկզբին, այնքան մեծ է հավանականությունը, որ այն ավելի շատ է համապատասխանում հարցմանը, և ավելի մեծ է էջի ռանգը:

Ըստ բառերի միջև եղած հեռավորության դեպքում, եթե հարցումը պարունակում է միաժամանակ մի քանի բառ, ապա ակնհայտ է, որ ինչքան մոտ են իրարից գտնվում հարցման բառերը էջում այնքան ավելի մեծ է հավանականությունը, որ այն ավելի է համապատասխանում հարցմանը: Եթե էջում հարցման բոլոր բառերը հաջորդեն իրար, ապա այդ էջը կունենա մեծագույն վարկանիշ:

Համակարգում որոնում կատարելու համար անհրաժեշտ է՝

1. **Փնտրվող բառերի ցանկ** դաշտում մուտքագրել փնտրվող բառը կամ արտահայտությունը:

2. Նշել փնտրման վարկանիշավորման պարամետրերը, ընտրելով **Ըստ հաճախության**, **Ըստ տեղադրության**, **Ըստ հեռավորության** դաշտերից մեկը կամ մի քանիսը:

3. Նշել URL-ների մաքիսմալ քանակը, որը պետք է վերադարձնի համակարգը:

4. Համակարգը վերադարձնում է արդյունքը **Ստատիկ ձևով վարկանիշավորված URL** և **Դինամիկ ձևով վարկանիշավորված URL** ցուցակներում:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 1998.
2. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход (AIMA-2), Воронеж, 1999.
3. *Лутц М.* Изучаем Python (4-е издание), 2011.
4. *Саммерфилд М.* Python на практике, 2015.

### РАЗРАБОТКА РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ДОКУМЕНТОВ

*С.Г. Саркисян, А.С. Овакимян*

#### АННОТАЦИЯ

Для быстрого поиска нужной пользователю информации разработаны поисковые системы такие как , например, Google, Yandex, Yahoo и др. Возникает необходимость в поисковой системе, которая способствует поиску относительно в меньшем количестве документов, причем среди наиболее важных. Создание нового типа поисковой системы имеет существенное значение для специализированных организаций (финансовых, бухгалтерских, коммерческих и т.д.).

Создана поисковая система, которая выполняет анализ и обработку предварительно найденных документов, подвергает их некоторой рейтинговой оценке и предоставляет пользователю предпочтительное количество документов. Разработаны и программно реализованы статические (по некоторым параметрам) и динамические (на основе нейронных сетей) методы анализа.

**Ключевые слова:** поисковые системы, индексация, нейронные сети, обучение сети.

### DEVELOPMENT OF DOCUMENT SEARCH RATING SYSTEM

*S. Sargsyan, A. Hovakimyan*

#### SUMMARY

To quickly find the desired information for the user search systems such as Google, Yandex, Yahoo and others are designed. There is a need for a search system that facilitates the search for relatively fewer documents , and among the most important ones. Creating a new type of search engine is essential for specialized organizations (financial, accounting, commercial, etc.).

A search system that performs preprocessing and analysis of found documents , exposes them to a rating assessment , and provides the user a preferred number of documents is created. The software static (in some respects) and dynamic (based on neural networks) methods of analysis are developed and implemented.

**Keywords:** search systems, indexing, neural networks, training of networks.

# IMPLEMENTATION OF A FRAMEWORK FOR SECURE TWO-PARTY COMPUTATIONS

*D. Danoyan<sup>1</sup>, T. Sokhakyants<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Yerevan State University, <sup>2</sup>Russian-Armenian University  
<sup>1</sup>danoyan@gmail.com, <sup>2</sup>tigran.sokhakyants@gmail.com*

## SUMMARY

Secure multiparty computation framework is a general tool allowing two or more mutually distrustful parties each of them holding a private input to a function  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  compute the function value of their input arguments without learning anything beyond the output value. In this article we propose general purpose framework for secure two-party computations utilizing special white-box cryptography-based oblivious transfer protocol which in several orders accelerates the oblivious transfer (OT) phase and, thus, the execution of overall protocol. Also we highlight the insides of a compiler translating function description in higher level language to one pass Boolean circuit, which is able to produce circuits having billions of gates on modest personal computer.

**Keywords:** Secure computation protocols, Secure function evaluation, Yao's garbled circuits protocol, white-box cryptography, oblivious transfer

## 1. Introduction

Protocols for secure computations allow two or more mutually distrustful parties to collaborate and compute some agreed function on each other's inputs, with privacy and correctness guarantees, without presence of trusted third party. For any computable function Andrew Yao showed that secure two-party protocols can be constructed [cit 1]. Yao's garbled circuit technique remains one of the most progressing and actively studied methods for secure two-party computations. The very first practical implementation of secure two-party computation (2PC) [cit 2] used Yao's basic garbled circuit approach, and it remains the primary paradigm for the plenty of 2PC implementations have been developed during past decade [3 - 5].

Development of efficient secure computation protocols has a great practical significance. In many real-world situations, the input of a party to the evaluated function may be too valuable or sensitive to share with other parties. Efficient 2PC algorithms enable a variety of electronic transactions, previously impossible due to mutual mistrust of participants. Huang et al. explored the use of such protocols for biometric identification [6] in security applications, when it is desirable to keep individual genetic data private but still check it against a specified list. The more general case of multiparty computation has already seen real-world use in computing market clearing prices in Denmark [7]. This is not so forth full list of applications: contract signing [8], set intersection [9], etc.

## 2. Background

In this section we briefly introduce the main cryptographic tools we have used in our framework: Yao's protocol, white-box cryptography based oblivious transfer (OT) protocol and optimization techniques for Yao's protocol used in our framework.

### 2.1. Yao's garbled circuits protocol

Yao's garbled circuit protocol [1] allows two mutually distrustful parties holding inputs  $x$  and  $y$  to evaluate an arbitrary computable function  $f(x, y)$  on their input values without leaking any side information about their inputs beyond what is explicitly implied by the function output. The main idea is that one party (often called garbled circuit generator) generates garbled version of the Boolean circuit  $C$  computing the function  $f$ , and the second party (called garbled circuit evaluator) obviously computes the garbled circuit. Note that reverse engineering techniques are not applicable to garbled circuit, thus the evaluator does not learn any intermediate value.

Suppose the generator has a Boolean circuit  $C$  computing the function  $f$ . At the first step the *generator* fixes some integer  $k$  and assigns two random looking bit strings  $w^0$  and  $w^1$  to each wire of circuit  $C$  (label  $w^b$  conceptually encodes value  $b \in \{0, 1\}$  for the wire  $w$ ). Then for the gate  $g$  having output wire  $w_k$  and input wires  $w_i, w_j$  *generator* prepares garbled table with following entries:

$$Enc_{w_i^{b_i}, w_j^{b_j}} \left( w_k^{g(b_i, b_j)} \right) \quad (1)$$

where  $Enc$  is an encryption scheme fixed by generator and evaluator. The collection of all corresponding garbled gates is called garbled circuit.

At second step the *generator* passes garbled circuit and mapping for the labels for the output wires to the *evaluator*. Note that only the *generator* knows mapping between binary input bits for input wires and he can simply send the garbled circuit to the evaluator with label  $w_i^{(x_i)}$  for input wire  $w_i$ , where  $x_i$  is the  $i$ -th bit of his input. To obtain wire labels for his input the *evaluator* runs OT protocol described next with the *generator*. The evaluation of garbled circuit is done in a hierarchical way. Given labels  $w_i$  and  $w_j$  of input wires of garbled gate  $g$  the *evaluator* decrypts the appropriate entry of garbled table using keys  $w_i$  and  $w_j$ . When labels of all output wires are computed the *evaluator* sends the function output value to the *generator* using provided mapping for output wires.

### 2.2. White-box cryptography based OT protocol

1-out-of-2 oblivious protocol (OT) is an essential part of Yao's garbled circuit protocol. It involves two parties: *sender* holding two strings  $w_0$  and  $w_1$ , and *receiver*

holding selection bit  $b$ . OT protocol allows *sender* to transmit exactly one input string  $w_b$  to *receiver*; *receiver* learns nothing about  $w_{b\oplus 1}$  and *sender* does not learn selection bit  $b$ . Currently several OT protocols are available. In our implementation we use novel white-box cryptography based OT protocol which is secure in the semi-honest setting and is introduced in [10].

### 2.3. Optimization techniques

To get more practical use of this protocol many optimizations are developed during the past decade, some of which are compatible with each other and used in our framework. Kolesnikov and Schneider [11] introduced a technique eliminating the need to garble XOR gates (XOR gates become “free”, involving no communication or cryptographic operations). Also, we use the technique proposed by Pinkas et al. [12] allowing to reduce the size of a garbled table from four to three ciphertexts, and saving 25% of network bandwidth for non-XOR gates. Another optimization to apply is the FleXOR technique by Kolesnikov et al. [13] combined with two garbled row reduction [12] instead of one. We have added this option, as two garbled row reduction and FreeXOR techniques are not compatible. The combination of optimization techniques is user configurable.

## 3. Framework components

Our implementation follows traditional development paradigms of secure computations frameworks described in [2]. Like it is done in Fairplay, our framework contains a circuit compiler generating single pass Boolean circuit from the algorithm description given in a higher level language. Popular *flex* and *bison* tools were used to generate our compiler.

### 3.1. Language description

The input of our compiler is function description on an imperative language. The syntax of the language allows writing algorithms with complicated logic without too much extra syntax. Declarations of functions are allowed, but they must be non-recursive to prevent reverse engineering by the evaluator. Arrays are also included in our language, but the elements’ count and access indices must be constants or determined at compile time. All cycles are unrolled during compilation, thus cycle variable can be used as an array index. Variables can be concatenated; bits or range of bits can be selected or may be assigned to. Also, our compiler supports all types of bitwise operations.

### 3.2. Compiler implementation description

The goal of the compiler is to generate maximum possible amount of XOR gates to gain full advantage of FreeXOR technique. All circuit blocks generated by the compiler are locally optimized to meet this requirement. To obtain best result we have



used Jegalkin polynomials [14] intensively. Addition circuit to add two unsigned integer values  $x$  and  $y$  can be efficiently composed from a chain of 1-bit full-adders. One bit full-adder produced by our compiler is presented on Fig. 1. It has input bits  $a$ ,  $b$  and  $c$ , which is carry bit (in chain of  $m$  bit full-adders  $c$  is the output carry bit of previous full-adder), and two output bits:  $c'$  is the output carry bit and  $s$  is the sum  $a \oplus b \oplus c$ .

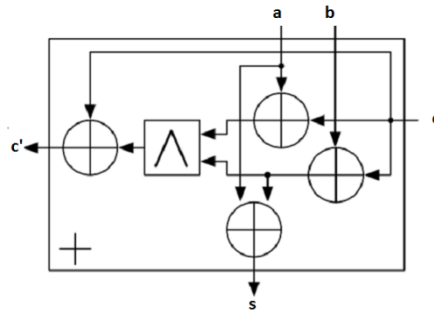


Fig. 1. One bit full adder.

Other building blocks produced by compiler are not presented here to save space for other results.

Also, our compiler can generate special types of circuits depending on sizes of operands and environment parameters. For example, when translating multiplication of two 512 bit integers Karatsuba-Ofman multiplication [15] is more likely to be used instead of the standard multiplication circuit, to produce more efficient output.

Fairplay compiler requires huge amount of computational resources to generate circuits having far less size than real world applications. The main goal of our project is to create a general purpose framework for secure computations which is open to modifications and further experiments. Thus, writing an application specific framework for circuit generation, the technique which is used in [16], is not an acceptable option for us. To resolve resource consumption problems, we have implemented a brand new compiler generating a more efficient output than Fairplay does. The file produced by our compiler, holding circuit representation has less size on disc compared to the output file generated by Fairplay.

Our compiler requires fixed amount of memory and utilizes availability of multiple CPUs. To reach these goals we have split the file writer in a separate running thread of execution and the gate generator in another one. The connection between them is done via circular queue which is instantiable without mutual exclusion.

### 3.3. Framework description

Our framework used 80 bit wire labels for garbled circuits. SHA-2 is used to generate the garbled truth-table entries. Whenever it is possible Intel Advanced Encryption Standard (AES) New Instructions (AES-NI) are used instead of SHA-2 for better utilization of all processing power of the CPU. This becomes especially important for

Intel CPUs. Before the evaluation of a Boolean circuit having  $N$  bit length input from *generator* party requires the OT protocol to be applied  $N$  times. Popular frameworks for secure computations include OT protocols which use public-key operations. Instead we make use of white-box cryptography based OT protocol, which is magnitude of order faster than other OT protocols [10], in our framework and avoid expensive public-key operations.

Both generator and evaluator parties are implemented using Message Passing Interface (MPI) library.

#### 4. Conclusion

The framework described above is a general purpose system for two-party secure computations and is secure against honest-but-curious parties. It utilizes white-box oblivious transfer protocol to achieve better performance with large input data and includes an efficient compiler to generate Boolean circuit representation of the function to be computed from higher level description. However, this is not secure against malicious attackers and providing security in that attack model is a milestone for our further developments.

#### REFERENCES

1. Yao C.-C. How to Generate and Exchange Secrets (Extended Abstract), in 27th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Toronto, 1986.
2. Malkhi D., Nisan N., Pinkas B. and Sella Y. Fairplay - Secure Two-Party Computation System, in Proceedings of the 13th USENIX Security Symposium, August 9–13, 2004.
3. Frederiksen T. K., Jakobsen T.P., Nielsen J.B., Nordholt P.S. and Orlandi C, MiniLEGO: Efficient Secure Two-Party Computation from General Assumptions., in EUROCRYPT, 2013.
4. Huang Y., Katz J. and Evans D. Quid-Pro-Quo-tocols: Strengthening Semi-honest Protocols with Dual Execution, in IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2012, 21–23 May, 2012.
5. Lindell Y. and Pinkas B. An Efficient Protocol for Secure Two-Party Computation in the Presence of Malicious Adversaries, in Advances in Cryptology–EUROCRYPT 2007, 26th Annual International, 2007.
6. Evans D., Huang Y., Katz J. and Malka L. Efficient privacy-preserving biometric identification, in Proceedings of the 17-th conference Network and Distributed System Security Symposium, NDSS, 2011.
7. Crescenzo G. Di, Private selective payment protocols, in Financial Cryptography, 2001.
8. Even S., Goldreich O. and Lempel A. A Randomized Protocol for Signing Contracts, Commun. ACM, vol. 28, no. 6. PP. 637–647, 1985.
9. Hazay C. and Lindell Y. Constructions of truly practical secure protocols using standard smartcards, in Proceedings of the 15th ACM conference on Computer and communications security, 2008.
10. Jivanyan A., Khachatryan G. and Oliynik A. Effitient Oblivious Transfer Protocols Based on White-Box Cryptography, PERSONAL COMMUNICATION.

11. *Kolesnikov V. and Schneider T.* Improved Garbled Circuit: Free XOR Gates and Applications, in Automata, Languages and Programming, 35-th International Colloquium, 2008.
12. *Pinkas B., Schneider T., Smart N.P. and Williams S.C.*, Secure Two-Party Computation Is Practical, in Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2009, 15-th International Conference, 2009.
13. *Kolesnikov V., Mohassel P. and Rosulek M.* FleXOR: Flexible garbling for XOR gates that beats free-XOR," in Advances in Cryptology–CRYPTO 2014, Springer, 2014. PP. 440–457.
14. *Zakrevskii A.* Minimal Realization of Partial Functions by Zhegalkin Polynomials, *Avtomatika i telemekhanika*, no. 5. PP. 134–140, 1996.
15. *Machhout M., Zeghid M., Youssef W.E.H., Bouallegue B., A. Baganne and Tourki R.* Efficient large numbers Karatsuba-Ofman multiplier designs for embedded systems, 2009.
16. *Huang Y., Evans D., Katz J. and Malka L.* Faster Secure Two-Party Computation Using Garbled Circuits., in USENIX Security Symposium, 2011.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ДВУМЯ УЧАСТНИКАМИ

*Д.А. Даноян, Т.В. Сохакян*

### АННОТАЦИЯ

Платформа для конфиденциальных вычислений позволяет нескольким участникам, которые не имеют доверие друг другу, вычислить значение функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  от конфиденциальных аргументов каждого участника таким образом, что бы входной аргумент каждого участника оставался тайной. В этой статье представляется реализация такой платформы для двух участников, которая использует специальный протокол забывчивой передачи, основанной на криптографии по стратегии белого ящика, которая в несколько раз эффективнее других подобных протоколов. Представленная платформа включает в себе компилятор, генерирующий булеву схему, реализующую входную функцию.

**Ключевые слова:** Конфиденциальные вычисления с двумя участниками, протокол Яо, забывчивая передача.

## ԵՐԿՈՒ ՄԱՍՆԱԿՑՈՎ ԱՆՎՏԱՆԳ ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՆԱԽՏԵՍՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱԳԻ ԻՐԱԿԱՆՑՈՒՄ

*Դ.Հ. Դանոյան, Տ.Վ. Սոխակյան*

### ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Անվտանգ հաշվարկների համակարգը թույլ է տալիս միմյանց չվստահող մի քանի մասնակիցների հաշվել  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ֆունկցիայի արժեքը գաղտնիք հանդիսացող մուտքային արգումենտներից այնպես, որ յուրաքանչյուր մասնակցի մուտքային արժեքը մնում է գաղտնի: Այս հոդվածում ներկայացված է երկու մասնակցով անվտանգ հաշվարկների համար նախատեսված համակարգի իրականացում, որը ներառում է հաշվարկվող ֆունկցիաների նկարագրման համար օգտագործվող բարձր մակարդակի

լեզու և նկարագրված ֆունկցիան իրացնող բուլյան սխեման կառուցող թարգմանիչ: Թարգմանիչը ունակ է նմանատիպ թարգմանիչների համեմատ ավելի քիչ հաշվարկային ռեսուրսների և բազմապրոցեսորային միջավայրի օգտագործմամբ կառուցել բուլյան սխեմաներ: Պլատֆորմում կիրառված են հանրային բանալիով գաղտնագրի թանկարժեք գործողությունները շրջանցող նորագույն մեթոդներ:

**Հիմնաբառեր**՝ անվտանգ հաշվարկների համակարգ, Յառլի կարգընթաց:

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

## ZONOIDS WITH AN EQUATORIAL CHARACTERIZATIONS

*R. Aramyan*

*Russian-Armenian (Slavonic) University Institute of Mathematics NAS RA  
rafikaramyan@yahoo.com*

### SUMMARY

It is known that a local equatorial characterization of zonoids does not exist. The question arises.

Is there a subclass of zonoids admitting a local equatorial characterization.

In this article was found a sufficient condition for a centrally symmetric convex body to be a zonoid. The condition has a local equatorial description. Using the condition one can define a subclass of zonoids admitting a local equatorial characterization. Also it was proved that a convex body boundary of which is an ellipsoid belongs to the class.

**Keywords:** integral geometry, convex body, zonoid, support function.

The problem of geometric characterization of zonoids was posed by W. Blaschke (this question was posed repeatedly (see [2]) for the history of the problem). W. Weil showed [7] that a local characterization of zonoids does not exist. Thus, no characterization of zonoids that involves only arbitrarily small neighborhoods of boundary points is possible. In 1977, W. Weil (see [7]) proposed the following conjecture about local equatorial characterization of zonoids. Let  $\mathbf{K} \in \mathcal{K}_o$  be an origin-symmetric convex body and assume that for any equator  $e$ , there exists a zonoid  $Z!$  and a neighborhood  $E!$  of  $S_w$  such that the boundaries of  $\mathbf{K}$  and  $Z!$  coincide at all points where the exterior unit vector belongs to  $E!$ ; then  $\mathbf{K}$  is a zonoid. Affirmative answers for even dimensions were given independently by G. Panina [5] in 1988 and Goodey and Weil [3] in 1993. Recently, in 2008 F. Nazarov, D. Ryabogin and A. Zvavitch (see [4]) showed that the answer to the conjecture in odd dimensions is negative. The following question arises. Define a subclass of zonoids admitting an equatorial characterization. Our main results are the following (see [1]). We found a new representation for the support function of a sufficiently smooth origin symmetric convex body. Using the representation we propose a sufficient condition for an origin symmetric convex body to be a zonoid. The condition has a local equatorial description. Using the condition one can define a class of convex bodies admitting an equatorial characterization. Also it was proved that ellipsoids belong to the class.

## REFERENCES

1. *Aramyan R.H.* Zonoids with an equatorial characterizations; Applications of Mathematics, [in print].
2. *Blaschke W.* Vorlesungen uber Differentialgeometrie. II. Affine Differentialgeometrie, Springer-Verlag, Berlin, 1923.
3. *Goodey P., Weil W.* Zonoids and generalizations. In Handbook of convex geometry, ed. By
4. *Gruber P. M. and Wills J.M.* North Holland, Amsterdam, (1993), 1297–326.
5. *Nazarov F., Ryabogin D., Zvavitch A.* On the local equatorial characterization of zonoids and intersection bodies. Advances in Mathematics 217(3) 2008, 1368–1380.
6. *Panina G. Yu.* The representation of an n-dimensional body in the form of a sum of (n - 1)-dimensional bodies. English transl., *Journal of Contemporary Mathematical Analysis (Armenian Academy of Sciences)*, 23, 1988, 91–103.
7. *Schneider R.* Uber eine Integralgleichung in der Theorie der konvexen Korper. Math. Nachr. 44 1970, 55–75.
8. *Weil Blaschkes W.* Problem der lokalen Charakterisierung von Zonoiden. Arch. Math., 29, 1977, 655–659.

### ЗОНОИД ДОПУСКАЮЩИЙ ЭКВАТОРИАЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ

*Р. Г. Арамян*

#### АННОТАЦИЯ

Известно, что локальной экваториальной характеристики зоноидов не существует. Возникает вопрос. Существует ли подкласс зоноидов допускающий локальную экваториальную характеристику. В этой статье найдено достаточное условие для центрально-симметричного выпуклого тела, быть зоноидом. Условие имеет локальное экваториальное описание. Используя условие можно определить подкласс зоноидов допускающий локальную экваториальную характеристику. Также было доказано, что выпуклое тело граница которого представляет собой эллипсоид относится к классу.

**Ключевые слова:** интегральная геометрия, выпуклое тело, зоноид, опорная функция.

### ԶՈՆՈՒԴ, ՈՐԸ ԹՈՒԹՅՈՒՆ ԷՆ ՏԱԼԻՍ ԳՈՏԿԱԳՐՈՒՄ ԲՆՈՒԹԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ

*Ռ. Հ. Արամյան*

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հայտնի է, որ գոնոիդի գոտկային բնութագրություն գոյություն չունի: Հարց է առաջանում՝ կա արդյոք գոնոիդների ենթադաս, որը թույլ է տալիս գոտկային բնութագրություն: Այս հոդվածում հայտնաբերվել է բավարար պայման այն բանի, որ կենտրոնական սիմետրիկ ուռուցիկ մարմինը լինի գոնոիդ: Այդ պայմանը ունի գոտկային բնութագրություն: Օգտագործելով պայմանը, սահմանվում է գոնոիդների ենթադաս, որը թույլ է տալիս գոտկային բնութագրություն: Նաև ապացուցեց, որ էլիպսոիդը պատկանում է այդ դասին:

**Հիմնաբառեր**՝ ինտեգրալ երկրաչափություն, ուռուցիկ մարմին, գոնոիդ, հենաֆունկցիա:

## NON-IDEMPOTENT PLONKA FUNCTIONS

*D. Davidova*

*Russian-Armenian (Slavonic) University  
di.davidova@yandex.ru*

### SUMMARY

In [1] was introduced the concepts of p-function and of direct sum of algebras with l.u.b.-property. And was proven that there is a bijective correspondence between every p-function of algebra and its representation as a direct sum of algebras with l.u.b.-property. In this work are introduced concepts of a weakly idempotent Plonka function and a weakly Plonka sum, establish a correspondence between these objects, and bring examples of weakly idempotent Plonka functions.

**Keywords:** Non-idempotent Plonka function, weakly Plonka sum, regular identity

### Introduction

**Definition 1.** An algebra  $U = (U; \Sigma)$  is called a weakly Plonka sum of its subalgebra  $(U_i; \Sigma)$ , where  $i \in I$ , if the following conditions are valid (cf. [1] - [3]):

$U = (U; \Sigma)$

i)  $U_i \cap U_j = \emptyset$ , for all  $i, j \in I$ ,  $i \neq j$ ;

ii)  $U = \bigcup_{i \in I} U_i$ ;

iii) On the set of indices  $I$  there exists a relation  $\leq$  such that  $(I; \leq)$  is an upper semilattice with the following properties;

iv) If  $i \leq j$ , then there exists a homomorphism  $\varphi_{i,j}: U_i \rightarrow U_j$ , where  $\varphi_{i,k} \circ \varphi_{k,j} = \varphi_{i,j}$ , for  $i \leq j \leq k$  and  $\varphi_{i,i}(x) = F(x, \dots, x)$  for any  $F \in \Sigma$  and  $x \in U_i$ ;

v)  $A \in \Sigma$  and for all  $x_1, \dots, x_n \in U$  the following equality is valid:

$$A(x_1, \dots, x_n) = A(\varphi_{i_1, i_0}(x_1), \dots, \varphi_{i_n, i_0}(x_n)),$$

where the arity  $|A| = n$ ,  $x_1 \in U_{i_1}, \dots, x_n \in U_{i_n}$ ,  $i_1, \dots, i_n \in I$ ,  $i_0 = \sup\{i_1, \dots, i_n\}$ .

If an algebra  $U = (U; \Sigma)$  is a weakly Plonka sum of its subalgebras  $(U_i; \Sigma)$ , where  $i \in I$ , then we write  $U = \text{Sum}(U_i)$ .

Let  $L_U = \{|A| \mid A \in \Sigma\}$  be an arithmetic type of an algebra  $U$ . The identity  $\sigma_1 = \sigma_2$  of an algebra is said to be regular, if the set of variables occurring in  $\sigma_1$  is

equal to the set of variable occurring in  $\sigma_2$ .

**Theorem 1.** Algebra  $U = (U; \Sigma)$  is a weakly Plonka sum of its subalgebras  $(U_i; \Sigma)$ , where  $i \in I$  and  $|I| \geq 2$ . Then in the algebra  $Sum(U_i)$  are satisfied all regular identities that satisfied in each algebra  $(U_i; \Sigma)$  and moreover, every other equation is false in  $(U_i; \Sigma)$ .

**Definition 2.** Let  $U = (U; \Sigma)$  be algebra. The binary operation  $f : U \rightarrow U \times U$  is called a non-idempotent Plonka function of  $U$ , if it satisfies the following identities (cf. [1–3]):

1.  $f(f(x, f(y, z))) = f(x, f(y, z))$ ;
2.  $f(x, x) = F_t(x, \dots, x)$ , for any operation  $F_t \in \Sigma$ ;
3.  $f(x, f(y, z)) = f(x, f(z, y))$ ;
4.  $f(F_t(x_1, \dots, x_{n(t)}), y) = F_t(f(x_1, y), \dots, f(x_{n(t)}, y))$ , for any operation  $F_t \in \Sigma$ ;
5.  $f(y, F_t(x_1, \dots, x_{n(t)})) = f(y, F_t(f(y, x_1), \dots, f(y, x_{n(t)})))$ , for any operation  $F_t \in \Sigma$ ;
6.  $f(F_t(x_1, \dots, x_n), x_i) = F_t(x_1, \dots, x_{n(t)})$ , for any  $1 \leq i \leq n(t)$  and for any operation  $F_t \in \Sigma$ ;
7.  $f(F_t(x_1, \dots, x_{n(t)}), F_t(x_1, \dots, x_{n(t)})) = F_t(x_1, \dots, x_{n(t)})$ , for any operation  $F_t \in \Sigma$ ;
8.  $f(x, f(x, y)) = f(x, y)$ .

To obtain a non-idempotent Plonka function different from Plonka function one should assume that no operation of the algebra  $U$  is idempotent.

### Main Result

**Theorem 2.** Let  $U = (U; \Sigma)$  be an algebra with a non-idempotent Plonka function. Then  $U$  is a weakly Plonka sum of its subalgebras.

### Examples

1. Let  $Q = (Q; \cdot)$  be a semigroup with  $x \cdot x \cdot y = x \cdot y$ ,  $x \cdot y \cdot y = x \cdot y$  and  $x \cdot y \cdot z = x \cdot z \cdot y$  identities. The function  $f : Q \rightarrow Q \times Q$  defined as  $f(x, y) = x \cdot y$  is a non-idempotent Plonka function of  $Q$  and hence by Theorem 2,  $Q$  is a weakly Plonka sum of its subalgebras, i.e. algebras with the basic operation  $f(x, y) = x \cdot y$ .

2. Let  $Q = (Q; \cdot)$  be a semigroup with  $x \cdot x \cdot y = x \cdot y$ ,  $x \cdot y \cdot y = x \cdot y$  and  $x \cdot y \cdot z \cdot t = x \cdot z \cdot y \cdot t$  identities. Then function  $f : Q \rightarrow Q \times Q$  defined as



$f(x, y) = x \cdot y \cdot x$  is a non-idempotent Plonka function for  $Q$ . Thus, by Theorem 2,  $Q$  is a weakly Plonka sum of its subalgebras, i.e. subalgebras with the basic operations  $f(x, y) = x \cdot x$ .

#### REFERENCES

1. Plonka J. On a method of construction of abstract algebras, Fund. Math., 61, p. 183–189, 1967.
2. Plonka J. On varieties of algebras defined by identities of some special forms, Houston Journal of Mathematics, 14, PP. 253–263, 1988.
3. Plonka J., Romanowska A. Semilattice sums, Universal Algebra and Quasigroup Theory, Helderman Verlag, Berlin. PP. 123–158, 1992.

#### НЕИДЕМПОТЕНТНЫЕ ФУНКЦИИ ПЛОНКА

*Д.С. Давидова*

#### АННОТАЦИЯ

В работе [1] были введены понятия  $p$ -функции и прямой суммы алгебр с l.u.b.- свойством. Было доказано, что существует биективное соответствие между каждой  $p$ -функцией алгебры и ее представление в виде прямой суммы алгебр с l.u.b.- свойством. В настоящей работе вводятся понятия неидемпотентной функции Плонка и слабой суммы Плонка, устанавливается соответствие между этими объектами, и приводятся примеры неидемпотентных функций Плонка.

**Ключевые слова:** Неидемпотентная функция Плонка, слабая сумма Плонка, регулярные тождества

#### ՈՉԻԴԵՄՊՈՏԵՆՏ ՊԼՈՆԿԱՅԻ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐ

*Դ.Ս. Դավիդովա*

#### ԱՄՓՈՓՈՒՄ

[1] աշխատանքում ներմուծվել են  $p$ -ֆունկցիայի և հանրահաշիվների ուղիղ գումարի l.u.b.-հատկությամբ գաղափարները: Ապացուցվել է, որ այդ օբյեկտների միջև գոյություն ունի բիեկտիվ համապատասխանություն: Ներկայացրած աշխատանքում ներմուծվում են ոչ իդեմպոտենտ Պլոնկայի ֆունկցիայի և թույլ Պլոնկայի գումարի գաղափարները: Հաստատված է կապ ոչ իդեմպոտենտ Պլոնկայի ֆունկցիաների և թույլ Պլոնկայի գումարների միջև:

**Հիմնաբառեր** Պլոնկայի ֆունկցիայի, թույլ Պլոնկայի գումար, ռեգուլյար նույնություններ

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО МИКРОРЕЗОНАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БЛИЖНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗАРЯЖЕННЫХ И ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР

*О.В. Багдасарян, А.В. Дарьян, Т.М. Князян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье проведено численное моделирование оптических характеристик электро-оптического датчика для измерения ближнего электрического поля различных источников электрического поля и электромагнитных волн. Датчик состоит из электрооптического микрорезонатора Фабри-Перо с многослойными диэлектрическими зеркалами, состыкованного с одномодовым оптическим волокном. Предлагаемый полностью диэлектрический датчик не искажает измеряемое внешнее электрическое поле и обеспечивает высокую чувствительность. Малые размеры электрооптического датчика позволяют проводить исследования локализации электрического поля вблизи различных заряженных и излучающих микроструктур.

**Ключевые слова:** волоконный электрооптический датчик, измерение ближнего электрического поля, электрооптический микрорезонатор Фабри-Перо, многослойные диэлектрические зеркала, численное моделирование.

### 1. Введение

Измерители электрических полей нашли широкое практическое применение в различных областях [1]. К ним относятся измерение атмосферного электричества [2], мониторинг электромагнитной обстановки [3], измерение электрических полей в электронной аппаратуре и антенные измерения [4, 5]. Важнейшей задачей при проектировании измерителя электрического поля является минимизация влияния измерительного датчика на измеряемое поле. Различные типы датчиков электрического поля, которые широко используются на практике, принципиально содержат металлические детали, что неизбежно вносит существенную, не всегда контролируемую погрешность. Использование электрооптических датчиков позволяет строить полностью диэлектрические измерители поля [5–7].

Оптические измерители поля используют эффект Поккельса, то есть линейный электрооптический эффект, который приводит к двойному лучепреломлению под действием электрического поля. В таких кристаллах как KDP (дигидрофосфат калия), DKDP (дейтерированный KDP) и ниобат лития ( $\text{LiNbO}_3$ ), наблю-

дается сильный эффект Поккельса, поэтому они широко используются в электрооптических модуляторах [8].

Изменение коэффициента преломления кристалла под действием электрического поля приводит к изменению фазового сдвига световой волны при прохождении через кристалл. Существуют приборы, в которых производится непосредственное измерение фазового сдвига с применением нерезонансных интерференционных методов [5, 9, 10].

В настоящей работе рассматривается электрооптический измеритель с датчиком на основе нелинейного резонатора. Такой датчик представляет собой микро-резонатор Фабри-Перо из электрооптического кристалла, помещенного между многослойными диэлектрическими зеркалами. Благодаря волоконно-оптической связи между датчиком и измерительным прибором искажение измеряемого электрического поля существенно ниже, чем при использовании металлических сенсоров и электрических кабелей.

Основные характеристики измерителя, такие, как: чувствительность, диапазон измерения, погрешность определяются параметрами микрорезонатора. Для определения параметров резонатора требуется исчерпывающее компьютерное моделирование, соответствующее поставленной задаче. В данной работе разработана методика компьютерного моделирования параметров микрорезонатора, на основе метода «единого выражения» (MSE) [11–13].

## 2. Конструкция и принцип действия электрооптического измерителя поля

Конструкция электрооптического измерителя электрического поля и конфигурация датчика представлены на Рис. 1.

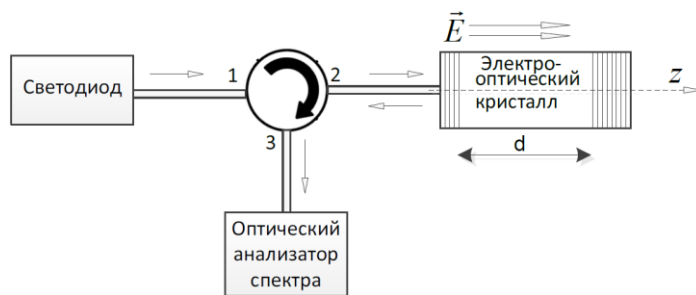


Рис 1. Конструкция электро-оптического измерителя электрического поля.

Широкополосный свет от светодиода падает на датчик через оптическое волокно и циркулятор. Последний перенаправляет отражённый от резонатора свет на оптический анализатор спектра. Датчик представляет собой отражательный резонатор Фабри-Перо с электрооптическим кристаллом.

В качестве электрооптического кристалла рассматривался ниобат лития

$\text{LiNbO}_3$ . Известно, что зависимость изменения коэффициента преломления от приложенного поля для данного кристалла имеет вид  $\Delta n = n^3 r_{33} E / 2$ , где  $n = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{4.5}$  – значение коэффициента преломления в отсутствие внешнего поля, при оптической длине волны  $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$ . Величина  $r_{33}$  – электрооптический коэффициент, равный для данного кристалла  $r_{33} = 30,8 \cdot 10^{-12} \text{м/В}$  [14]. Знак изменения коэффициента преломления зависит от направления внешнего поля относительно оси кристалла [8].

Многослойные диэлектрические отражатели представляют собой чередующиеся пары четвертьволновых слоев с отличающимися коэффициентами преломления. Они обеспечивают высокий коэффициент отражения, необходимый для образования резонатора. Для определения оптических свойств резонатора было проведено численное моделирование методом «единого выражения» (МЕВ) [11–13].

### 3. Численное моделирование отражательного микрорезонатора из $\text{LiNbO}_3$

Для комплексной амплитуды  $\dot{E}_x(z)$  электрической компоненты линейно поляризованной волны из уравнений Максвелла получается уравнение Гельмгольца:

$$\frac{d^2 \dot{E}_x(z)}{dz^2} + k_0^2 \tilde{\varepsilon}(z) \dot{E}_x(z) = 0, \quad (1)$$

где  $k_0 = \omega / c$  – константа распространения волны в свободном пространстве, а  $\tilde{\varepsilon}(z) = \varepsilon'(z) + j\varepsilon''(z)$  – комплексная диэлектрическая проницаемость среды.

Численное моделирование проводилось методом единого выражения (МЕВ). Сущность МЕВ заключается в том, что общее решение уравнения Гельмгольца для комплексной амплитуды ищется в виде:

$$\dot{E}_x(z) = U(z) \cdot \exp(-jS(z)), \quad (2)$$

а не в традиционной форме суммы встречных волн. Здесь  $U(z)$  и  $S(z)$  – вещественные величины, описывающие распределение по оси  $z$ , соответственно, амплитуды и фазы. Подстановка выражения (2) в уравнение Гельмгольца (1) приводит к системе трёх дифференциальных уравнений относительно амплитуды  $U(z)$  электрического поля волны, ее пространственной производной  $Y(z)$  и величины  $P(z)$ , пропорциональной плотности потока энергии (вектору Пойнтинга) в среде [11–13]. Система уравнений интегрируется численно, начиная с неосвещенной стороны многослойной среды, где имеется только уходящая волна. Начальные данные для интегрирования получаются из граничных условий на неосвещенной стороне многослойной среды. Численное интегрирование ведется пошагово к освещенной стороне многослойной среды. На каждом шаге интегрирования учитывается значение диэлектрической постоянной в текущей координате. В процессе интегрирования записываются значения всех переменных

$U(z)$ ,  $Y(z)$  и  $P(z)$ . Из граничных условий на освещённой стороне структуры восстанавливаются амплитуды падающей  $E_{пад}$  и отраженной  $E_{отр}$  волн. Вычисления заканчиваются определением коэффициентов отражения  $R$  и прохождения  $T$  по мощности.

Электромагнитное моделирование было проведено для микрорезонатора, структура которого изображена на Рис.1. Профиль диэлектрической проницаемости и распределение амплитуды волны приведены на Рис. 2.

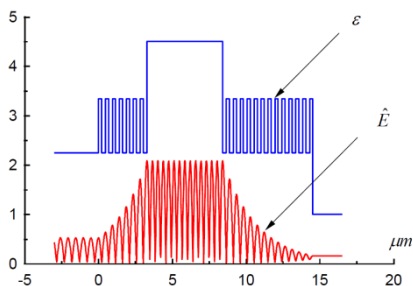


Рис 2. Профиль диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  и распределение амплитуды волны  $\hat{E}$  в резонаторе толщиной кристалла  $d=5,115\mu\text{м}$ .

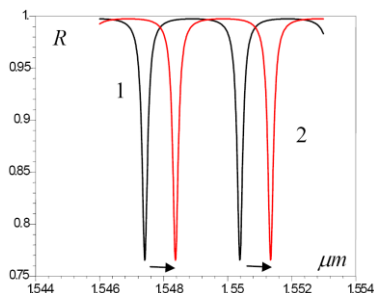


Рис 3. Спектры отражения: 1 – в отсутствие внешнего электрического поля  $\varepsilon = 4,5$ , 2 – под действием внешнего электрического поля  $\varepsilon = 4.505$ .

С целью наглядности на Рис. 2 приведены результаты моделирования для толщины электрооптического слоя около 5 мкм. В этом случае хорошо видны осцилляции амплитуды вдоль оси  $z$ . При моделировании реальной структуры толщина  $d=200\mu\text{м}$ . Внутреннее поле, при этом, имеет аналогичное распределение, однако со значительно бóльшим числом осцилляций в кристалле. Отражатели состоят из пар четвертьволновых слоев  $\text{SiO}_2/\text{N-LASF9}$  с диэлектрическими проницаемостями, соответственно, 2,25 и 3,34 и толщинами 258 нм и 212 нм. Число пар слоев для отражателя с высоким отражением равно 13, а для слабо отражающего 7. При измерении ось  $z$  кристалла должна быть направлена вдоль измеряемого поля.

Для моделирования влияния электрического поля на спектр отражения, невозмущенное значение диэлектрической проницаемости  $\text{LiNbO}_3$  было взято равным  $\varepsilon = 4.5$ , а измененное значение  $\varepsilon = 4.505$ . Такое изменение диэлектрической проницаемости соответствует внешнему полю порядка 1кВ/см., направленному по оси  $z$  кристалла. Как видно из рисунка 3, при таком направлении поля спектральные линии сдвигаются вправо. При изменении направления внешнего поля против оси  $z$ , диэлектрическая проницаемость убывает, и спектр сдвигается влево.

Моделирование позволяет оптимизировать параметры многослойных отражателей и толщины кристалла с целью получения требуемых параметров измерителя. Полученные результаты будут полезны при проектировании и реализа-

ции полностью диэлектрических измерителей электрического поля для применения в атмосферных, антенных и других измерениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков С.В. Физические основы измерения параметров электрических полей: Монография Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. 111 с.
2. Bennett I.A., Harrison R. Variability in surface atmospheric electric field measurements. *Journal of Physics: Conference Series*, 142 (2008), 012046.
3. Довбыш В.Н. и др. Электромагнитный мониторинг энергетических систем // Академия Энергетики. №1 (09), 2006. СС. 4–7.
4. Yang K. et al. Electro-optic mapping of near-field distributions in integrated microwave circuits. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 1998, 46. PP. 2338–2343.
5. Togo H. et al. Optical Fiber Electric Field Sensor for Antenna Measurement. *NTT Technical Review*, 7 (2009). PP. 1–6.
6. Allil R.C.S.B., Werneck M.M. Optical High-Voltage Sensor Based on Fiber Bragg Grating and PZT Piezoelectric Ceramics. *IEEE Trans. Instrument. Measur.*, 60 (2011). PP. 2118–2125.
7. Miki M. et al. Electric fields near triggered lightning channels measured with Pockels sensors. *Journal Geophys. Resear.*, 107 (2002). PP. 1–11.
8. Nishihara H., Haruna M., Suhara T. *Optical Integrated Circuits*. McGraw-Hill Book Company, 1989.
9. Forber R. et al. Dielectric EM Field Probes for HPM Test & Evaluation. *Annual ITEA Technology Review*, August 7–0, Cambridge, MA. Non-Intrusive Instrument. Technol. (2006), PP. 1–6.
10. Pan F. et al. An Optical AC Voltage Sensor Based on the Transverse Pockels Effect. *Sensors*, 11 (2011). PP. 6593–6602.
11. Baghdasaryan H., Daryan A., Knyazyan T., Nikolaos K. Modelling of nonlinear enhanced performance Fabry-Perot interferometer filter, *Microwave and Optical Technology Letters*, 14 (1997). PP.105–108.
12. Baghdasaryan H., Knyazyan T. Problem of Plane EM Wave Self-action in Multilayer Structure: an Exact Solution, *Optical and Quantum Electronics*, 31 (1999). PP. 1059–1072.
13. Baghdasaryan H. Basics of the Method of Single Expression: New Approach for Solving Boundary Problems in Classical Electrodynamics. Monograph: Chartaraget, Yerevan, (2013), 164 p.
14. Cohen D. et al. High-Q Microphotonic electro-optic modulator, *Solids-State Electron.*, 45 (2001), PP. 1577–1589.

**NUMERICAL MODELLING OF FIBER OPTICAL SENSOR BASED ON ELECTRO-OPTICAL MICRORESONATOR FOR NEAR ELECTRIC FIELD MEASUREMENT OF CHARGED AND EMITTING STRUCTURES**

*H. Baghdasaryan, A. Daryan, T. Knyazyan*

**SUMMARY**

In the work numerical modelling of optical characteristics of an electro-optical sensor for measurement of near electric field of different sources of electrical field and electromagnetic waves. The sensor consists of an electro-optical Fabry-Perot micro-resonator with multilayer dielectric mirrors butt-joined with single-mode optical fiber. The suggested all-dielectric sensor does not distort external electric field and ensures high sensitivity. Small sizes of the electro-optical sensor will permit to carry out analyses of electric field localization near different charged and emitting microstructures.

**Keywords:** fiber electro-optical sensor, near electric field measurement, electro-optical Fabry-Perot micro-resonator, multilayer dielectric mirrors, numerical modelling.

**ԷԼԵԿՏՐՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԻԿՐՈՌԵԶՈՆԱՏՈՐԻ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ ՍԱՆՐԱԹԵԼԱՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՏՎԻՉԻ ԹՎԱՅԻՆ ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԼԻՑՔԱՎՈՐՎԱԾ և ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՂ ԱՐՔՑՈՒՐՆԵՐԻ ՍՈՏԻԿ ԷԼԵԿՏՐՕՊՏԻԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

*Հ. Վ. Բաղդասարյան, Ա. Վ. Դարյան, Տ.Մ. Կնյազյան*

**ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Աշխատանքում կատարված է էլեկտրաօպտիկական տվիչի օպտիկական բնութագրերի թվային մոդելավորում էլեկտրական դաշտի և էլեկտրամագնիսական ալիքների տարբեր աղբյուրների մոտիկ էլեկտրական դաշտի չափման համար: Տվիչը բաղկացած է բազմաշերտ դիէլեկտրիկ հայելիներով էլեկտրաօպտիկական Ֆաբրի-Պերո միկրոռեզոնատորից, որը հարակցված է միամոդ օպտիկական մանրաթելի հետ: Առաջարկվող լրիվ դիէլեկտրիկ տվիչը չի աղավաղում չափվող արտաքին էլեկտրական դաշտը և ապահովում է մեծ զգայունություն: Էլեկտրաօպտիկական տվիչի փոքր չափսերը թույլ կտան իրականացնել էլեկտրական դաշտի տեղակայման հետազոտություններ տարբեր լիցքավորված և ճառագայթող միկրոկառուցվածքների մոտակայքում:

**Հիմնաբառեր՝** մանրաթելային էլեկտրաօպտիկական տվիչ, մոտիկ էլեկտրական դաշտի չափում, Ֆաբրի-Պերո էլեկտրաօպտիկական միկրոռեզոնատոր, բազմաշերտ դիէլեկտրիկ հայելիներ, թվային մոդելավորում:

## АДИАБАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КВАНТОВЫХ ШТРИХОВ

*Д.А. Багдасарян, Э.М. Казарян,  
Д.Б. Айрапетян, А.А. Саркисян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрена задача об особенностях энергетического спектра электрона в квантовых штрихах. Геометрически квантовый штрих может быть аппроксимирован в виде параллелепипеда или усеченной призмы. На основе адиабатического приближения были найдены энергетический спектр и огибающие волновые функции квантового штриха, имеющего форму усеченной призмы. Показана возможность «визуализации» пифагоровых троек.

**Ключевые слова:** квантовый штрих, адиабатическое приближение.

### Введение

Квантовые точки (КТ) являются наиболее удобными системами с точки зрения управления их энергетическим спектром [1]. Современные прецизионные методы выращивания КТ позволили реализовать сферические, цилиндрические, линзообразные, эллипсоидальные, кольцеобразные и т.д. КТ (см. например [2–3]). Сравнительно недавно были реализованы КТ, имеющие форму сильно вытянутой усеченной призмы, так называемые квантовые штрихи (quantum dash) [4–5]. Так, авторы [4] сообщали о реализации квантовых штрихов из InAs, при этом, ими были обнаружены узкие эмиссионные линии, связанные с образованием электронно-дырочной пары в отдельно взятом квантовом штрихе. Проблема описания поведения носителей заряда в этих системах обсуждалась в [5], где авторы, на основе предложенной теоретической модели квантового штриха, исследовали их оптические свойства и показали удачное совпадение теоретических расчетов с результатами эксперимента. Примечательно, что квантовый штрих аппроксимировался сильно сплюснутой усеченной призмой, а также не учитывались эффекты механического напряжения.

В предлагаемой работе исследованы электронные состояния и межзонное оптическое поглощение в квантовом штрихе имеющем форму усеченной призмы малой высоты.

### Теория

Рассмотрим квантовую точку из InAs с формой усеченной призмы, одна сторона которой намного меньше, чем две другие (Рис. 1).  $L_3 \ll \{L_1, L_2\}$ . Рассмотрим движение частицы (электрона, дырки) квантовом штрихе, имеющем форму усеченной призмы.



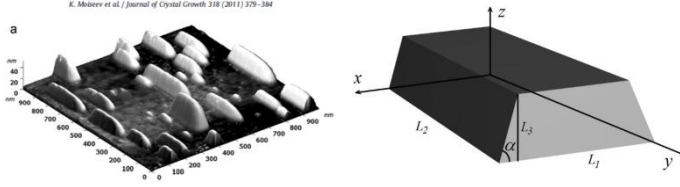


Рис. 1 Геометрия квантового штриха

Обозначая эффективную массу электрона в направлении  $oZ$  через  $\mu_z$  и  $\mu$  в  $XY$  плоскости, мы можем записать уравнение Шредингера в декартовых координатах:

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2\mu} \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) - \frac{\hbar^2}{2\mu_z} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + V_{Conf}(x, y, z) \right\} \Psi(x, y, z) = E\Psi(x, y, z). \quad (1)$$

Предположим, что призма является непроницаемой, поэтому для потенциал ограничения частицы (электрона, дырки) в декартовых координатах может быть представлена в виде:

$$V_{Conf}(x, y, z) = \begin{cases} 0, \vec{r} \in \Omega^{(3)} \\ \infty, \vec{r} \notin \Omega^{(3)} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\Omega^{(3)}$  – область квантовой точки. Из геометрической формы КТ следует, что движение частицы вдоль оси  $z$  происходит быстрее, чем в плоскости, перпендикулярной к ней. Это позволяет использовать адиабатическое приближение [6], согласно которому полный гамильтониан системы может быть представлен в виде суммы гамильтонианов «быстрой» ( $\hat{H}_1$ ) и медленной ( $\hat{H}_2$ ) подсистем. В безразмерных величинах (все длины измеряется в эффективных радиусах Бора электрона  $a_e = \frac{\hbar^2 \varepsilon}{m_e^* e^2}$ , где  $m_e^*$  – эффективная масса электрона,  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала КТ, запишем:

$$\hat{H} = \hat{H}_1 + \hat{H}_2 + V_{Conf}(x, y, z), \quad \hat{H}_1 = -\frac{\mu}{\mu_z} \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad \hat{H}_2 = -\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (3)$$

Здесь  $\hat{H} = H / E_R$  энергия измеряется в эффективных энергиях ридберга  $E_R = \frac{m_e^* e^4}{2\hbar^2 \varepsilon^2}$ . При фиксированном значении координаты  $x$  медленной подсистемы движение частицы локализовано в одномерной квантовой яме с эффективной шириной  $L_3(x)$

$$L_3(x) = \begin{cases} xt g \alpha, & x \in [0, x_1] \\ L_3, & x \in [x_1, x_2], \\ L_3 - (x - x_2) t g \alpha, & x \in [x_2, L_1] \end{cases} \quad (4)$$

где  $x_1 = L_3 / t g \alpha$ ,  $x_2 = L_1 - x_1$ . Из решения уравнения Шредингера для быстрой подсистемы для энергетического спектра частицы получаем:

$$\varepsilon_{fast} = \frac{\pi^2 n^2}{L_3^2(x)}. \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой эффективный потенциал для уравнения Шредингера медленной подсистемы. Как мы видим, этот потенциал зависит только от  $x$  это означает, что в волновая функция и спектр энергии в направлении  $y$  имеют вид:

$$\Psi_{n_y}(y) = \sqrt{\frac{2}{L_2}} \sin \frac{\pi n_y}{L_2} y, \quad \varepsilon_y = \frac{\pi^2 n_y^2}{L_2^2}$$

Поэтому мы будем решать уравнение Шредингера в направлении  $x$  с эффективным потенциалом (5). Для того чтобы найти значение энергии, эта проблема должна быть решена в трех регионах, а затем решения в каждом регионе должны быть сшиты. Решения в каждом регионе могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} \psi_I &= A_1 \sqrt{x} J_{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n_z^2}{t g^2 \alpha}}}(\sqrt{\varepsilon_x} x) + B_1 \sqrt{x} Y_{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n_z^2}{t g^2 \alpha}}}(\sqrt{\varepsilon_x} x), \quad x \in [0, x_1] \\ \psi_{II} &= A_2 \exp\left(x \sqrt{-\varepsilon_x + \frac{\pi^2 n_z^2}{L_3^2}}\right) + B_2 \exp\left(-x \sqrt{-\varepsilon_x + \frac{\pi^2 n_z^2}{L_3^2}}\right), \quad x \in [x_1, x_2] \\ \psi_{III} &= A_3 \sqrt{L_1 - x} J_{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n_z^2}{t g^2 \alpha}}}(\sqrt{\varepsilon_x} (L_1 - x)) + \\ &+ B_3 \sqrt{L_1 - x} Y_{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n_z^2}{t g^2 \alpha}}}(\sqrt{\varepsilon_x} (L_1 - x)), \quad x \in [x_2, L_1] \end{aligned}$$

Таким образом, мы должны найти коэффициенты с помощью условия непрерывности функций  $\psi_{I,II,III}$  и их производных. Решая трансцендентное уравнение, мы можем получить значение энергии  $\varepsilon_x$ .

### Результаты и обсуждения.

Зависимость одноэлектронной энергии в усеченной призме в зависимости от угла раствора призмы была изучена (Рис 2а). Как можно видеть из Рис.2а,

энергия монотонно уменьшается с увеличением угла раствора призмы и для  $\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}$  асимптотически стремится к энергии параллелепипеда.

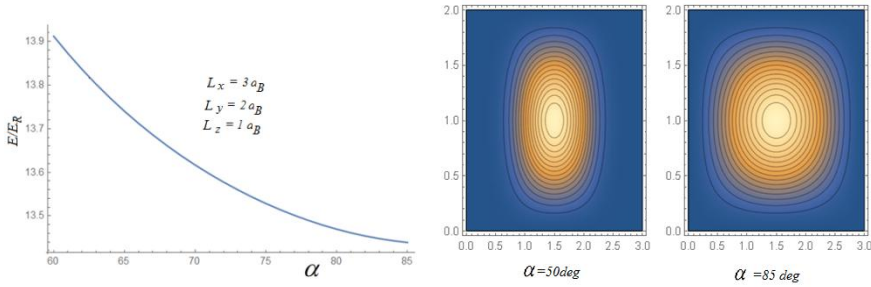


Рис. 2 Зависимость одноэлектронной энергии от угла раствора призмы, б - плотность вероятности электрона в плоскости  $XOY$  ( $z = 0$ ) для разных значений угла.

Как можно видеть из Рис. 2б, с уменьшением угла призмы происходит следующее: вероятность возрастает в центральной области и уменьшается в области, близкой к стенкам. Это связано с сильным отталкиванием стенок.

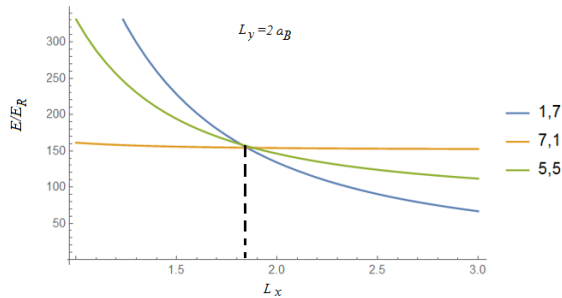


Рис. 3 зависимость энергии для трех состояний  $E_{7,1}, E_{1,7}, E_{5,5}$  в зависимости от  $L_x$  при фиксированных  $L_y$  и  $L_z$

Как было показано, что в квантовом штрихе в форме параллелепипеда помимо двух-кратного вырожденных уровней есть семейство трижды вырожденных уровней. В данном случае, как это видно из Рис. 3, имеет место также сближение кривых зависимостей энергии (трехкратное вырождение), однако не в случае квадратного сечения, т.е.  $L_x = L_y$ , а в случае некоторого соотношения сторон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Chakraborty T.* Quantum Dots: A survey of the properties of artificial atoms. Elsevier, Amsterdam (1999).
2. *Aboulaich A. et al.,* ACS applied materials & interfaces 6 (2013) 252.
3. *Arsoski V., Tadić M., and Peeters F.* Physical Review B 87 (2013) 085314.
4. *Moiseev K. et al,* Journal of Crystal Growth 318 (2011) 379.

5. *Moiseev K. et al. Journal of Crystal Growth 414 (2015) 177.*

6. *Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике, М.: «Наука», 1992.*

## ADIABATIC DESCRIPTION OF QUANTUM DASHES

*D. Baghdasaryan, E. Kazaryan, D. Hayrapetyan, H. Sarkisyan*

### SUMMARY

The features of the electron energy spectrum in quantum dash have been considered. The shape of quantum dashes can be approximated as a parallelepiped or truncated prism. On the basis of the adiabatic approximation the energy spectrum and the envelope wave functions of the truncated prism shaped quantum dash have been found. The possibility of "visualization" Pythagorean triples have been demonstrated.

**Keywords:** quantum dash, adiabatic approximation.

### ՔՎԱՆՏԱՑԻՆ ԳԾԵՐԻ ԱՂԻԱԲԱՏԻԿ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

*Դ. Ա. Բաղդասարյան, Է. Մ. Դազարյան, Դ. Բ. Հայրապետյան, Հ. Ա. Մարգարյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Դիտարկվել են էլեկտրոնի էներգետիկ սպեկտրի առանձնահատկությունները քվանտային գծերում: Քվանտային գծերը կարող են մոտարկվել որպես զուգահեռանիստ կամ կտրված պրիզմա: Աղիաբատ մոտարկման հիման վրա հաշվարկվել են էներգետիկ սպեկտրը եւ ալիքային ֆունկցիաները կտրված պրիզմա ձև ունեցող քվանտային գծում: Ցույց է տրվել հնարավորություն Պյութագորասի եռյակները «վիզուալիզացնելու» այսպիսի նանոկառուցվածքներում:

**Հիմնաբառեր**՝ քվանտային գիծ, աղիաբատ մոտավորություն:

# ПОГЛОЩЕНИЕ СВОБОДНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ В ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЕ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ НА ТРЕХМЕРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ФОНОНАХ

*А.О. Геворгян, Э.М. Казарян, А.А. Костанян*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены внутривибрационные переходы, обусловленные поглощением света в параболической квантовой яме с учетом рассеяния на трехмерных акустических фононах. Получено аналитическое выражение для коэффициента поглощения с учетом одного типа процессов – с первоначальным поглощением фотона и с дальнейшим рассеянием на акустическом фоне. Для коэффициента поглощения исследованы частотные характеристики и зависимость от ширины квантовой ямы.

**Ключевые слова:** внутривибрационные переходы, параболическая квантовая яма, акустический фон.

## 1. Введение

Прямое поглощение света свободными носителями невозможно, т.к. это противоречит законам сохранения энергии и импульса. Наличие фононов, примесей и других дефектов решетки делают возможным поглощение света, т.к. рассеивание на третьей частице обеспечивает изменение импульса. Благодаря этому, поглощение свободными носителями (ПСН) является одним из эффективных инструментов для выявления и оценки механизмов рассеивания. ПСН было рассмотрено в *объемных* полупроводниках в рамках второго порядка теории возмущений с учетом различных механизмов рассеивания [1], в том числе и на колебаниях решетки [2].

Естественно, что интерес вызывает рассмотрение ПСН в низкоразмерных структурах. Вследствие размерного квантования (например, в одном направлении в квантовых ямах), возникают энергетические подзоны, что делает возможным переходы как внутри одной подзоны (внутриподзональные переходы), так и между подзонами (межподзональные переходы) [3].

Внутриподзональные переходы в квантовых ямах (КЯ) вызывают большой интерес, благодаря своим уникальным характеристикам: большого дипольного момента, ультра-быстрой релаксации, большой возможностью настройки длин волн переходов [4–6]. Это важно не только с точки зрения фундаментальной физики, но и разработки новых технологических приложений [7–9].

Одним из первых теоретических работ, посвященных поглощению света свободными носителями в квантово-размерных структурах, являются работы Казаряна и др. [10, 11], где в рамках второго порядка теории возмущений получены частотные зависимости коэффициента поглощения света невырожденным электронным газом в полупроводниковых пленках (КЯ) и проволоках (квантовые проволоки) [12–14].

С другой стороны, возникает необходимость создать более реалистичную модель ограничивающего потенциала с учетом физико-химических свойств и геометрии структуры. Первые формируют форму потенциального барьера, а вторая – симметрию гамильтониана. Применялись различные модели ограничивающего потенциала для низкоразмерных систем [15–17]. В первом приближении потенциал ограничения можно аппроксимировать параболическим. В дальнейшем предполагается, что ограничивающий потенциал КЯ имеет вид:

$$V_{conf}(z) = \frac{m^* \omega_0^2 z^2}{2}, \quad (1)$$

где  $m^*$  – эффективная масса электрона,  $\omega_0$  – частота ограничивающего потенциала КЯ, определяемая с помощью вириальной теоремы, согласно соотношению

$$\omega_0 = \frac{\gamma \hbar}{m^* a^2}, \quad (2)$$

где  $a$  – ширина КЯ,  $\gamma$  – некоторый подгоночный параметр

## 2. Теория

Расчеты проводятся на основе стандартной теории квантовых переходов, согласно общей формуле:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\varepsilon}}{cN} \sum_i P_i f_i, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая постоянная,  $N$  – количество фотонов, падающих на КЯ в единицу времени на единицу площади,  $c$  – скорость света,  $f_i$  – функция распределения заряда,  $P_i$  – скорость переходов (число переходов в единицу времени).

Выражение для  $P_i$  во втором порядке теории возмущений имеет вид [20]:

$$P_i = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_f \left| \sum_m \frac{|M_{im}^V| |M_{mf}^J|}{\varepsilon_i - \varepsilon_m + \hbar\omega} \right|^2 \delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega \pm \hbar\omega_q), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_i$  – энергия первоначального состояния,  $\varepsilon_f$  – энергия конечного состояния,  $\varepsilon_m$  – энергия промежуточного состояния,  $M_{im}^V$  – матричный элемент, обусловленный поглощением фотона,  $M_{mf}^J$  – матричный элемент, обусловленный рассеянием на трехмерных акустических фононах. В направлении  $z$  электрон находится в параболической КЯ, а в плоскости  $(x, y)$  имеется двумерная трансляционная симметрия.

Предполагается, что на КЯ падает линейно-поляризованный свет, причем мы не конкретизируем угол, под которым падает свет. Отметим лишь, что если хотим

получить внутриволновые переходы, то должны потребовать, чтобы свет не падал параллельно на плоскость КЯ (электрический вектор поляризации падающего света не был перпендикулярен плоскости КЯ), а для получения межволновых переходов необходимо обратное [3]. Это равносильно тому, что компонента вектора поляризации имела отличную от нуля  $x, y$  компоненту  $E_{x,y} \neq 0$ .

В данной работе рассматриваются переходы с первоначальным поглощением света (рис. 1, переходу  $i \rightarrow m$ ) и дальнейшим поглощением (Рис. 1, переходу  $m \rightarrow f$ ) или испусканием (Рис. 1, переходу  $m \rightarrow f'$ ) акустического фонона.

Общий вид волновой функции:

$$|\varphi\rangle = \sqrt{\frac{1}{S}} \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} \left(\frac{\gamma}{\pi a^2}\right)^{1/4} e^{ik_{||}\rho} e^{-\frac{\gamma z^2}{2a^2}} H_n\left(\frac{\sqrt{\gamma}z}{a}\right), \quad (5)$$

где  $a$  – ширина КЯ,  $S$  – площадь ее поверхности,  $H_n$  – полиномы Эрмита.

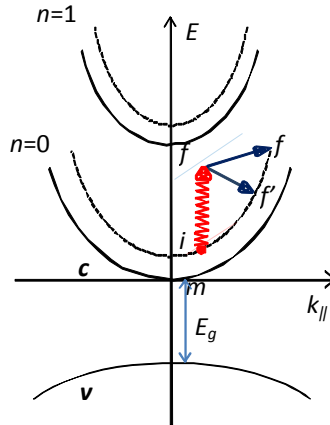


Рис. 1. Энергетическая диаграмма переходов.

Энергетический спектр имеет вид:

$$\begin{aligned} E_i &= \frac{\hbar^2 k_i^2}{2m^*} + \frac{\hbar\omega_{osc}}{2}; & E_m &= \frac{\hbar^2 k_m^2}{2m^*} + \frac{\hbar\omega_{osc}}{2} + \hbar\omega; \\ E_f &= \frac{\hbar^2 k_f^2}{2m^*} + \frac{\hbar\omega_{osc}}{2}, & \hbar\omega_{osc} &= \frac{\gamma\hbar^2}{m^* a^2} \end{aligned}, \quad (6)$$

где  $\hbar\omega$  – энергия фотона,  $\hbar\omega_q$  – энергия акустического фонона. С учетом вида волновой функции матричный элемент поглощения фотона имеет вид:

$$\begin{aligned}
M_{im}^v &= \langle \varphi_m | H' | \varphi_i \rangle = \\
&= \frac{1}{aS} \sqrt{\frac{1}{\pi}} \int e^{-i\vec{k}_m \vec{\rho}} e^{-z^2/2a} H_m(z/a) \left[ \frac{e}{mc} (\vec{A} \vec{p}) \right] e^{i\vec{k}_i \vec{\rho}} e^{-z^2/2a} H_i(z/a) d\vec{r} = \quad (7) \\
&= \frac{2\pi^2 \sqrt{2\pi}}{S} \hat{e}_{k_i} \delta_{k_i^m k_i} \left( \frac{i\hbar e}{mc} \right) \frac{c}{\tilde{n}} \frac{\hbar^2}{\sqrt{\hbar\omega}}.
\end{aligned}$$

Для расчета матричного элемента рассеяния на трехмерных акустических фононах считаем, что имеем дело с фактически упругим механизмом рассеяния. Из закона сохранения энергии и импульса, принимая во внимание (ур. (6)), для волнового вектора электрона имеем:

$$|\vec{k}| = \frac{1}{\cos \theta} \left( \pm \frac{m^* \omega_q}{\hbar q} - \frac{q}{2} + \frac{m^* \omega}{\hbar q} \right), \quad (8)$$

где  $\vec{k}$  – волновой вектор электрона до рассеяния,  $\vec{k}'$  – волновой вектор электрона после рассеяния на колебания решетки,  $\theta$  – угол рассеяния (угол между  $(\vec{k}$  и  $\vec{k}')$ ),  $q = |\vec{k} - \vec{k}'|$  – модуль разности волновых векторов электрона до и после рассеяния.

Из (ур. 8) следует, что волновой вектор электрона может принимать минимальное и максимальное значения  $(|\vec{k}|_{\min}$  и  $|\vec{k}|_{\max})$ , которое зависит от угла рассеяния:  $|\vec{k}|_{\min} = \left( \pm \frac{m^* \omega_q}{\hbar q} - \frac{q}{2} + \frac{m^* \omega}{\hbar q} \right)$  и  $|\vec{k}|_{\max} = \infty$ .

Рассеивание на трехмерных акустических фононах считается фактически упругим. Матрица рассеяния на трехмерных акустических фононах дается [19]

$$\langle |M_{mf}^{3D}|^2 \rangle = \langle \varphi_f | H^{ph} | \varphi_m \rangle^2 = \frac{\hbar \omega_q D^2}{2c_l} \left( N_q + \frac{1}{2} \mp \frac{1}{2} \right) = \frac{k_B T D^2}{2c_l} \quad (9)$$

для обоих процессов: испускания или же поглощения фононов. где  $D$  – является постоянной деформационного потенциала, а  $c_l$  – продольная упругая постоянная.

Отметим, что из линейности дисперсионного соотношения для акустических фононов следует, что матрица рассеяния (9) не зависит от вектора рассеяния.

$H^{ph}$  – гамильтониан рассеяния на акустических фононах,  $N_q$  – функция распределения акустических фононов (функция распределения Бозе–Эйнштейна):

$$N_q = \frac{1}{\exp(\hbar \omega_q / k_B T) - 1} \sim \frac{k_B T}{\hbar \omega_q} \gg 1. \quad (10)$$

Учитывается тот факт, что энергия акустического фонона намного меньше, чем тепловая энергия (исключая низкие температуры).



Для расчета коэффициента поглощения (см. ур.(4)) в случае первоначально-го поглощения фотона и вторичного рассеяния используем выражение [18]:

$$\alpha(\omega) = \frac{1}{N \cdot (c/\tilde{n})} \left( \frac{2S}{(2\pi)^2} \right)^2 \int d^2\vec{k} d^2\vec{k}' \times \left( \frac{2\pi}{\hbar} \frac{|M_{im}^v|^2 |M_{mf}^j|^2}{(\varepsilon_i - \varepsilon_m + \hbar\omega)^2} \delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega \pm \hbar\omega_q) \right) f(k)[1 - f(k')], \quad (11)$$

где  $f(k)$  и  $f(k')$  – вероятность заполнения начального и конечного состояния, соответственно, (распределение Ферми-Дирака),  $N$  – количество падающих фотонов на единичную площадь (рассматривается однофотонное поглощение),  $\tilde{n}$  – коэффициент преломления света в среде.

Ограничимся рассмотрением невырожденного электронного газа с температурой  $T$ , пренебрегая  $f(k')$  (т.е.  $f(k') = 0$ ); для  $f(k)$  возьмем функцию распределения Больцмана:

$$f(k) = \frac{n_e}{N_c} e^{-\frac{E}{k_B T}} = \frac{n_e}{2a} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{m^* k_B T} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_i}{k_B T}}, \quad (12)$$

где  $n_e$  – концентрация свободных электронов.

При подстановке выражений матричных элементов (7), (9) в (11) и с учетом вида функции распределения (12) для коэффициента поглощения получим следующее выражение:

$$\alpha(\omega) = C \left( \frac{E_T D^2}{c_l} \right) \left( \frac{1}{\hbar\omega} \right)^3 \exp\left( -\frac{\hbar\omega_{osc}}{2E_T} \right), \quad (13)$$

где использованы следующие обозначения:

$$E_T = k_B T; \quad C = \frac{5\pi^4 m^* E_T^2 n_e}{274 \sqrt{\varepsilon} a \hbar^2} \left( \frac{2\pi\hbar^2}{m^* E_T} \right)^{3/2}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды,  $E_T$  – тепловая энергия системы.

### 3. Результаты

Анализ частотной зависимости коэффициента поглощения показывает зависимость  $\alpha(\omega) \sim \frac{1}{\omega^3}$ . Результаты получены для одного типа процессов – с первоначальным поглощением фотона и с дальнейшим рассеянием на трехмерный акустический фонон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Fan H.Y., Spitzer W. and Collins R.J.* Phys. Rev. 2 (1956) 101.
2. *Rosenberg R., Lax M.* Phys. Rev. 12 (1958) 843.
3. *Воробьев Л.Е.* Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах, Санкт-Петербург, СПбГТУ, 2000.
4. *Asano T., Noda S. and Sasaki A.* Physica E 2 (1998) 111–115.
5. *Paiella R.* Intersubband Transitions in Quantum Structures, McGraw-Hill Companies. PP. 137–140, 2006.
6. *Helm M.* The Basic Physics of Intersubband Transitions, Semiconductors and Semimetals 62, (2000) 1–32. PP. 73–80.
7. *F.D.P. Alves, G. Karunasiri, N. Hanson, M. Byloos, H.C. Liu, A. Bezinger, M. Buchanan,* Infrared Phys. & Technol. 50, (2007). PP. 182–186.
8. *Li S.S.* Int. Journ. of High Speed Electronics and Systems 12 (2002) 761–801.
9. *Chakraborty T. and Apalkov V.M.* Adv. Phys. 52 (2003). PP. 455–521.
10. *Казарян Э.М., Григорян В.Г., Казарян А.М.* Известия АН Арм. ССР 11 (1976). СС. 351–359.
11. *Казарян Э.М., Арамян К.С.* Известия АН Арм. ССР 11 (1976). СС. 122–127.
12. *Lee J., Spector H.N.* J. Appl. Phys., 54 (7) (1983), 3921.
13. *Bhat J.S., Kubakaddi S.S. and Mulmani B.G.* Journ. Appl. Phys. 72 (1992) 4966.
14. *Carosella F., Ndebeka-Bandou C., Ferreira R., Dupont E., Unterrainer K., Strasser G., Wacker A., Bastard and G.* Phys. Rev. B 85 (2012) 085310.
15. *Петросян Л.С.* Известия НАН Армении, Физика. 37 (2002) 173–177.
16. *Наураретян Д.В., Казарян Э.М., Петросян Л.С., Саркисян Н.А.* Physica E 66 (2015). PP. 7–12.
17. *Наураретян Д.В., Казарян Э.М., Котанжян Т.В., Тевосян Н.К.* Superlattices and Microstructures 78 (2015). PP. 40–49.
18. *Bastard G.* Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Cedex France, Les editions de Physique, 1989.
19. *Price P.J.* Ann 1981 Phys. PP. 133–217.
20. *Зеегер К.* Физика полупроводников, М., «Мир», 1977.

**FREE-CARRIER ABSORPTION IN A PARABOLIC QUANTUM WELL WITH  
CONSIDERATION OF SCATTERING ON 3D-ACOUSTIC PHONONS**

*A. Gevorgyan, E. Kazaryan, A. Kostanyan*

**SUMMARY**

Intrasubband transitions caused by light absorption in a parabolic quantum well is considered taking into account the scattering by 3D-acoustic phonon. An analytical expression for the absorption coefficient is obtained based on the the initial absorption of a photon and a further scattering on acoustic phonon. Absorption coefficient frequency characteristics and dependence on the quantum well width is examined.

**Keywords:** intrasubband transitions, parabolic quantum well, acoustic phonon.

**ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՓՈՍՈՒՄ ԱԶՍԸ ԼԻՑՔԱԿԻՐՆԵՐԻ ԿՈՂՄԻՑ ԼՈՒՑՄԻ ԿԼԱՆՈՒՄԸ՝  
ԵՌԱԶՍՓ ԱԿՈՒՍՏԻԿ ՖՈՆՈՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ՑՐՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ**

*Ա.Հ. Գևորգյան, Է.Մ. Ղազարյան, Ա.Ա. Կոստանյան*

**ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Դիտարկված են ներենթագոտիական անցումները պարաբոլական քվանտային փոսում հաշվի առնելով ցրումները եռաչափ ակուստիկ ֆոնոնների վրա: Կլանման գործակցի համար ստացված է վերլուծական արտահայտություն հաշվի առնելով միայն մեկ տիպի անցումները՝ ֆոտոնի առաջնային կլանումով և հետագա ցրումով ակուստիկ ֆոնոնի վրա: Կլանման գործակցի համար հետազոտվել է հաճախային բնութագիրը և կախվածությունը քվանտային փոսի լայնությունից:

**Հիմնաբառեր՝** ներենթագոտիական անցումներ, պարաբոլական քվանտային փոս, ակուստիկ ֆոնոններ:

# CHARACTERIZATION OF CDS THIN FILMS DEPOSITED BY VACUUM FLASH EVAPORATION TECHNIQUE

*L. Hakhoyan*

*Russian-Armenian (Slavonic) University,  
hakhlev@mail.ru*

## SUMMARY

For deposition of CdS thin films was used a vacuum flash evaporation technique. XRD results have shown that all CdS films deposited at substrate temperatures of 100<sup>0</sup>C, 200<sup>0</sup>C and 300<sup>0</sup>C exhibit a predominant sharp peak at  $2\theta$  around 26.5<sup>0</sup> which can be assigned to the (002) plane of hexagonal structure. It was found that the intensities of diffraction peak (002) increase with a decrease of the substrate temperature. Average grain size calculated from XRD results is about 30 nm and weakly depends on the substrate temperature. After 30min annealing at 400<sup>0</sup>C the intensity of all these peaks increased considerably and at the same time average grain size growth on 5–10%. Profiler results and AFM studies have shown that the roughness and morphology of the CdS thin films surfaces vary insignificantly with the variation of substrate and annealing temperature.

The transmission and reflection spectrum of CdS thin films measured in the spectral range 400–1000nm. The results of optical measurements have shown that the optical bandgap 2.42eV (which corresponds to the bulk CdS crystal) have films as-deposited at substrate temperatures of 200<sup>0</sup>C and 300<sup>0</sup>C. After annealing the bandgap values were changed negligible.

**Keywords:** cadmium sulfide (CdS), thin-film, solar cell, vacuum flash evaporation technique.

## 1. Introduction

Cadmium sulfide (CdS) is a common material used in the formation of solar cells based on cadmium telluride (CdTe) and CuInGaSe<sub>2</sub> (CIGS). In such solar devices n-type CdS thin-film acts as optical window due to high band gap energy  $E_g=2.42\text{eV}$ . For solar cells application CdS films have to have relatively high conductivity to reduce electrical losses of solar cells, thin thickness to provide high transmission and good uniformity in order to prevent electrical short-circuit effect. The structural, optical and electrical properties of CdS thin films strongly depend on the applied technique and the substrate temperature [1]. Different techniques have been reported for the deposition of CdS thin films namely: vacuum evaporation [2], spray pyrolysis [3], electro-deposition [4] and chemical bath deposition [5]. Among these techniques the vacuum evaporation technique is applicable for formation of solar cells on flexible polyimide substrate. Replacing the glass substrate to a flexible substrate reduces the weight of thin film solar cells by 98%. Such solar cells are very promising for application on spacecraft so far as they have high ratio of electric power to weight. Flexible

solar cells represent also of interest in the market for the terrestrial applications as they can easily be mounted on the surface of various shapes.

For fabrication of solar cell on flexible substrates it is necessary to use low-temperature film deposition techniques because polyimide substrates do not allow heating more than 450°C. As such techniques the most promising is the flash evaporation technique. This technique is most applicable for deposition of multicomponent thin films because provides the stoichiometric composition of deposited films.

The aim of this work was to study the structural and optical characteristics of the CdS thin films deposited on the glass substrates by flash evaporation technique. This technique is also called the method of discrete evaporation.

## 2. Experimental details

Thin films of CdS were fabricated by flash evaporation technique on commercial glass slides used as substrate with thickness 1 mm and diameter 20 mm.

Distinguishing feature of this method is that the small particles of multicomponent alloy (in our case it is CdS binary semiconductor) whose constituents (Cd and S) have different vapor pressures fall from vibrator into the preheated boat and at each moment in the boat there are particles with different temperatures which are at different stages of evaporation. The presence of large quantity of particles in the boat which are at different stages of evaporation provides at the average the same fluxes of evaporated constituents (Cd and S) and provides the stoichiometric composition of deposited film with pinpoint accuracy.

The film thickness and the duration of deposition were typically 200–300 nm and 20–40 min. The CdS films were deposited at substrate temperatures of 100°C, 200°C and 300°C. As-deposited films were annealed at 400°C during 30 min in vacuum. The structural properties of samples were studied by X-ray diffractometer URD-6 in the  $\theta$ - $2\theta$  mode using Cu - K $\alpha$  ( $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ ) radiation. The surface morphology and roughness of CdS films were investigated by ZYGO profiler and by atomic force microscopy (AFM) type NEXT supplied by NT-MDT Inc. Transmittance and reflectance, over the wavelength from 400 to 1000 nm were measured using double beam Filmetrics F20 spectrophotometer.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Structural properties of as-deposited and annealed CdS thin films

Fig. 1 shows the X-ray diffraction patterns of as-deposited (red chart) and annealed (blue chart) CdS thin films deposited by flash evaporation technique on a glass substrate. XRD analyses showed that the CdS films were polycrystalline. Both as-deposited and annealed CdS films exhibit a predominant sharp peak at  $2\theta$  around 26.5° which can be assigned to either the (002) plane in the case of hexagonal structure [JCPDS card no: 41–1049] or the (111) plane in the case of cubic structure [JCPDS

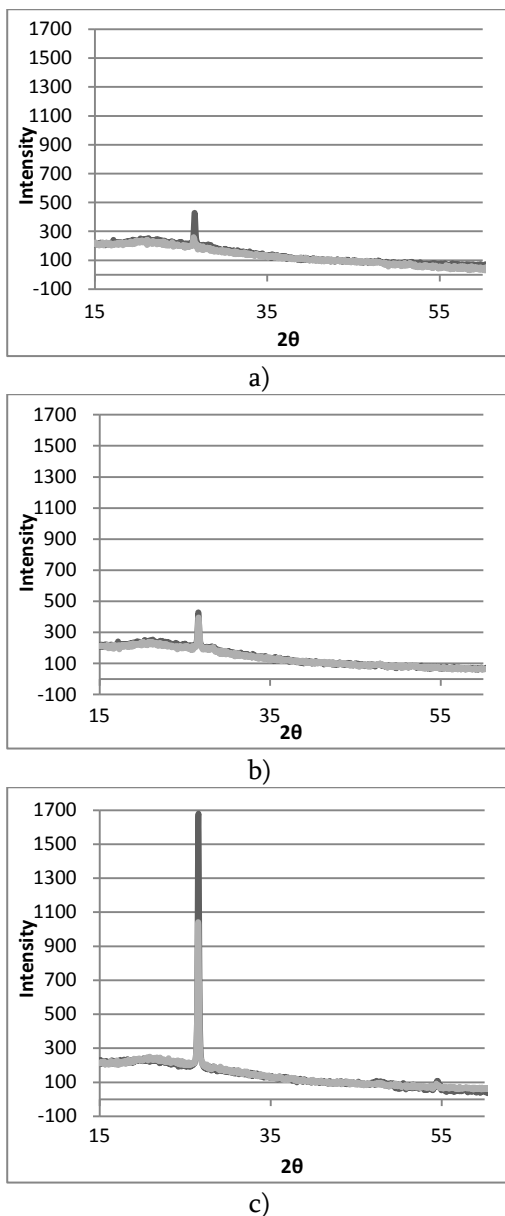


Fig. 1. XRD patterns of CdS films as-deposited (grey chart) at substrate temperature: a) 300°C, b) 200°C, c) 100°C and after annealed at 400°C during 30 min (black chart)

card no: 10–0454]. The exact interpretation of XRD patterns it is quite difficult because most peaks of cubic and hexagonal CdS structure differ negligible within in the very small angle. The summary of XRD data of as-deposited CdS thin films at different substrate temperature are presented in Table 1. In Table 2 are presented the summary of XRD data after annealing.

It is seen from Table 1 that observed interplanar spacing- $d$  and diffraction peaks in the XRD patterns when  $2\theta = 26.518^\circ$  (substrate temperature  $100^\circ\text{C}$ ),  $2\theta = 26.591^\circ$ ,  $2\theta = 51.577^\circ$  (substrate temperature  $200^\circ\text{C}$ ),  $2\theta = 26.473^\circ$ ,  $2\theta = 51.546^\circ$  (substrate temperature  $300^\circ\text{C}$ ) correspond with reflection from the crystal planes (002), (112) of CdS hexagonal structure, which agrees well with standard XRD patterns (JCPDS card no: 41–1049).

After annealing, as can be seen from Table 2 the structure of the deposited films clearly changed. After annealing the peaks around  $2\theta = 51^\circ$  (for CdS films as-deposited at  $200^\circ\text{C}$  and  $300^\circ\text{C}$ ) disappeared and the predominant sharp peaks at  $2\theta$  around  $26.5^\circ$  drastically have increased (Fig. 1, blue charts).

The average grain sizes ( $D$ ) of the film was calculated using the Scherrer's equation [6]:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

where  $\lambda$  is the wavelength of the X-ray used ( $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ ),  $\beta$  is the full-width at half-maximum (FWHM) of the (002) peak which has maximum intensity, and  $(\theta)$  is the Bragg's angle.

### 3.2. Optical properties of as-deposited and annealed CdS thin films

Using transmittance ( $T$ ) and reflectance ( $R$ ) spectra the absorption coefficient has been calculated by the following equation:

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \frac{1-R}{T} \quad (2)$$

where  $t$  is the thickness of CdS film.

Above the fundamental absorption edge the dependence of the absorption coefficient on the incident photon energy is given by Tauc's model [7]:

$$\alpha \hbar\omega = B(\hbar\omega - E_g)^n \quad (3)$$

where  $\hbar\omega$  is the photon energy,  $E_g$  is the optical bandgap, and  $B$  is a constant and  $n$  is an exponent that depends on the type of optical transitions. For direct allowed transitions  $n = 1/2$ . The variation of  $(\alpha \hbar\omega)^2$  of CdS thin films deposited at different substrate temperatures as a function of photon energy are shown in Fig.2. In Fig.3 are presented the variation of  $(\alpha \hbar\omega)^2$  vs photon energy of CdS thin films after annealing.

**Table 1.** XRD data of as-deposited CdS thin films at different substrate temperatures

Substrate temperature	$2\theta$ , ( $^\circ$ )	$d$ ( $\text{\AA}$ ) observed from XRD	$d$ ( $\text{\AA}$ ) standard JCPDS	[hkl] plane	$c$ ( $\text{\AA}$ ) observed values	$c$ ( $\text{\AA}$ ) standard JCPDS
T=100 $^\circ\text{C}$	26.518	3.3614	3.3567	002	6.7228	6.7134
T=200 $^\circ\text{C}$	26.591	3.3523	3.3567	002	6.7046	6.7134
	51.577	1.7721	1,761	112	x	x
T=300 $^\circ\text{C}$	26.473	3.3670	3.3567	002	6.734	6.7134
	51.546	1.7731	1,761	112	x	x

**Table 2.** XRD data of CdS thin films deposited at different substrate temperatures after annealing

Substrate temperature	$2\theta$ , ( $^\circ$ )	d ( $\text{\AA}$ ) observed from XRD	d ( $\text{\AA}$ ) standard JCPDS	[hkl] plane	c( $\text{\AA}$ ) observed values	c( $\text{\AA}$ ) standard JCPDS
T=100 $^\circ$ C	26.541	3.3585	3.3567	002	6.7170	6.7134
T=200 $^\circ$ C	26.579	3.3537	3.3567	002	6.7074	6.7134
T=300 $^\circ$ C	26.524	3.3607	3.3567	002	6.7214	6.7134

Using the liner extrapolation method the value of the optical bandgap for as-deposited CdS thin films is determined to be 2.39, 2.42 and 2.42 eV for 100 $^\circ$ C, 200 $^\circ$ C and 300 $^\circ$ C, accordingly. After annealing the optical bandgap is changed insignificantly and became 2.38, 2.40 and 2.40eV, accordingly. The results of measurements have shown that the CdS thin film deposited at 200 $^\circ$ C and 300 $^\circ$ C have the same optical bandgap as the bulk of CdS crystal  $E_g = 2.42$  eV.

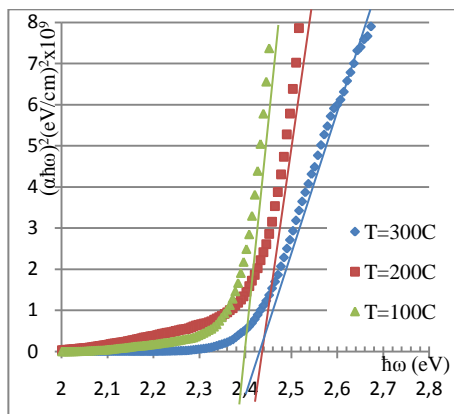


Fig.2. Plots of  $(\alpha\hbar\omega)^2$  vs. photon energy ( $\hbar\omega$ ) of CdS thin films deposited at 100 $^\circ$ C, 200 $^\circ$ C and 300 $^\circ$ C substrate temperatures

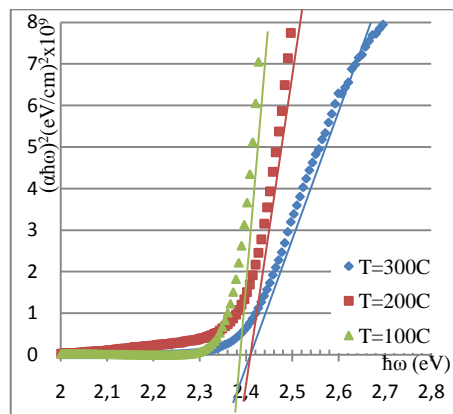


Fig.3. Plots of  $(\alpha\hbar\omega)^2$  vs. photon energy ( $\hbar\omega$ ) of CdS thin films deposited at 100 $^\circ$ C, 200 $^\circ$ C and 300 $^\circ$ C substrate temperatures after annealing at 400 $^\circ$ C during 30min in vacuum

### 3.3. Morphological properties of as-deposited and annealed CdS thin films.

Fig. 4 shows typical 1,5 $\mu\text{m}$  x 1,5 $\mu\text{m}$  AFM images of CdS films deposited on a glass substrate by flash evaporation technique. For statistics a few AFM images of different sites of the surface of each sample were investigated. Profiler results and AFM images show that the morphology and roughness of the surface weakly depends on the substrate temperature. A typical AFM image for annealed CdS thin film is presented in Fig.4.



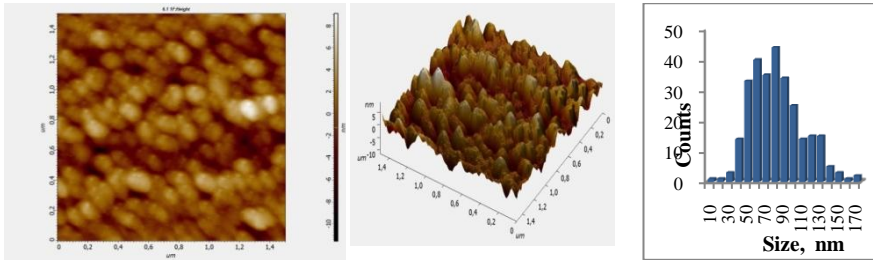


Fig.4. A typical AFM images and the distribution of grain size of CdS thin films deposited on a glass substrate at 100°C after annealing

## Conclusion

The structural, morphological and optical properties of the CdS thin films deposited on glass substrate at different temperatures (100°C, 200°C and 300°C) by vacuum flash evaporation technique have been investigated. The annealing effect on these properties has also been investigated. XRD results showed that both all of as-deposited at different temperatures and annealed CdS thin films were polycrystalline, have hexagonal structure and exhibit a predominant sharp (002) peak at  $2\theta$  around  $26.5^\circ$ . It is found that the intensities of diffraction peak (002) increase with a decrease of the substrate temperature. After annealing the peak at  $2\theta = 51^\circ$  (for CdS films as-deposited at 200°C and 300°C) disappeared and the predominant sharp peaks at  $2\theta = 26.5^\circ$  increased.

The results of optical measurements have shown that CdS thin films deposited at 100°C have 2.39 eV bandgap and 2.42 eV bandgap have films deposited at 200°C and 300°C. This value of bandgap (2.42 eV) corresponds to the bandgap of CdS bulk crystal. These values of bandgap after annealing slightly decreased from 2.39 eV to 2.38 eV and from 2.42 eV to 2.40 eV.

As showed the AFM images and profiler measurements the roughness of the CdS films is 5–8 nm and weakly depends on both substrate temperature and annealing.

## REFERENCES

1. Hewing G.H., Bloss W.H. *Thin Solid Films*, 45,1 (1977).
2. Senthil K., Mangalaraj D., KNarayandass Sa, Adachi S. *Mater Sci Eng* 2000; B78:53–8.
3. Baykul M.C., Balcioglu A. *Microelectron Eng.* 51, (2000), 703.
4. Nishino J., Chatani S., Uotani Y., Nosaka Y., *Electroanal J. Chem.* 473 (1999) 217.
5. Moualkva H., Hariech S., Aida M.S. *Thin Solid Films* 2009; 518: 1259–62.
6. Cullity B.D. *Elements of X-ray diffraction*. Reading, MA: Addison-Wesley; 1972. P.102.
7. Tauc J., Grigorov R. and Vanco A. *Physica Status Solidi* 15, 627 (1966).

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА КАДМИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ

*Л.А. Ахоян*

### АННОТАЦИЯ

Для получения тонких пленок CdS использовался метод вакуумного дискретного испарения. Рентгеновские исследования показали, что у пленок полученных при температурах подложки 100°C, 200°C и 300°C наблюдается резкий пик при  $2\theta \approx 26.5^\circ$ , который может быть отнесен к плоскости (002) гексагональной структуры. Было обнаружено, что интенсивность дифракционного пика (002) увеличивается с уменьшением температуры подложки. Из рентгеновских измерений был рассчитан средний размер зерна, который составляет около 30 нм и слабо зависит от температуры подложки. Установлено, что после 30 мин отжига при 400°C интенсивность всех этих пиков значительно возрастает и в то же время средний размер зерна увеличивается на 5–10%. Исследования профилометром и атомным-силовым микроскопом показали, что шероховатость и морфология поверхности полученных тонких пленок незначительно зависят от отжига и температуры подложки.

Измерения спектровпропускания и отражения пленок CdS проводились в диапазоне длин волн 400–1000 нм. Оптическая ширина запрещенной зоны рассчитывалась путем экстраполяции линейной части графика зависимости  $(\alpha h\nu)^2$  от энергии фотона ( $h\nu$ ). Результаты оптических измерений показали, что пленки, полученные при температурах подложки 200°C и 300°C, имеют ширину, запрещенной зоны 2.42eV, что соответствует объемному кристаллу CdS.

**Ключевые слова:** сульфид кадмия (CdS), тонкая пленка, солнечный элемент, метод вакуумного дискретного испарения

## ՎԱԿՈՒՄԱՅԻՆԴԻՍԿՐԵՏՓՈՇԵՑՐՄԱՆԵՂԱՆԱԿՈՎՍՍԱՑՎԱԾԿԱՐԿՄԻՈՒՄԻՍՈՒ ԼՏԻՂԻԲԱՐԱԿԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻԲՆՈՒԹԱԳՐԵԴԻՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

*Լ. Ա. Հախոյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

CdS թաղանթների ստացման համար օգտագործվել է վակուումային դիսկրետ փոշեցրման մեթոդը: Ռենտգենյան հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 100°C, 200°C և 300°C ջերմաստիճանային պայմաններում ստացված CdS թաղանթների մոտ  $2\theta \approx 26.5^\circ$  արժեքի դեպքում դիտվում է սուր ընդգծված պիկ, որը վերագրվում է թաղանթների հեքսագոնալ կառուցվածքի (002) բյուրեղական հարթությանը: Տակդիրի ջերմաստիճանի նվազեցման դեպքում դիտվում է (002) դիֆրակցիոն պիկի ինտենսիվության աճ: Ռենտգենյան հետազոտությունների ցուցանիշները ցույց են տվել, որ մասնիկների միջին չափսը մոտ 30 նմ է և թույլ կախվածություն ունի տակդիրի ջերմաստիճանից: Հայտնաբերվել է, որ 400°C ջերմաստիճանում 30 րոպե ջերմամ շակումից հետո բոլոր այս պիկերին տեսնելիքությունները զգալիորեն աճել են և միաժամանակ նվազել են մասնիկների միջին չափսի աճ 5–10%-ով: Պրոֆիլո-

մետրով և ատոմա-ուժային մանրադիտակով կատարված հետազոտությունները վկայում են, որ տակդիրի ջերմաստիճանի փոփոխությունը և ջերմամ շակումը շատ աննշան ազդեցություն ունեն մակերևույթի անհարթությունների և մորֆոլոգիայի վրա:

CdS թաղանթների անդրադարձման և բացթողման սպեկտրները չափվել են 400–1000 նմ միջակայքում: Օպտիկական արգելված գոտու լայնույթը որոշվել է  $(\alpha h\nu)^2$  մեծության ֆոտոնի էներգիայից ( $h\nu$ ) կախվածության գրաֆիկի գծային մասի էքստրապոլյացիայի միջոցով: Օպտիկական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 200°C և 300°C ջերմաստիճանային պայմաններում ստացված CdS թաղանթները ունեն 2.42էվ արգելված գոտու լայնույթ, որը համապատասխանում է մասիվ CdS բյուրեղին:

**Հիմնաբառեր՝** կադմիումիսուլֆիդ (CdS), բարակթաղանթ, արեգակնային էլեմենտ, վակուումային դիսկրետ փոշեցրման մեթոդ

**ՊՐՈՖԼԵՄԱՅԻՆ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒՄԸ  
ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐ-ՊԱՐԱԴՈՔՍՆԵՐԻ  
ԱՌԱԶԱԴՐՄԱՆ ԵՎ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ**

*Ս.Ս. Մայիլյան, Գ.Ա. Մամվեյան*

*Հայ-Ռուսական համալսարան  
sos.mailyan@mail.ru*

**ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Հոդվածում փորձ է արված հիմնավորել, որ պրոբլեմային ուսուցման կազմակերպմանը, այսինքն՝ դասի ընթացքում պրոբլեմային իրավիճակի ստեղծմանը նպատակահարմար է հասնել ֆիզիկական խնդիրների, մասնավորապես՝ խնդիր-պարադոքսների միջոցով: Որպես ուսուցչի կողմից ձևակերպված պրոբլեմ ներկայացված է հարաբերականության տեսության հայտնի՝ երկվորյակների պարադոքսը, և ցույց է տրված, թե ինչպես կարելի է լուծել այն աշակերտների ներգրավմամբ:

**Հիմնաբառեր**՝ պրոբլեմ, պրոբլեմային ուսուցում, պրոբլեմային իրավիճակ, հարաբերականություն, հաշվարկման ինտերցիալ համակարգ:

**1. Ներածություն. ի՞նչ է պրոբլեմային ուսուցումը**

Անժխտելի է, որ ներկայումս հայաստանյան մանկավարժական գիտության և դպրոցական կրթական համակարգի առջև դրված է բարդագույն խնդիր. ինչպե՞ս բարձրացնել ուսուցման գործընթացի արդյունավետությունը գիտական և գիտատեխնիկական տեղեկատվական հոսքի պայմաններում: Այդ խնդիրն իր ողջ սրությամբ ծառայել է նաև ֆիզիկայի ուսուցման մեթոդիկայի առջև: Եվ որպեսզի աշակերտը, դպրոցն ավարտելով, կարողանա «ընթանալ» ժամանակին համաքայլ, նա պետք է խորությամբ յուրացնի արդի ֆիզիկայի կարևորագույն գաղափարները՝ ինքնուրույնաբար և կանոնավոր կերպով լրացնելով իր գիտելիքները և, որ շատ կարևոր է, կարողանա ստեղծագործաբար օգտվել այդ գիտելիքներից:

Այս խնդիրը լուծելու համար բարեփոխվել և նորացվել է ֆիզիկայի դպրոցական ծրագիրը, և այդ խորագրին համապատասխան՝ ստեղծվել են VII-XII դասարանների ֆիզիկայի նոր դասագրքեր՝ նոր և նորացված բովանդակային «պարունակությամբ», ինչը խթանում է աշակերտների իմացական գործունեությունը, զարգացնում նրանց մտածողությունը և ունակությունները: Այդուհանդերձ կարծում ենք, որ միայն բարեփոխված դասագիրքն անհրաժեշտ, բայց դեռևս բավարար չէ նշված նպատակին հասնելու համար. կարևոր են նաև ուսուցման այն մեթոդները, որոնցով մատուցվում է դասագրքի բովանդակությունը: Այս կամ այն մեթոդն ընտրելիս հարկավոր է հաշ-

վի առնել աշակերտների տարիքային առանձնահատկությունները՝ մանավանդ ավագ դպրոցում, ինքնուրույն դատողություններ անելու նրանց ձգտումը, գիտելիքների մակարդակը:

Վերջին տասնամյակներին, այդ կապակցությամբ, մեծ հույսեր են կապում այսպես կոչված պրոբլեմային ուսուցման հետ:

Պրոբլեմային ուսուցումը աշակերտների մտածողական գործունեությանը և ընդունակությունների զարգացմանը նպաստող ուսուցման մեթոդ է, որը կիրառվում է աշակերտների ու սումնական աշխատանքի բոլոր հիմնական տեսակներում: Պրոբլեմային ուսուցման հիմքում ընկած են ամենատարբեր ուսումնական պրոբլեմներ, որոնք որևէ առաջադրանք, հարց կամ խնդիր են, որոնց լուծմանը ակտիվորեն մասնակցում են բոլոր աշակերտները: Վերջիններս ուսուցչի անմիջական մասնակցությամբ կամ ինքնուրույնաբար հետազոտում են պրոբլեմի էությունը, որոնում նրա լուծման ուղիները և եղանակները:

Ներկայացվող հոդվածում «բեմադրված» է պրոբլեմային դաս, ընդ որում, պրոբլեմն առաջադրում է ուսուցիչը, իսկ լուծումը որոնում և գտնում են աշակերտները՝ ուսուցչի հուշող հարցերի օգնությամբ: Որպեսզի դասն ավելի արդյունավետ ստացվի և աշակերտների ուշադրությունը սևեռվի դեպի պրոբլեմը, վերջինս ներկայացրել ենք խնդիր-պարադոքսի տեսքով: Դասն ներկայացման սցենարը, որը վերցրել ենք հարաբերականության հատուկ տեսությունից, կոչվում է «Երկվորյակների պարադոքսը»: Սցենարում ուսուցչի փոխարեն հանդես է գալիս Գիտունիկը, իսկ աշակերտների հավաքական կերպարը ներկայացնում է Անգետիկը:

## 2. Ժամանակի դանդաղման երևույթը

Նախքան երկվորյակների պարադոքսին անցնելը, Գիտունիկն Անգետիկին հիշեցնում է նախորդ դասի թեման, որը վերաբերում էր ժամանակի դանդաղման երևույթին:

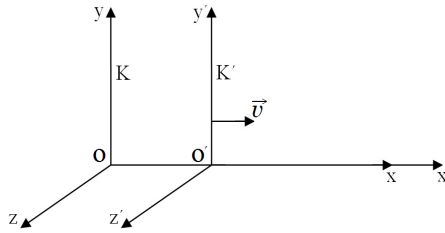
Գրատախտակին գծապատկերելով անշարժ (K) և շարժվող (K') հաշվարկման իներցիալ համակարգերը (նկ. 1)՝ Գիտունիկը գրում է ժամանակի դանդաղման բանաձևը [1]

$$\tau' = \frac{\tau}{\gamma} : \quad (1)$$

Անգետիկ. Գիտունիկ, կարո՞ղ ես ինձ հիշեցնել բանաձևում գրված տառերի ֆիզիկական իմաստները:

Գիտունիկ. Բնարկե: (1) բանաձևում  $\tau'$ -ը K' համակարգում կատարվող որևէ պրոցեսի տևողությունն է ըստ K' համակարգի O' սկզբնակետում տեղադրված ժամացույցի, իսկ  $\tau$ -ն՝ այդ նույն պրոցեսի տևողությունը ըստ K համակարգի O սկզբնակետում տեղադրված ժամացույցի:  $v$ -ն K' համակարգի արագությունն է K-ի նկատմամբ. Ենթադրում ենք, որ  $v$ -ն քիչ է տարբեր-

վում վակուումում լույսի տարածման  $c$  արագությունից. հիշեցնենք, որ  $c = 300000$  կմ/վ: Ինչ վերաբերում է  $\gamma$ -ին, ապա այն ...



Նկ. 1 անշարժ (K) և շարժվող (K') հաշվարկման իներցիալ համակարգեր

Ա. ...անվանում են ռելյատիվիստական կամ լորենցյան գործակից, որը հավասար է՝

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} : \tag{2}$$

Կարելի է ասել, որ լորենցյան գործակիցը ֆունկցիա է արագությունից՝  $\gamma = \gamma(v)$  :

Նախորդ դասին մենք հաշվել էինք այդ ֆունկցիայի մի շարք արժեքներ և ամփոփել աղյուսակում:

(Անգետիկը գրատախտակին ներկայացնում է  $\gamma(v)$  ֆունկցիայի մի քանի արժեքներ ամփոփող աղյուսակը:)

Աղյուսակ 1.  $\gamma(v)$  ֆունկցիայի արժեքների աղյուսակ

$v$	$\gamma$	$v$	$\gamma$
0	1	$0.98c = 294 \cdot 10^3$ կմ/վ	$\approx 5$
$0.6c = 180 \cdot 10^3$ կմ/վ	1,25	$0.99c = 297 \cdot 10^3$ կմ/վ	$\approx 7$
$0.8c = 240 \cdot 10^3$ կմ/վ	$5/3 \approx 1,67$	$0,995c$	$\approx 10$
$(\sqrt{3}/2)c \approx 0.87c$	2	$0,999c$	$\approx 22,4$
$0.9c = 270 \cdot 10^3$ կմ/վ	$\approx 2,3$	$0,9999c$	$\approx 71$
$0.95c = 285 \cdot 10^3$ կմ/վ	$\approx 3,2$	$0,9999c$	$\approx 224$

Ինչպես նկատելի է աղյուսակից և (2) բանաձևից,  $\gamma(v)$  ֆունկցիան աճող է, և երբ  $v \rightarrow c$  ապա  $\gamma(v) \rightarrow \infty$ :  $\gamma(v)$  ֆունկցիայի նվազագույն արժեքը 1 է: Այդ արժեքին  $\gamma(v)$  ֆունկցիան հասնում է, երբ  $v \rightarrow 0$  այսինքն՝ երբ արագությունը բավականաչափ փոքր է լույսի  $c$  արագությունից՝  $v \ll c$ : Այս վերջին դեպքում (1) բանաձևից հետևում է, որ  $\tau' = \tau$  ինչը նշանակում է, որ փոքր արագությունների դեպքում դիտարկվող պրոցեսի տևողությունը շարժվող և

անշարժ համակարգի ժամացույցներով միևնույնն է, այսինքն՝ ժամանակը  $K'$  և  $K$  համակարգերում ընթանում է միատեսակ ձևով: Եթե չեն սխալվում, այսպիսին էր ժամանակի ընթացքը Գալիլեյի և Նյուտոնի պատկերացմամբ:

Գ. Ապրես. Անգետիկ, դու գերազանցեցիր իմ բոլոր սպասելիքները: Միայն ավելացնեմ, որ եթե այն պահին, երբ  $K$  և  $K'$  համակարգերի կոորդինատները համընկելեն ( $O \equiv O'$ ) և նրանց ժամացույցները դրվել են գրոյի վրա, (1) բանաձևից հետևում է, որ

$$t' = \frac{t}{\gamma} \quad (3)$$

(3) առնչությունը նշանակում է, որ շարժվող ժամացույցի չափած ժամանակի  $t'$  պահը  $\gamma$  անգամ փոքր է ժամանակի այն  $t$  պահից, որ ցույց է տալիս անշարժ ժամացույցը:

Ամփոփելով նախորդ դասի արդյունքները, կարող ենք, այսպիսով, եզրակացնել.

– Հավասարաչափ շարժվող ժամացույցի ընթացքը դանդաղում է  $\gamma$  անգամ: Այդ դանդաղումը (ժամացույցի հետ ընկնելը) կարող է գրանցվել անշարժ սարքերի միջոցով:

– Երբ տարբեր ժամացույցներ շարժվում են միևնույն արագությամբ, ապա հետ են ընկնում միևնույն չափով, և այդ ժամացույցների հետ շարժվող սարքերը դրանց հետ ընկնելը չեն կարող գրանցել:

Եվ, վերջապես, քո հարցի պատասխանը: Քանի որ  $\gamma$  գործակիցն աճում է արագության մեծացմանը զուգընթաց, ապա, ժամացույցի արագությունը  $c$ -ին մոտենալիս, նրա ընթացքը կարող է որքան ասես դանդաղել, բայց երբեք նրա սլաքները կանգ չեն առնի. չէ՞ որ ոչ մի նյութական մարմին չի կարող շարժվել լույսի արագությամբ: Շարժվող համակարգում, այսպիսով, դանդաղում է կամայական պրոցեսի ընթացքը:

### 3. Երկվորյակների պարադոքսը

Գ. Այժմ, սիրելի Անգետիկ, կարող ենք քննարկել երկվորյակների պարադոքսը, որը ոչ այլ ինչ է, եթե ոչ մտային փորձ երկվորյակների մասնակցությամբ [2]: Ես կձևակերպեմ այդ պարադոքսը, բայց կցանկանայի, որ դու ինքդ գտնես լուծման բանալին:

Ա. Իսկ եթե չկարողանամ գտնել այդ բանալի՞ն:

Գ. Կարծում եմ, իմ օգնությամբ կկարողանաս: Դե, ուրեմն, ուշադիր լսիր ինձ:

Աննան և Մանեն երկվորյակ քույրեր են:

Պատկերացնենք՝ Աննան մնում է Երկրի վրա, իսկ Մանեն տիեզերանավով մեկնում է ճամփորդության դեպի Երկրին ամենամոտ՝ Կենտավրոսի համաստեղության Ալֆա աստղը (Պրոքսիմա), որը մեզնից 4 լուսատարի հեռավորություն ունի: (Հիշեցնենք, որ 1 լուսատարին այն հեռավորությունն է, որը

լույսն անցնում է 1 տարում՝ 1 լուսատարի =  $9,46 \cdot 10^{12}$  կմ, այնպես որ Երկրի և Պրոքսիմայի միջև հեռավորությունը մոտավորապես 38 տրիլիոն կմ է։)

Ենթադրենք՝ տիեզերանավը շարժվում է  $v = \frac{4}{5}c = 240000$  կմ/վ արագությամբ՝ Երկրին կապված  $K$  հաշվարկման համակարգի նկատմամբ ( $K$ -ն մեծ ճշտությամբ կարելի է համարել իներցիալ համակարգ, երբ նրա սկզբնակետը համընկնում է Երկրի կենտրոնի հետ)։ Ռելյատիվիստական գործակիցն այդ դեպքում՝  $\gamma = \frac{5}{3}$ ։

Քույրերից յուրաքանչյուրը ժամանակը հաշվարկում է ըստ իր ժամացույցի։ Աննան՝ ըստ երկրային ժամացույցի ( $\tau$ ), Մանեն՝ ըստ տիեզերանավի ( $\tau'$ )։

Աննայի հաշվարկմամբ Մանեի ճամփորդությունը պետք է տևի  $\tau = 10$  տարի՝ 5 տարի մինչև Պրոքսիմային հասնելը, ևս 5 տարի էլ մինչև Երկիր վերադառնալը։

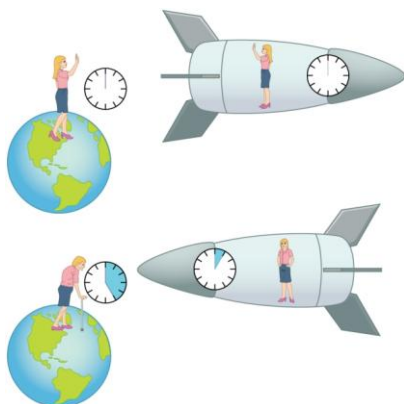
Բայց Մանեի կարծիքով ճամփորդությունը պետք է տևի ոչ թե 10 տարի, այլ ավելի պակաս։ չէ՞ որ տիեզերանավին կապված  $K'$  հաշվարկման համակարգում ժամանակը դանդաղում է, և համաձայն (1) բանաձևի՝

$$\tau' = \frac{\tau}{\gamma} \tag{4}$$

որտեղ  $\tau'$ -ը ճամփորդության տևողությունն է ըստ տիեզերանավի ժամացույցի։ Վերոգրյալ բանաձևից երևում է, որ

$$\tau' = \frac{10}{5/3} \text{ տարի} = 6 \text{ տարի} : \tag{5}$$

Նշանակում է, եթե Մանեն վերադառնա Երկիր, ապա որքան պետք է զարմանա, երբ հայտնաբերի, որ ինքը 4 տարով ավելի երիտասարդ է իր երկվորյակ քրոջից։



Նկ. 2. Երկվորյակների պարադոքսը պարզաբանող նկար



Մանեի զարմանքը միանգամայն տեղին է: Չէ՞ որ, գտնվելով տիեզերանավում, նրան թվում է, թե շարժվում է ոչ թե ինքը, այլ իր քույրը՝ Երկրի հետ միասին, հակառակ ուղղությամբ, նույն  $v = \frac{4}{5}c$  արագությամբ: Ուրեմն, պետք է դանդաղի Աննայի ժամացույցը, և ոչ թե իր, այսինքն՝ վերադարձի պահին իր ժամացույցով պետք է անցած լինի 6 տարի, իսկ Աննայի ժամացույցով՝  $\frac{6}{5}$  տարի = 3,6 տարի: Հետևաբար, Աննան պետք է

իրենից երիտասարդ լինի, այն էլ՝ 2,4 տարով:

Իրոք, ստացանք հակասություն՝ պարադոքս:

Ըստ ժամանակի դանդաղման երևույթի պետք է «դանդաղ ծերանա» շարժվող քույրը, և այդ դեպքում, իրոք, ստացվում է պարադոքսային իրավիճակ: Մի կողմից, ըստ Աննայի՝ տիեզերագնաց քույրը պետք է «դանդաղ ծերանա», քանի որ շարժվողը հենց նա է: Մյուս կողմից, ըստ տիեզերագնաց քրոջ, պետք է երիտասարդ մնա Աննան. չէ՞ որ նա՝ Աննան է շարժվում իր (տիեզերանավի) նկատմամբ:

Ա. Ես գիտեմ, թե ինչպես է հանգուցալուծվում այս պարադոքսը:

Համաձայն Այնշտայնի առաջին կանխադրույթի [3]՝ համարժեք են միայն հաշվարկման իներցիալ համակարգերը, մինչդեռ տիեզերանավին կապված հաշվարկման համակարգն իներցիալ չէ: Չէ՞ որ, օրինակ, Երկրից մեկնելիս տիեզերանավը շարժվում է արագացումով, Երկիր վերադառնալու համար տիեզերանավը պետք է հետ շրջվի, որի համար նրան դարձյալ պետք է հաղորդվի արագացում:

Արագացումով շարժման ժամանակ տիեզերանավի ժամացույցի ընթացքը պետք է դանդաղի: Այդ մասին ես կարողացել եմ մեր դպրոցի գրադարանում ձեռքս ընկած հանրամատչելի գրքում: Ճիշտ է, շատ բան այդ գրքում ինձ համար անհասկանալի էր, բայց այն, ինչ հասկացա, կարծում եմ կօգնի երկվորյակների պարադոքսը հանգուցալուծելու: Այդ գրքից ինձ համար պարզ դարձավ, որ Ալբերտ Այնշտայնը ստեղծել է նաև հարաբերականության ընդհանուր տեսություն, համաձայն որի արագացմամբ օժտված հաշվարկման համակարգը կարծես շարժվում է գրավիտացիոն դաշտով, և այդպիսի համակարգում գտնվող դիտորդը չի տարբերում՝ ինքը շարժվում է արագացումով, թե իր վրա ազդում է գրավիտացիոն ուժ: Իսկ գրավիտացիոն դաշտում կամայական ժամացույցի ընթացքը պետք է դանդաղի: Հետևաբար, արագացմամբ շարժվող հաշվարկման համակարգում ժամանակը, իրոք, դանդաղում է: Ուստի, բնականաբար, հետ կընկնի տիեզերանավի ժամացույցը, այլ կերպ ասած՝ ավելի երիտասարդ կմնա ճանապարհորդ երկվորյակը Մանեն:

Գ. Միրելի Անգետիկ, քո դատողությունները միանգամայն տրամաբանական են, բայց չես բացատրում այն փաստը, որ տուն վերադառնալիս

ավելի պակաս ծերացած է լինում ճանապարհորդ քույրը՝ Մանեն, և այն էլ 4 տարով: Չէ՞ որ, եթե արագացումն ազդում է Մանեի կենսական աճի վրա՝ դանդաղեցնելով այն, ապա մեր մտային փորձում մենք կարող ենք կարճացնել ճանապարհի այն տեղամասերը, որտեղ տիեզերանավը շարժվում է արագացմամբ, հետևաբար՝ նվազեցնել արագացումով շարժվելու ժամանակամիջոցը: Այդ դեպքում կարելի է պնդել, որ ճանապարհորդության ժամանակի մեծ մասում տիեզերանավը շարժվել է հավասարաչափ:

Ա. Բայց որպեսզի արագացումով շարժվելու ժամանակը լինի աննշան, տիեզերանավին անհրաժեշտ է հաղորդել չափազանց մեծ արագացում, ինչը կմեծացնի Մանեի կշիռը բազմապատիկ անգամ, հետևաբար արագացումով շարժվելու շատ կարճ ժամանակամիջոցում Մանեն կգտնվի գերբեռնված վիճակում. նա կարող է չդիմանալ այդ վիճակին:

Գ. Սիրելի Անգետիկ, դու հիացնում ես ինձ քո տրամաբանական պատասխաններով: Թեպետ Մանեն, իրոք, չի կարող դիմանալ սաստիկ մեծ գերբեռնվածության, այդուհանդերձ երևակայենք, թե կարող է, չէ՞ որ կարող էինք այս ինդիր-պարադոքսը դիտարկել նաև առանց Մանեի. շարժվող տիեզերանավում դանդաղում է ոչ միայն Մանեի կենսական աճի ընթացքը, այլև կամայական պրոցեսի ընթացքը:

Ա. Ես, կարծես, հասկացա. ճանապարհորդ քրոջ դանդաղ ծերացման պրոցեսը տեղի է ունենում հիմնականում հավասարաչափ շարժման ընթացքում: Եթե ճիշտ հասկացա, ժամանակի՝ արագացումով շարժմամբ պայմանավորված դանդաղումը էական ազդեցություն չունի Մանեի կենսական աճի դանդաղման վրա:

Գ. Այո, Անգետիկ, եզրակացությունդ միանգամայն ճիշտ է: Մանեի «երիտասարդացումը» տեղի է ունենում միայն ի հետևանս հավասարաչափ շարժման [4]:

Այստեղ միայն ավելացնեմ, որ թեպետ թռիչքից հետո տիեզերագնաց երկվորյակը՝ Մանեն, 4 տարով փոքր է մնացել տանն իրեն սպասող երկվորյակ քրոջից՝ Աննայից, ամենևին էլ չի նշանակում, թե նա իսկապես երիտասարդացել է 4 տարով, այլ նշանակում է, որ նա 4 տարով տեղափոխվել է դեպի ապագան և նոր պիտի ապրի իր կյանքի 4 տարին՝ արդեն երկրային ժամանակով:

Ա. Իսկ կարո՞ղ ես, Գիտունիկ, բերել իրական փորձերի օրինակներ, որոնցում «դիտելի» է ժամանակի դանդաղման երևույթը:

Գ. Իհարկե, Անգետիկ: Շարժվող ժամացույցի ընթացքի դանդաղման (ժամացույցի հետ ընկնելու) փաստը հաստատվում է բազմաթիվ դիտումների և փորձերի ժամանակ կատարված չափումներով: Բերեմ այսպիսի մի օրինակ, որը կապված է տիեզերական ճառագայթների դիտման հետ: (Տիեզերական ճառագայթներ են անվանում տիեզերքի խորքերից դեպի մեզեկող մասնիկների հոսքերը:) Մթնոլորտի վերին շերտերում՝ մի քանի տասնյակ կիլոմետր բարձրություններում, այդ ճառագայթները, բախվելով

օդի մասնիկների հետ, առաջացնում են, այսպես կոչված, երկրորդային մասնիկներ, որոնցից շատերը հասնում են Երկրի մակերևույթին և գրանցվում բարձրլեռնային գիտահետազոտական կայաններում: (Այդպիսի կայան է, օրինակ, ՀՀ-ում Արագած լեռան ծովի մակերևույթիցավելի քան 3200 մ բարձրությամբ լանջին գործող տիեզերական ճառագայթների հետազոտման կայանը, որը հիմնադրվել է հայ հռչակավոր ֆիզիկոսներ Աբրահամ Ալիխանով և Արտեմ Ալիխանյան եղբայրների ջանքերով, 1943 թվականին:)

Այդ երկրորդային մասնիկների մեջ կան, մասնավորապես, մյու-մեզոններ (մյուոններ), որոնց կյանքի տևողությունը, չափված մյուոնին ուղեկցող (այսինքն՝ մյուոնի նկատմամբ անշարժ) ժամացույցով, հավասար է՝  $\tau' = 2,2 \cdot 10^{-6}$ վ, որը մոտավորապես  $\gamma = 100$  անգամ փոքր է այն ժամանակից, որի ընթացքում մյուոնները մթնոլորտի վերին շերտերից հասնում են մինչև Երկրի մակերևույթ և գրանցվում: Մյուոնի արագությունն աննշան չափով է տարբերվում լույսի արագությունից, և եթե մյուոնին ուղեկցող ժամացույցի ընթացքը, համեմատած երկրային ժամացույցի ընթացքի հետ, չդանդաղեր, ապա մյուոնը կանցներ ընդամենը  $l' = v\tau' \approx 660$  մ ճանապարհ և չէր հասնի Երկրի մակերևույթին: Նշանակում է, մյուոնի «ծերացման» պրոցեսն իսկապես դանդաղում է, և նրա կյանքի  $\tau$  տևողությունը, ըստ երկրային ժամանակի, դառնում է հավասար  $\tau = \gamma\tau' \approx 100 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}$ վ  $\approx 2,2 \cdot 10^{-4}$ վ: Հետևաբար, Երկրի նկատմամբ մյուոնի անցած ճանապարհը կլինի՝  $l = v\tau \approx 66000$  մ, ինչը նշանակում է, որ մյուոնը հասցնում է անցնել մթնոլորտով:

Սա ժամանակի դանդաղման երևույթի ճշմարտացիության լավագույն ապացույցներից մեկն է:

Ա. Գիտունիկ, ես համաձայն եմ երկվորյակների պարադոքսիքն՝ բնության օրենքներին չհակասող խիստ տրամաբանական բացատրությանը: Բայց տիեզերանավը, թեպետ կարճատև, այնուամենայնիվ ենթարկվում է արագացումների, և պնդել, որ երկրային ժամացույցների համեմատ տիեզերանավի ժամացույցի սլաքներն ավելի դանդաղորեն շարժվելը պայմանավորված է տիեզերանավի շարժման արագությամբ, շատերին կարող է թվալ ոչ այնքան համոզիչ: Ես հենց նոր հիշեցի իմ կարդացած մեթոդական հանդեսներից մեկում [5] քննարկված մի օրինակ, երբ արագացման հարց չի առաջանում, բայց նույն ճանապարհն անցնելիս ստացվում է ժամանակների նույնպիսի տարբերություն, ինչպիսին որ երկվորյակների մտային փորձում: Կարո՞ղ եմ ներկայացնել վերհիշածս օրինակը:

Գ. Բհարկե, Անգետիկ: Համակ ուշադրությամբ լսում եմ քեզ:

Ա. Այդ օրինակում երկվորյակ քույրերի փոխարեն հանդես են գալիս երեք դիտորդներ՝ Աշոտը, Բագրատը և Գոռը, որոնց բոլորի հաշվարկման համակարգերն էլ իներցիալ են: Ընդ որում, Աշոտը մնում է Երկրի վրա, իսկ Բագրատը և Գոռը՝ Երկրի նկատմամբ միևնույն  $v = 0,8c$  արագություն ունեցող տիեզերանավերով շարժվում են հակառակ կողմեր. Բագրատը, անցնելով Երկրի մոտով, թռչում է դեպի Պրոքսիմա աստղը, որտեղ հան-

դիպում է Գոռին, իսկ Գոռը, Պրոքսիմայի մոտով անցնելով, ուղևորվում է դեպի Երկիր:

Երկրի մոտով թռչելու պահին Բագրատը ռադիոգիր է ուղարկում Երկիր՝ Աշոտին, և երկուսն էլ այդ պահին իրենց ժամացույցները դնում են զրոյի վրա: Ռադիոգիր ստանալու պահին ըստ երկրային ժամանակի նշանակելով  $t_1$ -ով, իսկ ռադիոգիր ուղարկելու պահին ըստ Բագրատի ժամացույցի՝  $t'_1$ -ով, կարող ենք, հետևաբար, գրել, որ  $t_1 = t'_1 = 0$  (քանի որ ռադիոգիր ուղարկելու և ստանալու պահերը գրեթե համընկնում են):

Շարունակելով թռիչքը՝ Բագրատը Պրոքսիմա աստղի մոտ հանդիպում է դեպի Երկիր թռչող Գոռին և նրան նույնպես ռադիոգիր ուղարկում՝ նշելով իր ժամացույցի ցուցմունքը (որը Երկրից Պրոքսիմա ուղևորության ժամանակն է ըստ Բագրատի ժամացույցի): Գոռը, ստանալով Բագրատի ռադիոգիրը, իր ժամացույցը դնում է զրոյի վրա: Երկրի մոտով անցնելու պահին Գոռն Աշոտին ռադիոյով հաղորդում է Բագրատից ստացած  $t_2$  ցուցմունքը և իր ժամացույցի  $t'_2$  ցուցմունքը (որը Գոռի՝ Պրոքսիմայից դեպի Երկիր ուղևորության տևողությունն է՝ հաշվված Գոռի ժամացույցով): Ստանալով Գոռի ռադիոգիրը՝ Աշոտը գրանցում է իր՝ երկրային ժամացույցի  $t_2$  ցուցմունքը (որը, բնականաբար, Երկիր-Պրոքսիմա-Երկիր չվերթի տևողությունն է ըստ երկրային ժամացույցի ցուցմունքի):

Եվ ի՞նչ էս կարծում, Գիտունիկ: Պարզվում է, որ  $t'_2 + t'_3 = 6$  տարի, ճիշտ այնքան, որքան Մանեի թռիչքի տևողությունն ըստ նրա տիեզերանավի ժամացույցի: Իսկ Աշոտի ժամացույցի ցուցմունքն էլ, բնականաբար, համընկնում է Աննայի ժամացույցի ցուցմունքի հետ, այսինքն՝  $t_2 = 10$  տարի:

Հիշելով երեք դիտորդների մասնակցությամբ տեղի ունեցող ժամանակի դանդաղման երևույթը, երբ բացակայում են արագացումները, ես արդեն միանգամայն համոզվում եմ, որ երկվորյակների օրինակում ժամանակի դանդաղումը պայմանավորված է ոչ թե արագացմամբ, այլ՝ անշարժ համարվող հաշվարկման իներցիալ համակարգի նկատմամբ շարժվող հաշվարկման իներցիալ համակարգի (օրինակ՝ տիեզերանավի) արագությամբ:

Գ. Ապրե՛ս, Անգետիկ, ես հիացած եմ քո գոհացուցիչ պատասխանից: Ցտեսություն, մինչև նոր հանդիպում:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Ղազարյան Է., Կիրակոսյան Ա., Մելիքյան Գ., Մամյան Ա., Մայիլյան Ս. Ֆիզիկա-12: Ավագ դպրոցի 12-րդ դասարանի դասագիրք ընդհանուր և բնագիտամաթեմատիկական հոսքերի համար, Եր., «Էդիթ Պրինտ», 2011, 264 էջ:
2. Редже Т. Этюды о Вселенной. М.: «Мир», 1985, 191 с.
3. Ղազարյան Է., Մայիլյան Ս. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրյալները, «Բնագետ», 2015, թիվ 2, էջ 3–9:
4. Бом Ломизе Л.Г. Из школьной физики – в теорию относительности. М.: «Просвещение», 1991.

5. *Խաչատրյան Ա.* Երկվորյակների պարադոքսը // «Մաթեմատիկան և ֆիզիկան դպրոցում», 1988, թիվ 6, էջ 31–34, 43, 56:

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ  
ВЫДВИЖЕНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ-ПАРАДОКСОВ**

*С.С. Маилян, Г.А. Самвелян*

**АННОТАЦИЯ**

В статье предпринята попытка обосновать, что организации проблемного обучения, то-есть создания проблемной ситуации на уроке, целесообразно достичь посредством физических задач, в частности задач-парадоксов. Как проблему, сформулированную преподавателем, представлен известный парадокс близнецов теории относительности, и показано, как можно его решать коллективно.

**Ключевые слова:** проблема, проблемное обучение, проблемная ситуация, парадокс, относительность, инерциальная система отсчета.

**THE ORGANIZATION OF PROBLEMATIC TEACHING BY A MEANS OF  
OFFERING AND SOLVING TASK-PROBLEMS**

*S. Mailyan, G. Samvelyan*

**SUMMARY**

Brief characteristic reference. In the article an attempt is made to establish that in order to attain the organization of problematic teaching - that is to create a problematic situation during the lesson - is suitable to achieve by using physical tasks, especially task-paradoxes. As a problem formulated by the teacher the known paradox of the twins of the theory of relativity is presented and it is shown how it can be solved by involving the pupils.

**Keywords:** problem, problematic teaching, problematic situation, relativity, calculation inertial system.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

## БИОЛОГИЯ

### ИЗМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ПОЛИ (АДФ-РИБОЗО) ПОЛИМЕРАЗЫ 1 В ЯДРАХ КЛЕТОК ПЕЧЕНИ КРЫС ПОСЛЕ IN VIVO ДЕЙСТВИЯ ЦИСПЛАТИНА

*А.Л. Асатрян, И.Г. Арицруни, К.С. Матинян, Э.С. Геворкян*

#### АННОТАЦИЯ

Ингибиторы поли (АДФ-рибозо) полимеразы 1 (ПАРП 1) проходят клинические испытания и применяются в химиотерапии онкологических заболеваний совместно с цисплатином. Данная статья посвящена исследованию действия цисплатина на эффективность ингибирования ПАРП 1 в ядрах клеток печени крыс конкурентным (бензамид) и аллостерическим (АТФ) ингибиторами. Исследования проводились на крысах двух возрастных групп, наиболее часто используемых в фармакологических тестах (самцы, 6 и 10 недель). Показано, что активность ПАРП 1 значительно уменьшается в процессе взросления животного. Введение крысам цисплатина вызывает разнонаправленное изменение активности ПАРП 1 у животных исследуемых возрастных групп. Полученные результаты показывают, что степень ингибирования фермента АТФ зависит от его исходной активности. Введение животным цисплатина не вызывает изменения эффективности АТФ в ядрах 6-и недельных крыс, одновременно резко увеличивая ее у 10-и недельных животных. Исследование действия конкурентного ингибитора ПАРП 1 бензамида выявило большую эффективность у крыс старшей возрастной группы как в контроле, так и после действия цисплатина.

Результаты настоящей работы указывают на необходимость коррекции химиотерапевтических схем с учетом возрастных особенностей действия ингибиторов ПАРП 1 различной природы.

**Ключевые слова:** активность ПАРП 1, ингибирование, АТФ, бензамид, цисплатин.

#### Введение

Поли (АДФ-рибозо) полимеразы 1 (ПАРП 1) является хроматин-ассоциированным ферментом, задействованным практически во всех известных механизмах репарации ДНК, и подавление его активности приводит к усилению терапевтического эффекта ДНК-алкилирующих препаратов, применяемых в лечении онкологических больных. В настоящее время ингибиторы ПАРП 1 проходят

клинические испытания различных уровней, а при лечении BRCA-дефицитных опухолей применяются в качестве монотерапевтических агентов. Ингибиторы ПАРП 1 часто применяются совместно с цисплатином и темозоламидом [1, 2]. Известно, что терапевтический эффект, как и токсическое действие лекарственных препаратов, имеет выраженную возрастную зависимость. Однако действие фармакологических ингибиторов ПАРП 1 в этом контексте мало изучено. Настоящее исследование направлено на изучение действия конкурентного ингибитора ПАРП 1-бензамида и аллостерического ингибитора-АТФ на активность ПАРП 1 ядер клеток печени крыс 6-и и 10-и недельного возраста после введения животным цисплатина. Выбор возрастных групп обусловлен тем, что фармакологическое тестирование препаратов производится на животных указанных возрастных групп [3].

### Материал и методы

В работе использованы реактивы фирмы Sigma (США). В качестве экспериментальных животных служили самцы белых беспородных крыс 6-и и 10-и недельного возраста. Раствор цисплатина вводили внутривентриально (10 мг/1000г веса животного). Животных декапитировали через 48 часов после инъекции препарата. Выделение ядер клеток печени производили по модифицированному методу [4]. Активность ПАРП 1 измеряли по убыли субстрата (НАД<sup>+</sup>) в реакционной среде, содержащей изолированные ядра клеток печени (плотность ядерной суспензии составляла 1мг/мл по ДНК), 1мМ CaCl<sub>2</sub>, 6 мМ MgCl<sub>2</sub> в течение 10 мин. Реакцию инициировали добавлением НАД<sup>+</sup> к суспензии ядер. Через 10 мин реакцию останавливали путем осаждения ядер из реакционной среды центрифугированием (2 мин 8000 g.). Количество остаточного НАД<sup>+</sup> определяли в образцах надосадочной жидкости (50 мкл) по методу колориметрического определения окрашенного продукта реакции НАД<sup>+</sup> с ацетофеноном (поглощение 378 нм) [5]. Количество НАД<sup>+</sup> определяли по калибровочной кривой.

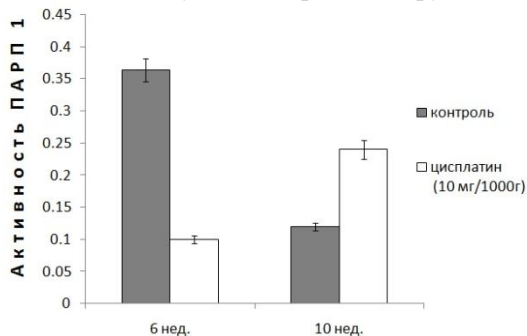
Достоверность различий между средними величинами полученных данных определяли по t-критерию Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Выбор экспериментальной модели в данной работе определялся следующими соображениями. ПАРП 1 является ядерным ферментом, и действие ингибиторов ПАРП 1 на изолированные ядра позволяет исключить влияние неконтролируемого изменения активности ПАРП 1, вызванного действием бензамида, АТФ и цисплатина на гликолитический обмен. Действие ингибиторов фермента в интактных ядрах наиболее приближено к реальной ситуации *in vivo* [6, 7, 8].

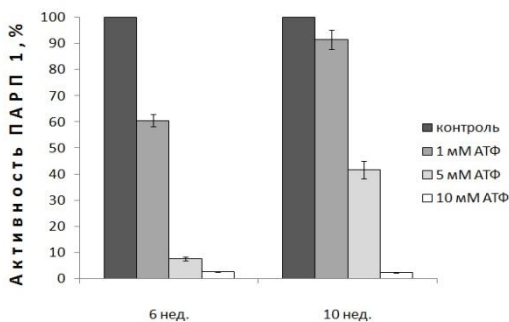
Известно, что активность ПАРП 1 складывается из двух составляющих: транс-каталитической и авто-каталитической компонент. Подавляющее большинство применяемых фармакологических ингибиторов ПАРП 1 являются НАД<sup>+</sup>-конкурирующими веществами, ингибирующими общую активность фермента.

Ранее в системе *in vitro* было показано, что АТФ, будучи аллостерическим ингибитором, специфически подавляет авто-каталитическую активность ПАРП1 [9, 10]. Полученные нами данные выявили возрастные различия исходной активности ПАРП 1 ядер клеток печени крыс. Как видно из Рис. 1, активность ПАРП 1 10-и недельных крыс в 3 раза ниже активности фермента ядер 6-и недельных животных. Введение крысам цисплатина вызывает разнонаправленное изменение активности ПАРП 1 у животных исследуемых возрастных групп.



**Рис. 1.** Действие цисплатина (10мг/1000г, 48ч) на активность ПАРП 1 в ядрах клеток печени 6-и и 10-и недельных крыс.

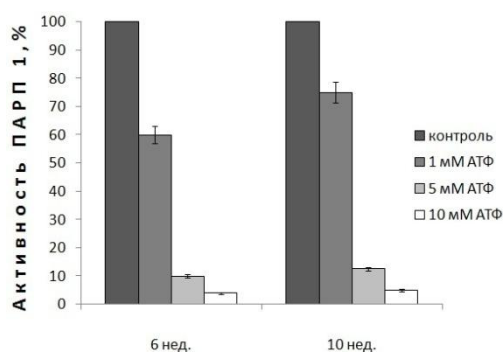
В следующей серии экспериментов нами было исследовано действие физиологических концентраций аллостерического ингибитора АТФ на активность ПАРП 1. Была показана концентрационная зависимость ингибиции ПАРП 1. Полученные результаты показывают также, что степень ингибирования фермента зависит от его исходной активности. Так, эффективность АТФ значительно ниже у 10-и недельных крыс (Рис. 2).



**Рис. 2.** Действие физиологических концентраций АТФ на активность ПАРП 1 в ядрах клеток печени 6-и и 10-и недельных крыс.

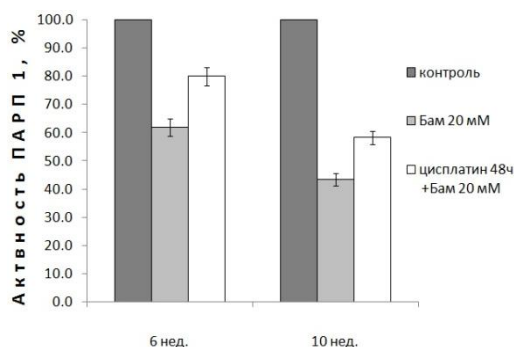
Введение животным цисплатина не вызывает изменения эффективности АТФ в ядрах 6-и недельных крыс, одновременно резко увеличивая ее у 10-и недельных крыс (Рис. 3).





**Рис. 3.** Действие физиологических концентраций АТФ на активность ПАРП 1 в ядрах клеток печени 6-и и 10-и недельных крыс после введения цисплатина (10мг/1000г).

Исследование действия конкурентного ингибитора ПАРП 1 бензамида выявило большую эффективность у крыс старшей возрастной группы как в контроле, так и после действия цисплатина (рис. 4).



**Рис. 4.** Действие бензамида на активность ПАРП 1 в ядрах клеток печени 6-и и 10-и недельных крыс в контроле и после введения цисплатина (10мг/1000г)

Таким образом, представленные в настоящей работе данные показывают, что эффективность ингибирования ПАРП 1 в ядрах клеток печени зависит от возраста крыс, характера применяемого ингибитора и действия цисплатина.

Результаты настоящей работы указывают на необходимость коррекции химиотерапевтических схем с учетом возрастных особенностей действия ингибиторов ПАРП 1 различной природы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Clark C.C., Weitzel J.N., O'Connor T.R. Enhancement of synthetic lethality via combinations of ABT-888, a PARP inhibitor, and carboplatin in vitro and in vivo using BRCA1 and BRCA2 isogenic models. *Mol Cancer Ther*;11. PP. 1948–58, 2012.

2. *Delaney C.A., Wang L.Z., Kyle S., White A.W., Calvert A.H., Curtin N.J. et al.* Potentiation of temozolomide and topotecan growth inhibition and cytotoxicity by novel poly(adenosine diphosphoribose) polymerase inhibitors in a panel of human tumor cell lines. *Clin Cancer Res*; 6. PP. 2860–7, 2000.
3. *Kwekel J.C., Desai V.G., Moland C.L., Branham W.S., Fuscoe J.C.* Age and sex dependent changes in liver gene expression during life cycle of the rat. *BMC Genomics*. 11:675. 2010.
4. *Hewish D.R., Burgoyne L.A.* Chromatin Substructure, The Digestion of Chromatin DNA at Regularly Spaced Sites by a Nuclear Deoxyribonuclease. *Biochemical and Biophysical Res. Com*, 52. PP. 504–510, 1973.
5. *Putta K.S. and Hergenrother P.J.* An enzymatic assay for poly(ADP ribose) polymerase – 1 (PARP-1) via the chemical quantitation of NAD<sup>+</sup>: application to the high-throughput screening of small molecules as potential inhibitors. *Analytical Biochemistry*, 326: PP. 78–86. 2004.
6. *Peralta-Leal A., Rodríguez-Vargas J. Aguilar-Quesada R., Rodríguez M. I., Linares J.L., de Almodóvar M.R., Oliver F.J.* PARP inhibitors: New partners in the therapy of cancer and inflammatory diseases, *Free Radic. Biol. Med.*, doi:10.1016/j.freeradbiomed.2009.04.008, 2009.
7. *Luo X., Kraus W.L.* On PAR with PARP: cellular stress signaling through poly(ADP-ribose) and PARP-1. *GENES & DEVELOPMENT* 26. PP. 417–432, 2012.
8. *Burkle A.* Poly (ADP-ribose) The most elaborate metabolite of NAD<sup>+</sup>, *FEBS Journal* 272. PP. 4576–4589, 2005.
9. *Kun E., Kirsten E., Mendelejev J., Ordahl Ch.P.* Regulation of the Enzymatic Catalysis of Poly(ADP-ribose) Polymerase by dsDNA, Polyamines, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Histones H1 and H3, and ATP. *Biochemistry*, 43. PP. 210–216, 2004.
10. *Krishnakumar R., Kraus W.L.* The PARP Side of the Nucleus: Molecular actions, Physiological Outcomes and Clinical Targets, *Molecular Cell*, 39. PP. 8–24. July 9, 2010.

## MODULATION OF POLY(ADP-RIBOS)YL POLYMERASE 1 INHIBITORS EFFICIENCY IN RAT LIVER NUCLEI AFTER THE IN VIVO TREATMENT WITH CISPLATIN

*A. Asatryan, I. Artsruni, K. Matinyan, E. Gevorgyan*

### SUMMARY

Poly(ADP-ribose)yl polymerase 1 (PARP 1) inhibitors currently enter clinical trials and are co-administrated with cisplatin in treatment of patients with oncological diseases.

In present paper we investigated the impact of cisplatin on efficacy of PARP 1 inhibition by competing (benzamide) and allosteric inhibitor (ATP) in rat liver nuclei. The rats of two different age groups (males, 6 and 10 week old) were examined (these age groups are examined in routine pharmacological testing). The results come to show that PARP 1 activity is down-regulated in the course of animals growth. The in vivo treatment of rats with cisplatin elicited oppositely directed changes in PARP 1 activity estimated for different age groups. It was demonstrated that the extent of inhibition by ATP depended on the baseline activity of enzyme. Administration of cisplatin to 6 wk old animals did not affect ATP efficiency, concomitantly enhancing the latter in 10 wk old rats. Examination of PARP 1 inhibition by competing inhibitor benzamide re-

vealed its elevated efficiency in elder rats regardless to treatment with cisplatin.

Results of present study necessiate further correction of chemotherapeutic schemes which should consider age-dependent variables in PARP 1 inhibition by different inhibitors.

**Keywords:** PARP 1 activity, inhibition, ATP, benzamide, cisplatin.

**ՊՈԼԻ(ԱԿՖ-ՌԻԲՈԶ)ՊՈԼԻՄԵՐԱԶ 1-Ի ԱՐԳԵԼԱԿԻԶՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՌՆԵՏԻ ԼՅԱՐԴԻ ԲԶԶԱԿՈՐԻԶՆԵՐՈՒՄ ՑԻՄՊԼԱՏԻՆԻ IN VIVO ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՑ ՀԵՏՈ**

**Ա.Լ. Ասատրյան, Ի.Գ. Արծրունի, Կ.Ս. Մատինյան, Է.Ս. Գևորգյան**

**ԱՄՓՈՓՈՒՄ**

Պոլի(ԱԿՖ-ռիբոզ)պոլիմերազ 1-ի արգելակիչները կլինիկական փորձաշրջանում են և օնկոլոգիական հիվանդությունների քեմիոթերապևտիկ գործառույթներում կիրառվում են համատեղ ցիսպլատինի հետ: Ներկայացվող աշխատանքը նվիրված է ցիսպլատինի ազդեցության ուսումնասիրությանը ՊԱՌՊ 1-ի մրցակցային (բենզամիդ) և ալոստերիկ (ԱԵՖ) արգելակիչների արդյունավետության վրա: Հետազոտությունները կատարվել են դեղաբանական փորձաքննություններում երկու առավել հաճախ կիրառվող հասակային խմբերի առնետների վրա (արու, 6 և 10 շաբաթական): Ցույց է տրվել, որ ՊԱՌՊ 1-ի ակտիվությունը զգալիորեն նվազում է կենդանու հասունացման ընթացքում: Ցիսպլատինի ներարկումը առաջ է բերում ՊԱՌՊ 1-ի ակտիվության տարամետ փոփոխություններ տարբեր հասակի առնետների մոտ: Համաձայն ստացված տվյալների ԱԵՖ-ով ՊԱՌՊ 1-ի արգելակման մեծությունը կախված է ֆերմենտի էլակետային ակտիվությունից: Ցիսպլատինը չի ազդում ԱԵՖ-ի արդյունավետության վրա 6 շաբաթական առնետների մոտ, սակայն կտրուկ մեծացնում է ԱԵՖ-ի արդյունավետությունը 10 շաբաթական կենդանիների լյարդի բջջակորիզներում: Մրցակցային արգելակիչ՝ բենզամիդի, ազդեցության ուսումնասիրությունը բացահայտեց, որ արգելակիչը դրսևորում է ավելի բարձր արդյունավետություն ավագ հասակային խմբի թե ստուգիչ, թե ցիսպլատին-ներարկված առնետների մոտ: Աշխատանքի արդյունքները թելադրում են քեմիոթերապևտիկ գործառույթների վերանայման անհրաժեշտությունը, հաշվի առնելով ՊԱՌՊ 1-ի տարբեր բնույթի արգելակիչների ազդեցության հասակային առանձնահատկությունները:

**Հիմնաբառեր՝** ՊԱՌՊ 1-ի ակտիվություն, արգելակում, ԱԵՖ, բենզամիդ, ցիսպլատին:

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ЧЕТЫРЕХ ВИДОВ ПОДКОВОНОСЫХ ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ (RHINOLOPHUS) МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*А. Асланян, М. Арутюнян, Л. Папян, В. Айрапетян*

## АННОТАЦИЯ

В ходе эволюции многие виды летучих мышей потерпели множество изменений. У некоторых видов это заметно невооруженным глазом. Меняются размеры, окраска, маршруты миграции, места обитания. В наших исследованиях мы пытаемся установить причины таких изменений. В данной работе нами были определены последовательности генов COI (цитохром C оксидаза, 1-ая субъединица) митохондриального ДНК четырех видов подковоносых летучих мышей (*Rhinolophus*).

**Ключевые слова:** летучие мыши, *Rhinolophus*, цитохром C оксидаза, ПЦР.

## Введение

В последнее время нередко встречаются случаи, когда ученые ошибаются с определением вида или находят представителей какого-то вида там, где они не должны были находиться [1, 2, 3]. По этим и многим другим причинам мы решили заняться исследованием летучих мышей. Наша научная группа уже давно работает в этом направлении и проводит генетические эксперименты с целью установления:

- А) видового состава подковоносых летучих мышей;
- Б) наличие межвидовых генетических изменений;
- В) наличие генетических изменений у одного и того-же вида.

## Материалы и методы

Нами были совершены поездки в разные районы, в результате чего нам удалось собрать необходимый материал для дальнейшей работы. Основной материал был пойман из Магили, Дилиджана, Тегута. Материалы хранились в спиртовом растворе до использования.

Опыты были проведены в Музее и институте зоологии (Museum and Institute of Zoology) в Варшаве.

В опыте были использованы когти, хвост и покров летучих мышей.

Этапы исследования:

1. выделение ДНК;
2. очистка;
3. ПЦР (полимеразно-цепная реакция);
4. очистка;
5. электрофорез;

### б. секвенирование.

Для выделения ДНК необходимо провести лизис клеток, которая включает в себя механическое разрушение (измельчение, гипотонический лизис), химическую обработку (лизис с помощью детергентов и других агентов) и ферментативное расщепление белков. Для лизиса нами были использованы Буфера T1, в состав которого входят компоненты (SiO<sub>2</sub> или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), предотвращающие адсорбцию ДНК на стенках кюветы. Для очистки ДНК использовали специальные фильтры, после чего было проведено центрифугирование и сборка ДНК на дне пробирки. Для конечного получения чистого ДНК использовался wash buffer BW. После чего с помощью Thermo Scientific Nano Drop 2000 спектрофотометра была выяснена концентрация ДНК нашего образца.

С помощью метода ПЦР (полимеразно-цепная реакция) было получено определенное количество фрагментов ДНК, для очистки и идентификации которых использовался метод электрофорез в агарозном геле. Секвенирование (определение последовательности ДНК) делалось на новейших технологиях, что позволило нам в течение короткого времени получить результаты сразу нескольких участков геномов. Результаты сиквенс-анализа расшифровываем с помощью таких компьютерных программ, как Bioedit, BLAST и др.

### Результаты

При проведении анализа в системе BLAST никаких отклонений не обнаружилось, и все последовательности показали как минимум 99% сходство с базой данных (Рис.1, Рис.2). Единственное, что в некоторых случаях наши данные не совпадали с результатом BLAST: в полевых условиях мы определили экземпляр как *Rhinolophus mehelyi*, а BLAST показал 99% сходство с *Rhinolophus euryale*. Такие случаи возможны в силу того, что их генетика плохо изучена и зачастую авторы определяли вид животного, исходя из его внешних данных. По нашим результатам, самими многочисленными оказались представители вида *R. euryale* и *R. ferrumequinum*.

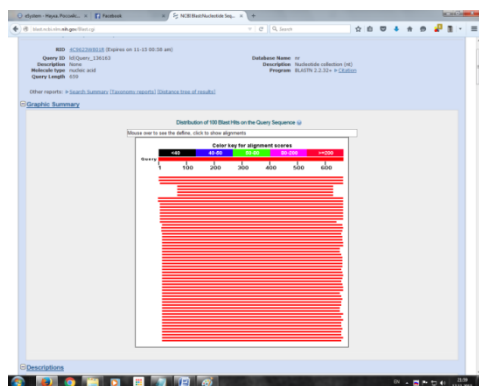


Рис.1 Пример работы BLAST.

The screenshot shows a list of 20 BLAST hits. The columns are: Accession Number, Percent Identity, Alignment Length, and Database Name. The hits are sorted by percent identity, with the top hit being 'NC020912.1' at 100% identity. Other hits include 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1', 'NC020912.1'.

Accession Number	Percent Identity	Alignment Length	Database Name
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)
NC020912.1	100	100	Rhinolophus collection (NCBI)

Рис.2 Таблица результатов BLAST.

Нашей следующей задачей было межвидовое сравнение и сравнение представителей одного и того же вида. Во втором случае сравнивали разные популяции из разных регионов РА и НКР. Однако ни в одном случае никаких отличий по гену COI обнаружено не было (Рис.3).

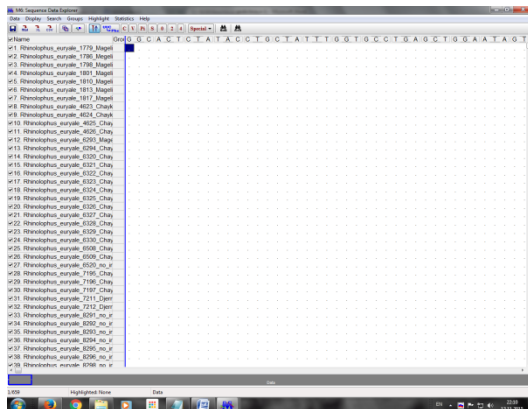


Рис. 3 Сравнение последовательностей в BioEdit

В таблице 1 приведены межвидовые отличия по принципу BLOSUM62.

Таблица 1. Межвидовые отличия по принципу BLOSUM62

	<i>R. euryale</i>	<i>R. ferrumequinum</i>	<i>R. mehelyi</i>	<i>R. hipposideros</i>
<i>R. euryale</i>	x	71	34	88
<i>R. ferrumequinum</i>	71	x	61	79
<i>R. mehelyi</i>	34	61	x	89
<i>R. hipposideros</i>	88	79	89	x

Итак, больше всего между собой отличаются пары *R. euryale*/*R. hipposideros* и *R. mehelyi*/*R. hipposideros*. В целом, *R. hipposideros* очень сильно отличается от всех других представителей отряда подковоносых. Как оказалось, довольно близки *R. Euryale* и *R. mehelyi*. Возможно, это и является причиной внешнего сходства этих видов. Однако для подобных выводов нужно проводить дальнейшие наши опыты уже на уровне целой мт-ДНК.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алекперов Х.М. Млекопитающие юго-западного Азербайджана. Баку, 1966, СС. 3–37.
2. Алекперов Х.М., Рахматулина И.К. К фауне рукокрылых Азербайджана // в кн.: Материалы по фауне и экологии наземных позвоночных Азербайджана. Баку, 1975. СС. 31–54.
3. Арутюнян М.К. Экология, распространение и кариология некоторых видов рукокрылых Армении: Автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08 / Инст. зоол. НАН РА. Ер., 1999. 29 с.

**SPECIFIC ACCESSORY TO FOUR TYPES OF BATS (RHINOLOPHUS).**

*A. Aslanyan, M. Arutyunyan, V. Ayrapetyan, L. Papyan*

**SUMMARY**

During the evolution numerous species of bats have gone through various changes. Some of these changes are noticeable without an equipped eye, for example, in their sizes, coloration, routes of migration, habitats, etc. In our studies we are trying to reveal the reasons for these changes. In this survey we were able to determine the sequences of COI (citohrom c oksidaza) genes of mitochondrial DNA, belonging to 4 types of bats (Rhinolophus).

**Keywords:** bats, Rhinolophus, Cytochrome C oxidase, PCR.

**ԳԵՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ԱՆԱԼԻԶԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ՉՈՐՄ ՏԵՍԱԿԻ ՊԱՅՏԱՔԻԹ ՉՂՋԻԿՆԵՐԻ ՏԵՍԱԿԱՅԻՆ ՊԱՏԿԱՆԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

*Հ. Ասլանյան, Մ. Հարությունյան, Վ. Հայրապետյան, Լ. Պապյան*

**ԱՍՓՈՓՈՒՄ**

Էվոլյուցիայի ընթացքում չղջիկների շատ տեսակներ բազմաթիվ փոփոխություններ են կրել: Որոշ տեսակների դեպքում դա նկատելի է անգամ անզեն աչքով: Փոփոխվում են չափերը, գույնը, միգրացիայի ուղիները, բնակության վայրերը: Մեր ուսումնասիրություններում մենք փորձում ենք հասկանալ, թե որտեղ են թաքնված նման փոփոխությունների պատճառները: Այս աշխատանքում մենք կատարել ենք հետազոտություններ, որոնց միջոցով որոշվել են պայտաքթերի ընտանիքին պատկանող (Rhinolophus) 4 տեսակի չղջիկների միտոքոնդրիալ ԴՆԹ-ի Ցիտոքրոմ C Օքսիդազայի (COI) գենների հաջորդակա- նությունները:

**Հիմնաբառեր`** չղջիկներ, Rhinolophus , Ցիտոքրոմ C Օքսիդազա, ՊՇՈ:

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНАНТРОПИЗМА У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МЛЕКОПИТАЮЩИХ МЕТОДОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЛАВУШЕК

*Г.Г. Гамбарян, Л.Г. Папаян, Э.Г. Явруян*

### АННОТАЦИЯ

Использование фотоловушек и видеорегистраторов в наших исследованиях позволяет наблюдать за поведением и активностью животных дистанционно. При этом, время и погодные условия существенной роли не играют, т.к. новые модели дают возможность снимать при любых условиях. В данном исследовании представлена работа наших цифровых устройств на примере серой крысы (*Rattus norvegicus*).

**Ключевые слова:** серая крыса (*Rattus norvegicus*), фотоловушка, синантропизм.

### Введение

Представители отряда грызунов всегда, в той или иной степени, являлись синантропами [1]. Они давно приспособились к сожительству с человеком и в течение времени отлично адаптировались к новым условиям. Человеческие постройки, в особенности многоэтажные дома, в которых функционируют мусоропроводы, являются для солидного числа видов животных прекрасным и удобным местом для жилья, питания и размножения [2].

Использование фотоловушек становится все более популярным методом исследования суточной активности и поведенческой особенности животных. Данный метод имеет очевидные преимущества [1, 3, 4]. Установка фотоловушек непосредственно около входов нор и вблизи человеческих жилищ позволяет описывать поведенческие особенности животных-синантропов [2]. Однако, несмотря на кажущуюся простоту установки фотоловушек, надо учитывать ряд важных факторов, которые связаны с маленькими размерами и другими особенностями серых крыс, постоянным присутствием в данной местности людей и домашних животных.

### Материал и методы

В период июль–ноябрь 2015г. проводилось несколько экспедиций в различных районах РА (Гегаркуник, Котайк, Вайоц Дзор, Арарат).

При изучении экологии грызунов часто возникает необходимость определить присутствие или посещение того или иного места животным, эффективно провести регистрацию событий при любом уровне освещения (и в полной темноте). С этой целью мы устанавливали наши устройства в подвалах домов и в садах. Устройства работали круглосуточно. В условиях низкой освещенности наши устройства использовали фотовспышки, а сами фотоловушки были уста-



новлены либо на земле, либо на деревьях (на очень низкой высоте). Данный метод позволяет применять его для съемки самых мелких млекопитающих, а также птиц и беспозвоночных.

В силу своей компактности и доступности мы выбрали модель 940NM HD (рис. 1). Устройство имеет возможность работать от 4-х батареек в течение 4–5 часов, а для более длительной работы требует полный комплект батареек AA из 8-и шт. Запись информации ведется на карту памяти формата SD емкостью 8/16/32 Гб класса не ниже 8, что позволяет писать порядка 10–12 часов видео в формате HD720. Устройство позволяет вести запись маленькими фрагментами до 1 минуты.



Рис. 1 Фотоловушка модели 940NM HD

Ночная подсветка на модели 6 ИК-светодиодами автоматически включается датчиком освещенности. Очень удобна для наблюдений мелких млекопитающих, когда запись событий проводится на ограниченном участке площадью порядка 1 м<sup>2</sup> и достаточна для работы во влажных условия (осадки, роса); необходима установка камеры в боксы или иная защита [4].

### Результаты и обсуждение

Очень интересные кадры получились на территории Араратского региона, а именно: в погребах частных домов города Арташата были обнаружены серые крысы, которые оказались чрезвычайно хорошо приспособлены к сожительству с человеком. На кадрах, снятых видеорегистратором, видно следующее: когда мы ставим приманку, т.е. кусок копченой рыбы, крыса подходит, забирает кусок и либо начинает есть его, либо забирает себе в нору, а при установлении отравленной приманки крыса даже близко не подходит и не желает есть отравленную рыбу. Это в очередной раз доказывает высокий уровень синантропности этих животных и прекрасно показывает насколько хорошо они приспособились к сожительству с человеком.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сидорчук Н.В.* Опыт использования фотоловушек при изучении поведенческой экологии барсука *Meles meles* // Териофауна России и сопредельных территорий: матер. VIII съезда Териологич. общ-ва. М., 2007. С. 455.
2. *Փապյան Լ.Գ., Գամբարյան Գ.Գ.* Исследование поведения и активности мелких млекопитающих методом использования фотоловушек. Ломоносов–2015, XXII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Секц.: «Биология». 2015; 171.
3. *Эрнандес-Бланко.* 2010 Опыт применения цифровых фотоловушек для идентификации Амурских тигров, оценки их активности и использования основных маршрутов перемещений животными // в кн.: Амурский тигр в Северо-Восточной Азии: проблемы сохранения в XXI веке // Отв. Ред. Журавлев Ю.Н. Владивосток: «Дальнаука». СС. 100–103.
4. *Сидорчук Н.В., Рожнов В.В.* Дистанционные методы изучения барсуков: некоторые особенности использования фотоловушек // Дистанционные методы изучения в зоологии: матер. научн. конф. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2011. С. 87.

## RESEARCH OF SYNANTHROPISM OF SOME SMALL MAMMAL SPECIES BY USING OF TRAIL CAMERAS

*G. Ghambaryan, L. Papyan, E. Yavruyan*

### SUMMARY

Using of trail cameras and DVRs (Digital Video Recorder) in our researches allows us to observe the behavior and activity of animals remotely. Weather and time do not have a significant role, because new models allow us to shoot at all conditions. In this work we present the functioning of our digital recorders on the example of the brown rat (*Rattus norvegicus*).

**Keywords:** brown rat (*Rattus norvegicus*), trail camera, synanthropism.

## ԿԱԹՆԱՍՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇ ՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ՄՈՏ ՄԻՆԱՆԹՐՈՊԻԶՄԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ԼՈՒՍԱՆԿԱՐՉԱԿԱՆ ԹԱԿԱՐԴՆԵՐԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

*Գ. Գ. Դամբարյան, Լ. Հ. Պապյան, Է. Գ. Կերյան*

### ՄՓՈՓՈՒՄ

Տեսանկարահանող սարքերի և, այսպես կոչված, «ֆոտոթափարդների» օգտագործումը մեր հետազոտություններում, թույլ է տալիս հեռակա հետևել կենդանիների վարքին և ակտիվությանը: Ընդ որում, ժամը և եղանակային պայմանները որոշիչ դեր չեն խաղում, քանի որ նոր մոդելները հնարավորություն են տալիս մեզ աշխատել բոլոր պայմաններում: Սույն հոդվածում ներկայացված է մեր թվային սարքերի աշծատանքը՝ մոխրագույն առնետի օրինակով (*Rattus norvegicus*):

**Հիմնաբառեր՝** մոխրագույն առնետ (*Rattus norvegicus*), ֆոտոթափարդ, սինանթրոպիզմ:

## ОЦЕНКА ДНК-ЛИГАНД СВЯЗЫВАНИЯ «ЭНЕРГИЕЙ ЛИНЕЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (LIE)»

*О.В. Грабский, Л.С. Унанян*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрено взаимодействие лиганда с ДНК с использованием метода энергии линейного взаимодействия (LIE). Проведена оценка эффективности LIE при взаимодействии ДНК-метиленовый синий и ДНК-бромистый этидий. Расчеты показали эффективность метода LIE, по сравнению с другими методами приводит к уменьшению затрат и времени при проведении виртуальных экспериментов.

**Ключевые слова:** GROMACS, ММД, БЭ, МС, ДНК, LIE.

### Введение

В молекулярной динамике в качестве вычислительных методов используются как относительно простые системы расчетов: такие, как использование эмпирических, статистических (скоринг) методов, так и более требовательные системы, например, расчеты свободной энергии возмущения (FEP).

При использовании этих методов необходимо учитывать возможности ЭВМ, так как существует обратная зависимость между скоростью (или вычислительной стоимостью) и точностью полученных результатов. При правильном выборе методик для лиганд-дизайн, оптимизации соединения лиганда или исследования взаимодействия лиганд-мишень можно экономить как ресурсы ЭВМ, так и время для компьютерного эксперимента. Одним из таких методов является метод LIE [1], который используется при расчетах энергии связывания. Данный метод является удобным инструментом при фаз оптимизации соединения лиганда, при конструировании лекарственных препаратов, так как предлагает хороший компромисс между скоростью и точностью. Метод LIE основан на силовых полях, которые учитывают как пространственные параметры взаимодействия лиганд-мишень, так и параметры растворителя и энтропийные эффекты. Точность метода LIE, по сравнению с другими методами, довольно высока. В качестве примера можно привести среднеквадратическое (RMS) отклонение расчетных энергетических параметров от экспериментальных данных менее  $\sim 1$  ккал / моль [2, 3], в то время как среднее производительность оценочных (докинг) функций (2–2,5 ккал/моль) [4]. Несмотря на то, что данный метод был создан для лиганд-белковых взаимодействий, он используется также для взаимодействия ДНК-лиганд. В настоящей работе рассчитаны энергии связывания для комплексов ДНК- метиленовый синий (МС) и ДНК-бромистый этидий (БЭ), используя метод LIE. Химические структуры используемых лигандов приведены на Рис. 1.

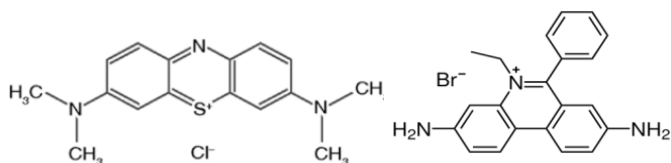


Рис 1. Химические структуры МС и БЭ, соответственно.

## Материал и методы

Процесс связывания лиганда с биологическими макромолекулами можно рассматривать как проблему разделения, в котором лиганд (L) передается из одной среды, т.е. свободно в воде (f) к другому, связывающему сайта растворенной макромолекулярной мишени (b) в воде.

Уравнения энергий линейных взаимодействий для оценки аффинности связывания на основе средними значениями энергии можно записать в виде:

$$\Delta G_{bind} = \alpha \Delta \langle U_{l-s}^{vdw} \rangle + \beta \Delta \langle U_{l-s}^{el} \rangle + \gamma,$$

где параметр  $\alpha$  является эмпирически выявленным неполярным коэффициентом масштабирования,  $\beta$  – для электростатического вклада и  $\gamma$  – константа (хотя не строго необходимо для расчетов).

Важно отметить, что с этим уравнением можно вычислить свободную энергию связывания путем усреднения лиганд окружающих потенциальных энергий, которые собраны только для двух физических состояний лиганда, участвующего в процессе связывания: свободное состояние (лиганд растворенная в воде  $\langle U_{l-s} \rangle_f$ ) и связанное состояние (лиганд в растворенной рецепторе в сайте связывания  $\langle U_{l-s} \rangle_b$ ).

При создании моделей молекул МС и БЭ были получены силовые поля и топологические файлы с использованием разных программ по биомоделированию [5–10]. Для проведения компьютерного эксперимента был использован фрагмент двуцепочечного ДНК (додекамер Дикерсона) В-формы, состоящей из 12 пар оснований со следующей последовательностью в соответствии с принятыми протоколами по биомоделированию [11].

d(CpGpCpGpApApTpTpCpGpCpG)

Симуляции проводились в плавающей одинарной точности. Параметры симуляции приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры симуляции

Лиганд-Мишень	Тип Бокса	Состояние	V(бокса) нм	Количество Воды	Временной шаг ( $\Delta t$ )	Температура (К)	Время Симуляции (нс)
МС-ДНК	Додекаэдр	Связанное (bound)	418.65	13314	2фс	300	10
		Свободное (free)					5
БЭ-ДНК	Додекаэдр	Связанное (bound)	398.33	12754	2фс	300	40
		Свободное (free)					5

### Результаты и обсуждения.

Для исследования возможности прямого взаимодействия БЭ и МС с ДНК были проведены *in silico* эксперименты. Используя метод «слепой способ», описывающий энергетически выгодные точки взаимодействия [12; 13], были получены возможные места связывания БЭ и МС с ДНК. На рис. 2 показаны возможные места прямого взаимодействия БЭ и МС с ДНК. Нужно отметить, что обе молекулы взаимодействуют с малым желобком.

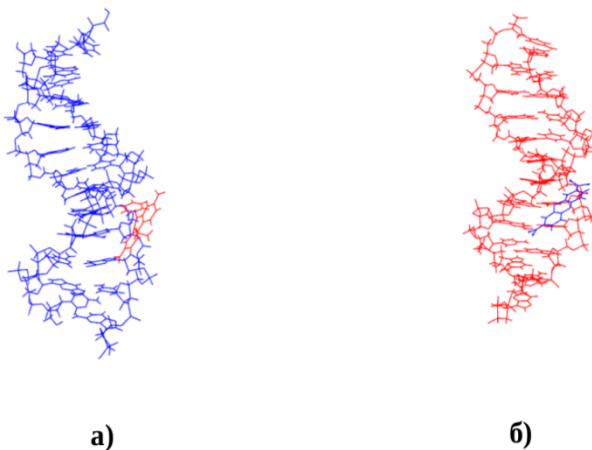


Рис.2 Сайты связывания для БЭ (а) и МС (б) с ДНК (додекамер Дикерсона).

Полученные пространственные параметры связывания свидетельствуют, что лиганды взаимодействуют с ДНК путем внешнего связывания, при этом, ориентация МС параллельно плоскости желобка, при этом, связывание БЭ с желобком имеет отклонение от плоскости на  $5^\circ$  по сравнению с МС.

Были получены также энергетические параметры взаимодействия для двух лигандов с ДНК (табл.2.)

Таблица 2. Энергетические параметры взаимодействия исследуемых комплексов

Взаимодействие	Кулоновские КДж/моль	Ван-дер-ваальс
МС-ДНК	-70.1502	-182.074
БЭ-ДНК	-291.071	-121.408

Из Табл. 2. видно, что БЭ связывается сильнее, по сравнению с МС, хотя надо отметить, что у МС полученная Ван-дер-ваальсовая энергия на 60.67 КДж/моль выше.

Для получения критерия стабильности при связывании нами были рассчитаны среднеквадратические отклонения (RMSD) от оси спирали ДНК. На рис. 3 показана стабильность лигандов в сайтах связывания. Полученные результаты свидетельствуют, что оба лиганда не имеют резких конформационных сдвигов во время связывания, это означает, что связь является стабильным как для БЭ, так и для МС.

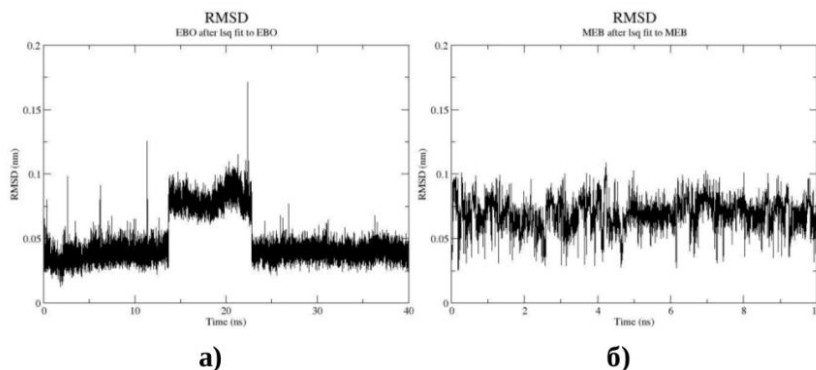


Рис.3. Стабильность лигандов в сайтах связывания для БЭ (а) и МС(б).

Используя метод ЛПЕ, были рассчитаны энергии связывания для двух лигандов с малым желобком ДНК, которые приведены в табл.2.

Таблица 2. Параметры и энергия связывания исследуемых лигандов с ДНК

Комплекс	$\alpha$	$\beta$	$E_{int}$ ккал/моль	$\Delta G$ ккал/моль
МС-ДНК	0.695	0.5	-60.283	-12.822
БЭ-ДНК	0.695	0.5	-98.582	-13.621

Для расчета параметров связывания для  $\beta$  в качестве стандарта был выбран коэффициент 0.5. Это объясняется тем, что и БЭ и МС являются положительно заряженными молекулами [14]. Для коэффициента неполярного масштабирования  $\alpha$  было выбрано значение 0.695 [15]. Использование того же коэффициента неполярного масштабирования  $\alpha$  для двух лигандов можно объяснить идентичностью мест связывания, т.к. известно, что  $\alpha$  зависит от места связывания.

Таким образом, можно сделать вывод, что с помощью метода «энергия линейного взаимодействия» можно получить хорошие результаты при том, что запускаются 2 симуляции, для других методов требуются запустить до нескольких десятков симуляций, чтобы получить энергию связывания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Åqvist J., Medina C., and Samuelsson J. E. (1994) A new method for predicting binding affinity in computer-aided drug design. *Protein Eng* 7. PP. 385–91.
2. Åqvist J. and Marelju, J. (2001) The linear interaction energy method for predicting ligand binding free energies. *Comb Chem High Throughput Screen* 4. PP. 613–26.
3. Bjelic S., Nervall M., Gutiérrez-de-Terán H., Ersmark K., Hallberg A., and Åqvist J. (2007) Computational inhibitor design against malaria plasmepsins. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS* 64, 2285–305.
- 4 Wang, R., Lai, L., and Wang, S. (2002) Further development and validation of empirical scoring functions for structure-based binding affinity prediction. *Journal of Computer-Aided Molecular Design* 16, 11–11.
5. Hess B., Kutzner C., Van der Spoel D., E. J. Chem. Theory Comput. 4. PP. 435–447, 2008.
6. Pettersen E., Goddard T., Huang C., et al. *J. Comput Chem.*, 25 (13). PP. 1605–1612, 2004.
7. Wang J., Wolf R., Caldwell J., et al., *J. of Comput. Chem* 25. PP. 1157–1174, 2004.
8. Wang J., Wang W., Kollman P., Case D, *J. of Mol. Graph. and Mod.*, 25. PP. 247–260, 2006.
9. Marvin. ChemAxon (<http://www.chemaxon.com>), 2012.
10. SOUSA DA SILVA, A.W. & VRANKEN, W.F. ACPYPE AnteChamber PYthon Parser interfac E. *BMC Research Notes* 2012, 5:367 doi:10.1186/1756-0500-5-367 <http://www.biomedcentral.com/1756-0500/5/367>
11. Macke T. Svrcek-Seiler W.A. et al *A Comp. Lang. for Struc Exp.* Updated, 2012.
12. <http://autodock.scripps.edu/resources/adt>
13. Trott O., Olson A.J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading // *Journal of computational chemistry*. 2010. T. 31. №. 2. PP. 455–461.
14. Gutiérrez-de-Terán H., Åqvist J. Linear interaction energy: method and applications in drug design // *Computational Drug Discovery and Design*. Springer New York, 2012. PP. 305–323.
15. Rohs R. et al. Methylene blue binding to DNA with alternating GC base sequence: a modeling study // *Journal of the American Chemical Society*. 2000. T. 122. №. 12. PP. 2860–2866.

## EVALUATION OF DNA-LIGAND BINDING BY METHOD OF LINEAR INTERACTION ENERGY(LIE)

*H. Grabski, L. Hunanyan*

### SUMMARY

This article discusses the interaction of the ligand with DNA using the method of linear interaction energy (LIE). The efficiency of LIE method has been evaluated through the interaction of DNA-methylene blue and DNA-ethidium bromide. Calculations have shown that the effectiveness of the method of LIE, compared with other methods as it reduces the cost and time for virtual experiments.

**Keywords:** GROMACS, MD, MB, EB, DNA, LIE.

### ԴՆԹ-ԼԻԳԱՆԴ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ «ԳԾԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ (LIE)» ՄԵԹՈԴՈՎ

*Հ.Վ. Գրաբսկի, Լ.Ս. Հունանյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է ԴՆԹ-Լիգանդ փոխազդեցության ուսումնասիրմանը օգտագործելով «գծային փոխազդեցության էներգիայի (LIE)» մեթոդը: Ուսումնասիրվել է ԴՆԹ-ի հետ մեթիլեն կապույտի և էթիդիում բրոմիդի փոխազդեցության առանձնահատկությունները LIE մեթոդի օգնությամբ: Ստացված արդյունքները վկայում են, որ LIE մեթոդը այլ մեթոդների հետ համեմատած հանարավորություն է տալիս խնայելով վիրտուալ փորձերի կատարման ժամանակը, հասնել ճշգրիտ արդյունքների և ռազիոնալ օգտագործել համակարգչի ռեսուրսները:

**Հիմնաբառեր**՝ GROMACS, ՄԴ, ԷԲ, ՄԿ, ԴՆԹ, LIE:



# ИСПОЛЬЗОВАНИЯ GPU В КАЧЕСТВЕ СОПРОЦЕССОРА ПРИ РАСЧЕТАХ ПРОЦЕССОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

*О.В. Грабский, Л.С. Унанян*

## АННОТАЦИЯ

В работе исследованы возможности графического процессора (GPU) при проведении молекулярного моделирования на платформе GROMACS. Проведён сравнительный анализ результатов, полученных для классического моделирования с использованием основного (CPU) и графического (GPU). Результаты показали, что использование GPU в качестве сопроцессора увеличивает производительность и эффективность процессов ЭВМ при моделировании.

**Ключевые слова:** CUDA, GPU, GROMACS, ДНК.

## Введение

В настоящее время для создания молекулярных моделей и проведения *in silico* экспериментов используются разные пакеты программ, которые обеспечивают как виртуальное конструирование молекул, так и процессы взаимодействия тех или иных моделей [1]. Молекулярная динамика используется для отслеживания эволюции системы частиц, основанной на взаимодействии между ними. Она используется в физике, биологии, в прикладной математике и химии, где системы в размере до нескольких миллионов атомов моделируются в течение нескольких недель или месяца.

Целью является исследование использования графического процессора для ускорения расчетов. Полученные нами результаты показывают, что традиционное моделирование молекулярной динамики может быть значительно улучшено при выполнении симуляции от 1 дня до нескольких часов. Несмотря на вычислительные мощности, предоставляемые современными графическими процессорами, они традиционно были ограничены к домену графики в значительной степени из-за их отсутствия программирования. До недавнего времени графические процессоры могли быть запрограммированы только через графический API, например, DirectX или OpenGL. Но с появлением платформы CUDA от Nvidia в 2007, GPU стали широко использоваться как внутри, так и за ее пределами научных кругов [2].

Одним из программных пакетов для молекулярной динамики, который способен использовать графические процессоры в качестве сопроцессора на сегодняшний день, является GROMACS [3].

В настоящее время наиболее эффективными для динамики являются гетерогенные системы, представляющие собой вычислительные кластеры, узлы которых содержат как CPU (центральный процессор), так и GPU (графический процессор или сопроцессор).

Таким образом, проведение исследований процессов динамики взаимодействия биологически активных низкомолекулярных соединений различной природы с ДНК требует реализации молекулярно-динамических моделей при помощи численных методов, ориентированных на использование современных высокопроизводительных алгоритмов и терафлопсных гетерогенных вычислительных систем, содержащих как CPU, так и GPU.

### Материал и методы

Тестовые расчеты проводились на вычислительной системе с CPU Q6600 2.4 GHz, GPU NVIDIA Geforce GTX 960 с 1024 CUDA[4] ядрами (это – архитектура параллельных вычислений от NVIDIA), 8GB ОЗУ, операционной системой Ubuntu 14.04 64 bit, компиляторами GCC v.4.8.4, CUDA v.5.2.

При создании моделей молекул метиленового синего и бромистого этидия были получены силовые поля и топологические файлы с использованием разных программ по биомоделированию [5–9]. Для проведения компьютерного эксперимента был использован фрагмент двуцепочечного ДНК (додекамер Дикерсона), В-формы состоящий из 12 пар оснований со следующей последовательностью в соответствии с принятыми протоколами по биомоделированию [10]. Симуляции проводились в плавающей одинарной точности.



Время симуляции – 40нс, временной шаг  $\Delta t = 2$  фс, при постоянной температуре  $T = 300$  К и давлением в 1 атм.

Были получены 20 первичных моделей, каждая из них по 2нс, 10 – взаимодействия метиленового синего ДНК, 10 – взаимодействия бромистого этидия с ДНК.

### Результаты и обсуждения.

В работе представлены результаты время выполнения симуляции для взаимодействия бромистого этидия и метиленового синего с ДНК (додекамер Дикерсона) на CPU, GPU и на CPU+GPU. Версия на GPU реализована при помощи программно-аппаратной архитектуры CUDA.

На рис. 1 показано время расчета в зависимости от числа частиц в рассматриваемой системе для чисел с плавающей точкой одинарной точности.

Из рис. 1 видно, что GPU, по сравнению с CPU в 6.3–8.0, быстрее, а существенного различия между GPU и CPU+GPU не видно.

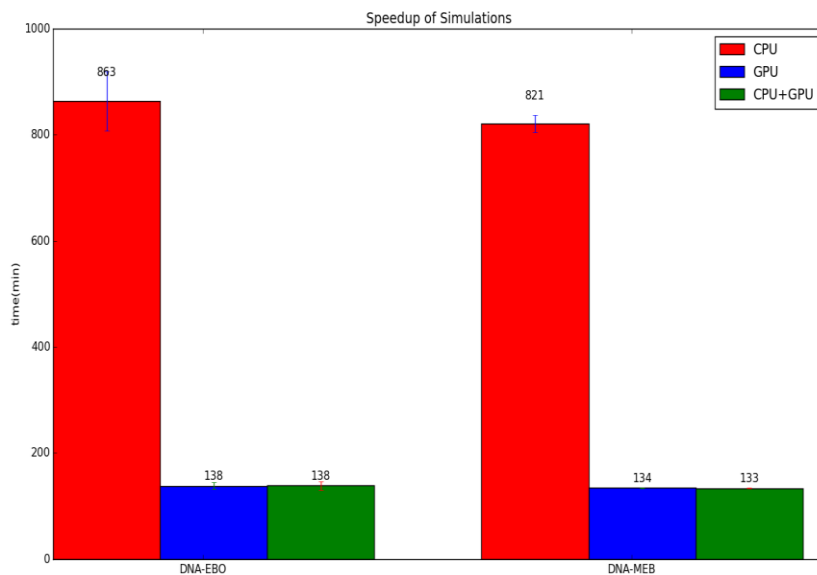


Рис.1 Время выполнения симуляции для взаимодействие бромистого этидия и метиленово синего с ДНК (додекамер Дикерсона).

На рис. 2 показано время расчета в зависимости от числа частиц в рассматриваемых системах. Таким образом, можно сделать вывод, что достигнута очень хорошая производительность на GPU, благодаря ускорению проведения расчетов, по сравнению с CPU, в 6.3–8.0 раз.

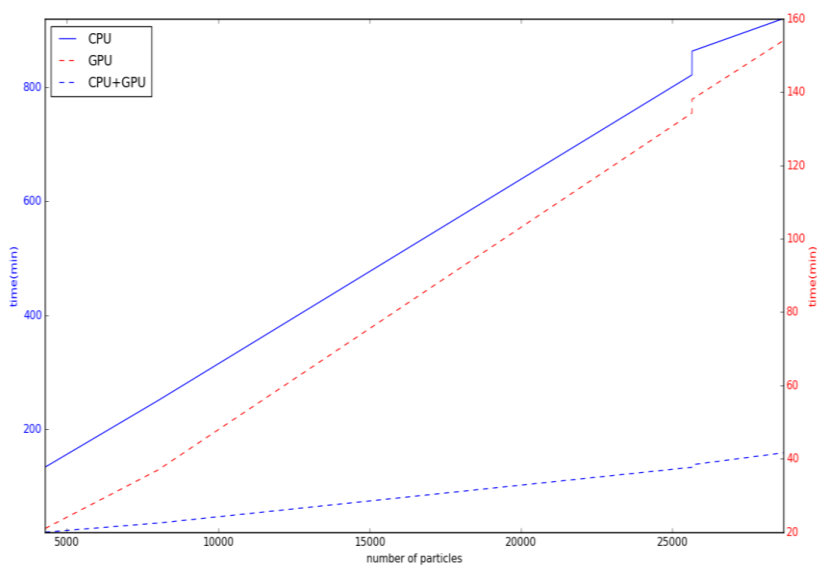


Рис.2 Время выполнения в зависимости от числа частиц с плавающей запятой одинарной точности.

Использование GPU позволяет достичь хорошего ускорения, путем снижения общей вычислительной сложности алгоритма. Реализация структуры данных на GPU является перспективным направлением для ускорения проведения расчетов рассматриваемых задачах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Rapaport D.C.* The art of molecular dynamics simulation. 2004. P. 400.
2. NVIDIA. Compute Unified Device Architecture (CUDA) Programming Guide, version 1.0 edition.
3. *Hess B., Kutzner C., Van der Spoel D., E.J.* Chem. Theory Comput. 4. PP. 435–447, 2008.
4. *John Nickolls, Ian Buck, Michael Garland, Kevin Skadron,* Scalable Parallel Programming with CUDA, ACM Queue, vol. 6 no. 2, March/April 2008. PP. 40–53.
5. *Petterson E., Goddard T., Huang C., et al.* J. Comput Chem., 25(13). PP. 1605–1612, 2004.
6. *Wang J., Wolf R., Caldwell J. et al.,* J. of Comput. Chem 25. PP. 1157–1174, 2004.
7. *Wang J., Wang W., Kollman P., Case D.* J. of Mol. Graph. and Mod., 25. PP. 247–260, 2006.
8. *Marvin.* Chem Axon (<http://www.chemaxon.com>), 2012.
9. SOUSA DA SILVA, A. W. & VRANKEN, W. F. ACPYPE. AnteChamber PYthon Parser interfac E. BMC Research Notes 2012, 5:367 doi:10.1186/1756-0500-5-367 <http://www.biomedcentral.com/1756-0500/5/367>
10. *Macke T., Svrcek-Seiler W.A. et al* A Comp. Lang. for Struc Exp. Updated , 2012.

#### USE OF GPU AS A COPROCESSOR IN THE CALCULATION OF MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS

*H. Grabski, L. Hunanyan*

##### SUMMARY

The aim of the study is the investigation of graphics processing unit(GPU) performance and efficiency for molecular dynamics simulation using GROMACS software package. Comparative analysis of the results obtained for the classical modeling using the main (CPU) and graphics (GPU) showed that the use of GPU as a coprocessor increases productivity and efficiency of computer simulation processes.

**Keywords:** CUDA, GPU, GROMACS, DNA.

#### GPU-Ի ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՈՐՊԵՍ ՀԱՍԱՊՐՈՑԵՍՈՐ ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

*Հ.Վ. Գրաբսկի, Լ.Ս. Հունանյան*

##### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է մոլեկուլային դինամիկայի հաշվարկման գործընթացում տեսաքարտի կատարողականի և արդյունավետության ուսումնասիրությանը, օգտագործելով GROMACS ծրագրային փաթեթը. Համեմատական վերլուծության են ենթարկվել տացված դասական մոդելավորման համար օգտա-

գործվող հիմնական CPU-ի և գրաֆիկական GPU-ի արդյունքները, որոնք ապացուցում են, որ GPU-ի օգտագործումը որպես համապրոցեստր մեծացնում է համակարգչի ինչպես գործունեության արտադրողականությունը այնպես էլ մոդելավորման արդյունավետությունը:

**Հիմնաբառեր**՝ CUDA, GPU, GROMACS, ԴՆԹ:

## ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ МСР-1 В СПИННОМОЗГОВОЙ ЖИДКОСТИ И НАРУШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У КРЫС

*К.С. Ферешетян, М.Э. Айрапетян, М.Л. Мирумян, К.Б. Енкоян*

### АННОТАЦИЯ

Расстройства аутистического спектра (РАС) являются комплексом неврологических нарушений, проявляющиеся стереотипным или повторяющимся поведением, нарушениями вербальной и невербальной коммуникаций. В патогенезе данного расстройства важное значение имеет дисфункция иммунной системы, определяющаяся повышенным уровнем ряда цитокинов в мозговой ткани, спинномозговой жидкости и в плазме крови.

В данной работе нами был определен уровень МСР-1 в цереброспинальной жидкости животных при экспериментальном моделировании РАС на ранних этапах постнатального развития, а также были исследованы некоторые поведенческие реакции животных с целью валидации моделей.

Результаты проведенных экспериментов выявили повышение уровня МСР-1 на 60 день постнатального развития в цереброспинальной жидкости животных при повреждении миндалевидного ядра иботеновой кислотой и механического повреждения червя мозжечка, а также улучшение двигательной координации животных экспериментальной группы.

Таким образом, сопоставляя изменения биохимических и поведенческих данных, можно заключить, что воспаление при РАС индуцирует поведенческие изменения, выраженные улучшением двигательной координации и понижением тревожности.

**Ключевые слова:** расстройства аутистического спектра, моноцитарный хеоматтантантый белок-1, двигательная координация.

### Введение

Расстройства аутистического спектра (РАС) являются комплексом неврологических нарушений, поражающих около 1% детей в США [1]. Типичная симптоматика РАС проявляется уже в раннем возрасте и определяется стереотипным или повторяющимся поведением, нарушениями вербальной и невербальной (напр. глазной контакт) коммуникаций. Согласно пятому изданию руководства по диагностике и статистике психических расстройств (Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders, DSM-V), к РАС относят синдром Аспергера, синдром Каннера, синдром Ретта, детское дезинтегративное расстройство, неспецифическое первазивное нарушение развития [2].

Несмотря на продолжительность исследований, этиология РАС остается неизвестной. Данные последних исследований помимо генетических и средовых факторов указывают также на вовлеченность эпигенетических факторов в генезе

аутизма [3]. Нейровизуализационные и нейрофизиологические исследования, проведенные у многих детей, страдающих РАС, выявили пре- и постнатальные нарушения развития разных отделов головного мозга, в частности, мозжечка, миндалевидного тела, вентромедиальной префронтальной и фронтоорбитальной коры [4]. Многие исследования доказывают наличие дисфункции иммунной системы при расстройствах аутистического спектра. В частности, наблюдается активация микроглии, повышение уровня провоспалительных цитокинов в мозговой ткани, цереброспинальной жидкости в плазме крови, а также повышенный синтез цитокинов периферическими мононуклеарными клетками крови [5].

В связи с этим, в данной работе нами был определен уровень моноцитарного хемоаттрактантного белка-1 в цереброспинальной жидкости животных при экспериментальном моделировании расстройств аутистического спектра, а также было проведено исследование поведения животных с целью валидации моделей.

Моноцитарный хемоаттрактантный белок-1 (Monocyte chemoattractant protein 1, MCP-1) известен как сигнал активации и миграции моноцитов, Т-клеток в зону поврежденной ткани. В центральной нервной системе MCP-1 также модулирует процесс миграции миелоидных клеток в зону воспаления или повреждения, т.н. при ишемии, болезни Альцгеймера и экспериментальном аутоиммунном энцефаломиелите [6]. Многие группы, исследовавшие уровень MCP-1 в разных структурах головного мозга, а также в сыворотке крови у детей, страдающих аутизмом, доказывают повышение его уровня. Очень часто повышенная продукция MCP-1 связана с нарушением нормальных поведенческих реакций и адаптивных функций [7].

## **Материалы и методы.**

### ***Животные***

Эксперименты проводились на лабораторных белых беспородных крысах, предоставленных вивариумом Медицинского государственного университета им. Гераци (ЕГМУ), согласно правилам Этического комитета ЕГМУ. Исследования проводились на новорожденных животных, которые до 30 дневного возраста содержались с матерью. После чего были изолированы и содержались в стандартных условиях вивария, в пластиковых клетках с мелкой древесной стружкой, не более 4 особей в клетке, корм и воду получали без ограничений.

### ***Экспериментальное моделирование РАС***

Хирургическое вмешательство проводилось на 7 день постнатального развития животных в условиях гипотермической анестезии путем билатерального введения иботеновой кислоты разведенной в натрий-фосфатном буфере (3µg/0.3µl) и эквивалентного объема физиологического раствора животным контрольной группы. Животные фиксировались в стереотаксическом аппарате, модифицированным для работы с новорожденными. Для повреждения миндалевидного ядра использовались следующие координаты: ±3.8 мм латерально от срединной линии, 1 мм каудальнее от брегмы, игла вводилась на глубину 6 мм

от внутренней поверхности черепа под углом  $4^\circ$ . Для введения раствора иботеновой кислоты использовался шприц Гамильтона 10 мкл (Hamilton Co, GAS-TIGHT®1801), скорость введения составляла 0.1 мкл/мин, игла оставлялась на месте введения в течение 3 минут, после чего извлекалась. Кожа зашивалась путем наложения простого узлового шва, рана обрабатывалась антибиотиком широкого спектра (бицилин 5). Повреждение червя мозжечка производилось в тех же условиях, в качестве стереотаксических координат использовалась точка ниже пересечения ламбдовидного и стреловидного швов черепа.

#### ***Поведенческие исследования***

На 30–35 и 60–65 дни постнатального развития животные контрольной и экспериментальной групп проходили тестирование в «приподнятом крестообразном лабиринте» и на «ротароде».

Тест «приподнятый крестообразный лабиринт» был выбран в качестве одного из широко используемых для оценки тревожного состояния животного. Установка представляет из себя приподнятый на 50 см от пола лабиринт с двумя открытыми и двумя закрытыми рукавами длиной 50 см и шириной 10 см. Животное помещалось в центре лабиринта носом в закрытый рукав, дальнейшее поведение регистрировалось видеокамерой в течение 5 минут. Исследовались следующие поведенческие показатели: число входов/выходов в открытые и закрытые рукава лабиринта, длительность нахождения в открытых рукавах, в центре и закрытых рукавах лабиринта.

Для исследования двигательной координации и двигательной памяти животных был выбран тест вращающегося цилиндра “RotaRod”. Животные помещались на вращающийся с постоянной скоростью цилиндр по направлению движения. На продолжительности трех минут фиксировалось время падения животного. После чего животное возвращалось в клетку с кормом и водой. Тестирование повторялось трижды с интервалом 15 минут, скорость вращения цилиндра менялась 20 об/мин, 25 об/мин, 29 об/мин, соответственно. После каждого животного поверхность цилиндра обрабатывалась 30% спиртовым раствором.

#### ***Биохимические исследования***

На 60 день постнатального развития проводилась пункция цереброспинальной жидкости под уретановым наркозом (1.2г/кг) [8]. Для определения МСР-1 использовался метод иммуоферментного анализа (ИФА). МСР-1 выявляли с помощью коммерческого набора ratMCP-1 assay kit (REF JP17176, IBL International GMBH, Germany).

### **Результаты исследований и их обсуждение**

#### ***Изменение уровня МСР-1 в цереброспинальной жидкости***

Результаты проведенных экспериментов выявили, что при повреждении амигдалы иботеновой кислотой концентрация МСР-1 на 60 день постнатального развития в цереброспинальной жидкости составила  $36,72 \pm 4.8$  pg/ml, что в 0.9 раз выше интактного и в 1.2 раз контрольного значений. При моделировании моз-



жечкового повреждения на 60 день постнатального развития концентрация МСР-1 в цереброспинальной жидкости составила  $41,03 \pm 6.1$  pg/ml, что в 1.3 раза выше контрольного показателя (Рис. 1).

Как при повреждении амигдалы иботеновой кислотой, так и при механическом повреждении мозжечка концентрация МСР-1 в цереброспинальной жидкости росла: если в группе «амигдала», наблюдалась тенденция к повышению, то в группе «мозжечок» повышение было явным. При обсуждении модели «амигдала» мы считаем более целесообразным сравнение данных экспериментальной группы животных с данным контрольной группы, нежели интактной. Тот факт, что в группе «амигдала» концентрации МСР-1 выросла менее выражено, по сравнению с мозжечковой, свидетельствует о том, что, по всей вероятности, мозжечковое повреждение приводит к более выраженной хронизации воспаления. В обоих случаях повреждение было сделано на 7 день постнатального развития, что соответствует первому постнатальному дню развития человеческого головного мозга, а детекция МСР-1 в цереброспинальной жидкости – на 60-ый постнатальный день развития, что соответствует 5-летнему возрасту человека. Фактически, воспалительный фактор, индуцируемый моноцитами, или остается активным на протяжении всего времени, или экспрессирует в какой-то конкретный, нам неизвестный срок. Если исходить от той идеи, что фактор повышается сразу после повреждения (что наиболее вероятно, так как иботеновая кислота является экайотоксичной, а удаление вермиса само по себе индуцирует воспаление как минимум на месте повреждения), то поддержание высокого уровня МСР-1 на протяжении двух месяцев, по всей вероятности, свидетельствует о наличии медленно протекающего хронического воспаления с разной степенью выраженности в зависимости от модели экспериментального аутизма. Тот факт, что в модели «амигдала» концентрация МСР-1 после введения иботеновой кислоты повышается более существенно, по сравнению с интактной (15.7%), а не контрольной группой (9,2%), возможно обусловлен фактором механического повреждения, который в случае амигдалы принципиален, исходя из «точечных» размеров ядра.

#### ***Поведение животных в тестах “rotarod” и «приподнятый крестообразный лабиринт»***

Результаты проведенных поведенческих тестов выявили, что экспериментальные животные проявляют более координированную двигательную активность, выражающуюся более длительным пробегом на вращающемся цилиндре теста “rotarod”. Данные теста, проведенного на 30 постнатальный день развития, показывают, что животные экспериментальной группы «амигдала» остаются на цилиндре 120 секунд, а животные контрольной группы – 90 секунд. Данные теста, проведенного на 60 постнатальный день развития, соответствуют следующим значениям – 60 и 50 секунд, соответственно. Результаты теста животных с мозжечковым повреждением показывают увеличение времени, проведенного на цилиндре как на 30, так и на 60 дни постнатального развития, соответственно, в 1.5 и 2 раза относительно контроля (Рис. 2).

Исследования поведения животных в тесте “rotarod” показали, что при обеих моделях РАС у животных были нарушены двигательные функции. Это выразилось тем, что при различных скоростях вращения экспериментальные животные падали с цилиндра позже своих контролей. Исходя из этого, возможно утверждение улучшения двигательной координации животных. Это присуще и детям с РАС.

Исследования теста приподнятого крестообразного лабиринта выявили нарушение нормальной поведенческой реакции на 60 постнатальный день развития в группе животных с поврежденной амигдалой. Животные экспериментальной группы в 1.5 больше времени проводят в закрытом рукаве лабиринта, что свидетельствует о пониженной тревожности.

Таким образом, подытоживая приведенные результаты, можно заключить, что апробированные модели имеют общие поведенческие черты с «реальными» расстройствами аутистического спектра. При сопоставлении биохимических изменений и поведенческих реакций можно заключить, что воспаление индуцировало поведенческие изменения, выраженные улучшением двигательной координации и понижением тревожности.

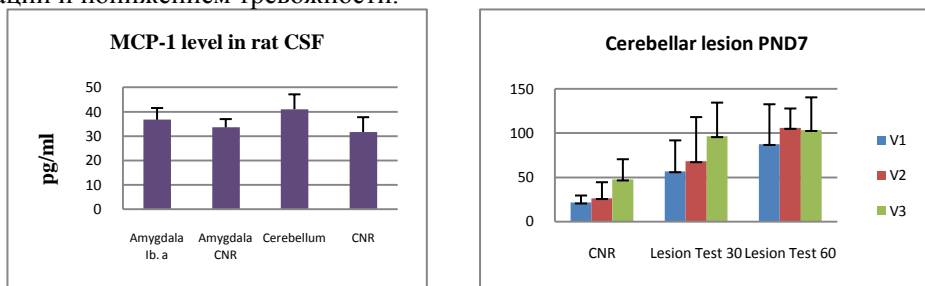


Рис.1. Уровень моноцитарного хемоаттрактантного белка-1 (MCP-1) в спинномозговой жидкости животных разных групп на 60 постнатальный день развития.

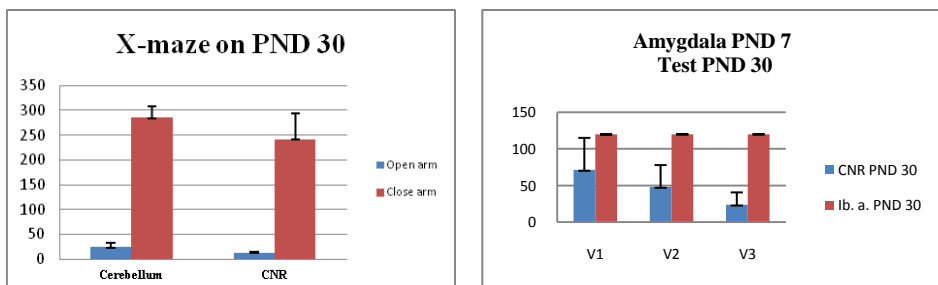


Рис. 2. Время падения животных разных групп с вращающегося цилиндра (тест “Rotarod”).

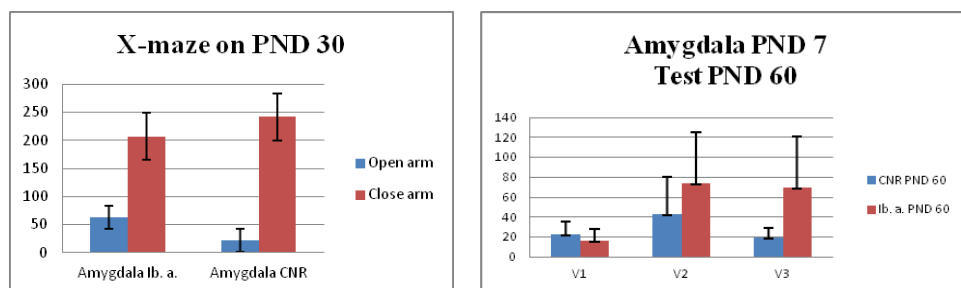
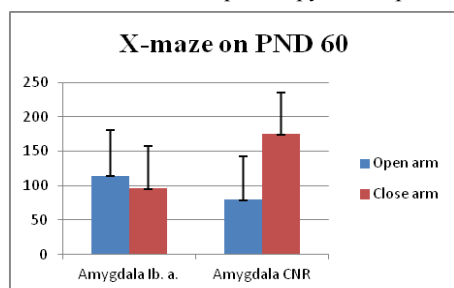


Рис. 3. Время, проведенное животными разных групп в закрытых и открытых рукавах приподнятого крестообразного лабиринта.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Prevalence of autism spectrum disorders – Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 sites, United States, 2008. (2012). *Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries (Washington, DC: 2002)*, 61(3), 1–19. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22456193>
2. Home | APA DSM-5. (n.d.). Retrieved November 14, 2015, from <http://www.dsm5.org/Pages/Default.aspx>
3. Freitag, C.M. (2007). The genetics of autistic disorders and its clinical relevance: a review of the literature. *Molecular Psychiatry*, 12(1), 2–22. <http://doi.org/10.1038/sj.mp.4001896>
4. Bharathi S., Gadad Laura Hewitson, Keith A. Young, and Dwight C. German. Neuropathology and Animal Models of Autism: Genetic and Environmental Factors.
5. Ashwood P. & Wakefield A.J. (2006). Immune activation of peripheral blood and mucosal CD3+ lymphocyte cytokine profiles in children with autism and gastrointestinal symptoms. *Journal of Neuroimmunology*, 173(1–2), 126–34. <http://doi.org/10.1016/j.jneuroim.2005.12.007>
6. Ashwood P., Krakowiak P., Hertz-Picciotto I., Hansen R., Pessah I. N. & Van de Water J. (2011). Associations of impaired behaviors with elevated plasma chemokines in autism spectrum disorders. *Journal of Neuroimmunology*, 232(1–2), 196–199. <http://doi.org/10.1016/j.jneuroim.2010.10.025>
7. Vargas D.L., Nascimbene C., Krishnan C., Zimmerman A.W. & Pardo C.A. (2005). Neuroglial activation and neuroinflammation in the brain of patients with autism. *Annals of Neurology*, 57(1), 67–81. <http://doi.org/10.1002/ana.20315>

8. Liu, L., & Duff, K. (2008). A technique for serial collection of cerebrospinal fluid from the cisterna magna in mouse. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, (21).  
<http://doi.org/10.3791/960>

## CHANGES OF MCP-1 LEVEL IN CSF OF RATS' AND DISTURBANCES IN SOME BEHAVIOURAL REACTIONS IN AUTISM SPECTRUM DISORDERS

*K. Fereshetyan, M. Hayrapetyan, M. Mirumyan, K. Yenkovyan*

### SUMMARY

Autism spectrum disorder (ASD) is a group of complex neurodevelopment disorders characterized by repetitive and stereotype behavior, impaired verbal and nonverbal communication. Immune dysfunction play a main role in the pathophysiology of ASD, which defined by elevated level of different cytokines in brain, cerebrospinal fluid and peripheral blood.

In present study on experimental models of ASD we have determined the level of MCP-1 in rat CSF on 60<sup>th</sup> day of postnatal development of rats after cerebellar and amygdala lessons. Animals were also subjected to behavioral tests for validation of the used models.

The results showed the increase of MCP-1 level in CSF on PND 60 and some abnormal behavioral reactions.

Thus, comparing biochemical and behavioral data it can be concluded that in ASD the inflammation can lead to the changes in rats' behavior, which are expressed in the form up-regulated coordination and down-regulation of anxiety.

**Keywords:** autistic spectrum disorder (ASD), monocytes chemoattractant protein-1, motor coordination.

## МСР-1 ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՌՆԵՏԻ ՈՒՂԵՂ-ՈՂՆՈՒՂԵՂԱՅԻՆ ՀԵՂՈՒԿՈՒՄ և ՈՐՈՇ ՎԱՐՔԱԳԾԱՅԻՆ ՏԵՂԱՇԱՐԺԵՐԸ ԱՌՏԻՍՏԻԿ ՍՊԵԿՏՐԻ ԽԱՆՔԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

*Կ.Ս. Ֆերեշետյան, Մ.Է. Հայրապետյան, Մ.Լ. Միրումյան, Կ.Բ. Ենկոյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աուտիստիկ սպեկտրի խանգարումները (ԱՍԽ) նյանրդաբանական հիվանդությունների խումբ են, որոնք բնութագրվում են միատիպ (կրկնվող) վարքագծով, վերբալ և ոչվերբալ հաղորդակցման խանգարումներով: Աուտիզմի պայթոզներում կարևոր է իմունոլոգիական դիսֆունկցիայի դերը, որն արտահայտվում է մի շարք ցիտոկինների մակարդակի աճով գլխուղեղի տարբեր կառույցներում, ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկում և պերիֆերիկ արյան մեջ:

Ներկայացվող աշխատանքի շրջանակներում որոշվել է MCP-1-ի քանակն առնետների ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկում հետձննդյան զարգացման 60-րդ օրում ուղեղիկի և նշաձև մարմնի վաղ վնասման պայմաններում, ինչպես նաև կատարվել է կենդանիների վարքագծային թեստավորում: Կատարված հետազոտությունների արդյունքները ցույց տվեցին, որ բոլոր փորձարա-

րական խմբերում աճում է MCP-1-ի մակարդակը ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկում և բարելավվում է շարժողական կոորդինացիան:

Այսպիսով, համադրելով կենսաքիմիական և վարքագծային արդյունքները, կարելի եզրակացնել, որ ԱՍԽ-ի դեպքում զարգացող բորբոքային գործընթացը մակաձում է շարժողական կոորդինացիայի բարելավմամբ և տագնապի մարումով արտահայտված վարքագծային տեղաշարժերը:

**Հիմնաբառեր**՝ աուտիստիկ սպեկտրի խանգարումները (ԱՍԽ), մոնոցիտար քեմոատրակտանտ սպիտակուց-1, շարժողական կոորդինացիա:

# ХИМИЯ

## СИНТЕЗ НОВЫХ АНАЛОГОВ 2-ПИРИМИДИНИЛПРОЛИНА<sup>1</sup>

*С.П. Гаспарян, Г.Г. Данагулян*

### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена синтезу новых потенциальных противовирусных соединений, аналогов пиримидинилпролина, содержащих структурные фрагменты известных препаратов **AZT** и **НЕРТ**, используемых для лечения ВИЧ-инфекций. Синтезы осуществлены конденсацией соответствующих замещенных 6-аминопиримидинов с 2-пирролидонами.

**Ключевые слова:** *C*-азануклеозид, модификация нуклеозидов, вирус, ВИЧ-инфекция, противовирусный препарат.

### Введение

В основе современной стратегии синтеза лекарственных средств против ВИЧ лежат представления о строении и жизненном цикле вирусной частицы (вириона). Жизненный цикл ВИЧ состоит из нескольких последовательных стадий, и воздействие на инфекцию может быть оказано на любом из этих этапов. Одной из основных мишеней является фермент обратной транскриптазы. Генетическая информация большинства существующих в природе клеток и вирусов закодирована в виде ДНК. У ВИЧ она закодирована в РНК и для этого вирус использует фермент под названием «обратная транскриптаза», с помощью которого РНК превращается в ДНК. На этом этапе вирусу можно помешать и такое действие оказывают противоретровирусные препараты, которые называются ингибиторами обратной транскриптазы. Ингибитор избирательно, по принципу ключ-замок, реагирует с определенными химическими группировками активного центра – особого участка белковой молекулы фермента, который обеспечивает его специфическое соединение с субстратом и каталитическую активность. Молекула ингибитора должна наилучшим образом соответствовать пространственному рельефу и природе химических групп активного центра фермента.

Хорошо известны и широкое применение нашли нуклеозидные аналоги ингибиторов обратной транскриптазы – **NRTIs**, структура которых состоит из гетероциклической основы (в частности, пиримидинов) и сахаров. Первым из **NRTIs**, принесшим реальный успех в лечении и профилактике ВИЧ-инфекции, был 3'-азидо-2',3'-дидезокситимидин (**AZT**), который является производным пиримидинового нуклеозида тимидина.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Программы развития Российско-Армянского университета, финансируемой из бюджета РФ.

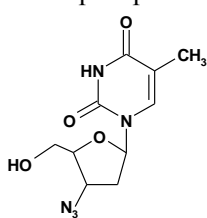
С другой стороны, предложены и исследуются соединения, предназначенные непосредственно для связывания обратной транскриптазы в устойчивый комплекс фермент – субстрат. Они получили название ингибиторы обратной транскриптазы ненуклеозидной природы – **NNRTIs**. Пространственная конфигурация функциональных групп молекул **NNRTIs**, по замыслу ученых, наилучшим образом отвечает объемному рельефу и химической природе активного центра фермента. Одним из представителей **NNRTIs** является 1-(2-гидроксипропан-2-ил)-6-(фенилтио)тимин (**HEPT**) [1].

### Методы и обсуждение результатов

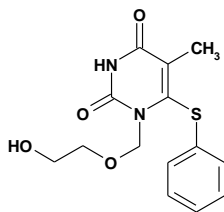
Модификация нуклеозидов уже давно признана в качестве важного подхода для улучшения противовирусной или противоопухолевой активностей [2–4]. В отличие от естественных нуклеозидов, в *C*-нуклеозидах рибофуранозильная группировка связана с гетероциклическим основанием через *C*-*C* связь, и эта гликозидная связь более стабильна к гидролизу и реакции ферментов. Кроме того, остаток сахара *C*-нуклеозидов, где кислород заменен атомом азота, образует иной важный класс – *C*-азануклеозиды, которые способны ингибировать гликогидролазы (glycohydrolases), отвечающие за расщепление гликозидных связей [5–7].

В литературе известны различные методы синтеза *C*-азануклеозидов, в частности, такие, как с использованием реакции Хека, 1,3-диполярных циклоприсоединений, *C*-нуклеозидирование по типу Манниха, циклизация  $\gamma$ -азидокетон по Штаудингер-аза-Виттигу и т.д. [8–15]. Однако эти методы трудоемки и многостадийны, следовательно, разработка новых более доступных методов синтеза является актуальной задачей.

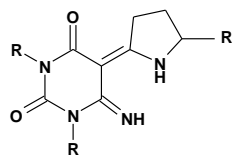
Ранее нами был разработан и осуществлен одностадийный синтез новых производных *C*-азануклеозидов – пиримидинилпролинов в условиях реакции Вильсмейера [16]. Последние являются модифицированными аналогами противовирусного препарата **AZT**.



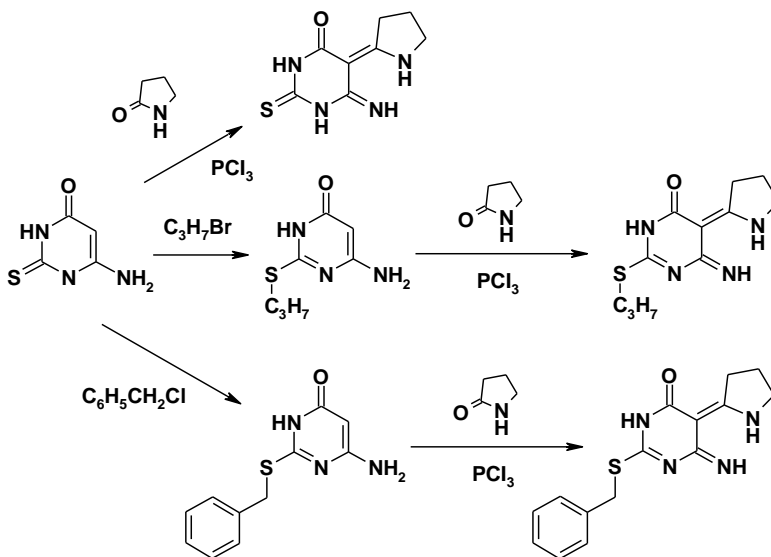
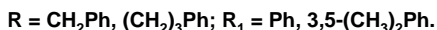
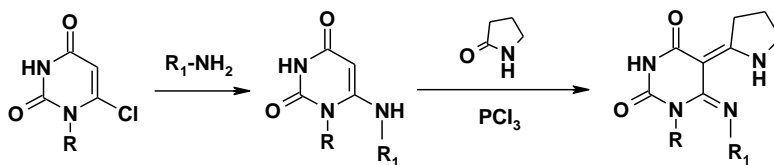
AZT



HEPT

R = H, Me; R<sub>1</sub> = H, CH<sub>2</sub>OH, COOMe.

В данной работе мы приводим получение новых аналогов пиримидинилпролина, содержащих структурные элементы как **AZT**, так и **HEPT**. Конечные продукты были синтезированы конденсацией соответствующих 6-аминопиримидинов с 2-пирролидонами по той же разработанной нами методике [17].



Строения всех синтезированных соединений подтверждены результатами элементного анализа, ИК- и ЯМР спектров и вещества должны пройти биологические исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *De Clercq E.* Nat Rev Drug Discov., 2002, 1. P. 13.
2. *Slater M., Amphlett E., Andrews D.* Med. Chem., 2007, 50. P. 897.
3. *Butora G., Olsen D., Carroll S.* Bioorg. Med. Chem., 2007, 15. P. 5219.
4. *Guntaka R., Varma B., Weber K.* Int. J. Biochem. Cell Biol., 2003, 35. P. 22.
5. *Yokoyama M., Toyoshima H., Shimizu M., Togo H.* J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1997. P. 29.
6. *Ganem B., Papandreou G.* J. Am. Chem. Soc., 1991, 113. P. 898.
7. *Schramm V.* Annu. Rev. Biochem., 1998, 67. P. 693.
8. *Furneaux R., Limberg G., Tyler P., Schramm V.* Tetrahedron, 1997, 53. P. 2915.
9. *Yokoyama M., Ikeue T., Ochiai Y.* J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1998. P. 2185.
10. *Wong C., Provencher L., Poroco J. J.* Org. Chem., 1995, 60. P. 1492.
11. *Chen X., Link T., Schramm V.* J. Am. Chem. Soc., 1996, 118. P. 3067.
12. *Hainke S., Arndt S., Seitz O.* Org. Biomol. Chem., 2005, 3. P. 4233.
13. *Wellington K., Benner S.* Nucleosides, Nucleotides, Nucleic Acids, 2006, 25. P. 1309.
14. *Häberli A., Leumann C. J.* Org. Lett., 2001, 3. P. 489.



15. Kim D., Yoo K., Kim D., Chung B., Park S. Tetrahedron Lett., 1999, 40. P. 4825.
16. Black StC., Bowyer C., Ivory A., Jolliffe K., Kumar N. Tetrahedron, 1996, 52.P. 4687.
17. Martirosyan A., Tamazyan R., Gasparyan S., Alexanyan M., Panosyan H., Martirosyan V., Schinazi R. Tetrahedron Lett., 2010, 51, 2. P. 231.

## SYNTHESIS OF NEW ANALOGS OF 2-PYRIMIDINYLPROLINE

*S. Gasparyan, G. Danagulyan*

### SUMMARY

The work is devoted to the synthesis of new potential antiviral compounds, analogs of pyrimidinylproline containing structural fragments of the known **AZT** and **HEPT** drugs used in treatment of HIV-infections. Syntheses were carried out by condensation of the corresponding substituted 6-aminopyrimidines with 2-pyrrolidones.

**Keywords:** C-azanucleoside, nucleosides modification, virus, HIV-infection, antiviral drug.

## 2-ՊԻՐԻՄԻԴԻՆԻԼՊՐՈԼԻՆԻ ՆՈՐ ԱԾԱՆՑՑԱԼՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶ

*Ս.Պ. Գասպարյան, Գ.Հ. Դանագուլյան*

### ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է պիրիմիդինիլպրոլինի ածանցյալներ հանդիսացող նոր, պոտենցիալ հակավիրուսային միացությունների սինթեզին, որոնք իրենց կառուցվածքում պարունակում են ՄԻԱՎ-վարակի բուժման համար հայտնի դեղամիջոցներ **AZT**-ի և **HEPT**-ի կառուցվածքային էլեմենտներ:

**Հիմնաբառեր՝** C-ազանուկլեոզիդներ, նուկլեոզիդների մոդիֆիկացիա, վիրուս, ՄԻԱՎ-վարակ, հակավիրուսային դեղամիջոց:

**СИНТЕЗ И РЕАКЦИИ**  
**(Z)-4-(4-(4,6-ДИФЕНОКСИ-1,3,5-ТРИАЗИН-2-ИЛОКСИ)БЕНЗИЛИДЕН)-2-ФЕНИЛОКСАЗОЛ-5(4Н)-ОНА**

*Г.Т. Гукасян, В.О. Топузян*

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье изучена возможность синтеза 4-(4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси)-бензилиден)-2-фенилоксазол-5(4Н)-она в условиях реакции Эленмейера, используя микроволновое и обычное нагревание. Осуществлен синтез некоторых амидов с применением вышеупомянутого ненасыщенного оксазолана.

**Ключевые слова:** 2,4,6-тризамещение 1,3,5-триазины, 5(4Н)-оксазоланы, амиды □, □-дегидроаминокислот.

Ненасыщенные 5(4Н)-оксазоланы нашли широкое применение в органическом синтезе представителей разнообразных классов соединений. В литературе имеются различные примеры применения этих синтонов в синтезе аминокислот [1], кетокилот [2], аминспиртов [3] или различных гетероциклических систем [4–7]. 5(4Н)-Оксазоланы также представляют интерес в качестве биологически активных веществ [8–10]. Известно также, что производные сим-триазина тоже проявляют физиологическую активность [11–14]. Исходя из вышесказанного, является актуальным синтез ненасыщенного 5(4Н)-оксазолана, содержащего остаток 1,3,5-триазина.

Нами осуществлен синтез 4-(4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси)бензилиден)-2-фенилоксазол-5(4Н)-она (**4**) по схеме:

Синтез **4** проводился в условиях реакции Эрленмейера при нагревании с помощью микроволнового облучения. Исходный 4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси) бензальдегид (**3**) синтезирован взаимодействием 2-хлор-3,6-дифе-

нокси-1,3,5-триазина (**1**) с 4-гидроксибензальдегидом в смеси ацетон-вода, 1:1 в присутствии карбоната калия. Нами установлено, что при соотношении хлорида **1** и альдегида **2** 1:1, реакция при комнатной температуре не заканчивается в течение 24 часов. В случае же избытка альдегида **2** (1:1.2), согласно данным ТСХ, полный расход хлорида **1** наблюдается уже через 15 ч.

Взаимодействие альдегида **3** с гиппуровой кислотой осуществляли в среде уксусного ангидрида при различных температурах. В качестве катализаторов реакции Эрленмейера были применены ацетаты натрия, кобальта и цинка, а также окись цинка. Полученные данные приведены в таблице. Как видно из таблицы, со сравнительно высокими выходами соединение **4** получается при проведении реакции в присутствии ацетата натрия при 100°C (оп.6). При использовании в качестве катализатора ацетата кобальта, по сравнению с ацетатом натрия, выходы целевого продукта **4** низкие (оп. 1,2,6,8 и 11,13). В присутствии ацетата цинка последний образуется лишь в ничтожных количествах, тогда как при применении в качестве катализатора окиси цинка выход оксазолон 4 составляет 27% (оп.15).

При изучении влияния температуры на выход целевого продукта **4** оказалось, что при 80°C в течение 10 мин (оп.1) соединение **4** получается с низким выходом, в то время, как после 10-минутного нагревания реакционной смеси при 100°C выход его достигает до 50% (оп.5). Однако с дальнейшим повышением температуры наблюдается снижение выхода целевого продукта **4** (оп.11,17,20), в то время как увеличение времени нагревания реакционной смеси до 30 мин при 100°C (оп.6,7) способствует повышению выхода соединения **4**. Однако дальнейшее нагревание до 60 мин не приводит к положительным результатам (оп.8). Следует также отметить, что при высоких температурах (140 и 150°C) увеличение времени нагревания реакционной смеси от 5 до 15 мин тоже отрицательно влияет на выход целевого продукта **4** (оп.17–21).

#### Таблица

*Зависимость выхода 4-(4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси)-бензилиден)-2-фенилоксазол-5(4H)-она (**4**) при синтезе нагреванием с микроволновым облучением от условий проведения реакции и катализатора.*

№ опыта	Условия реакции		Катализатор	Выход, %
	температура, оС	время облучения, мин.		
1	2	3	4	5
1	80	10	CH <sub>3</sub> COONa	24.7
2		30	CH <sub>3</sub> COONa	40.1
3		30	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Co	25.7
4		60	CH <sub>3</sub> COONa	41.4

1	2	3	4	5
5	100	10	CH <sub>3</sub> COONa	50.6
6		15	CH <sub>3</sub> COONa	54.8
7		30	CH <sub>3</sub> COONa	70.4
8		60	CH <sub>3</sub> COONa	64.5
9		30	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Co	62.0
10		30	ZnO	20.6
11	120	5	CH <sub>3</sub> COONa	20.6
12		10	CH <sub>3</sub> COONa	41.0
13		15	CH <sub>3</sub> COONa	42.5
14		10	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Co	37.9
15		10	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Zn	следы*
16		10	ZnO	27.6
17	140	5	CH <sub>3</sub> COONa	37.9
18		10	CH <sub>3</sub> COONa	33.6
19		15	CH <sub>3</sub> COONa	30.5
20	150	5	CH <sub>3</sub> COONa	37.9
21		10	CH <sub>3</sub> COONa	35.1

\*обнаруживается с помощью ТСХ.

Исходя из вышесказанного, реакцию синтеза целевого азлактона осуществляли при нагреванием на кипящем водяном бане в течение 30 мин. При этом, оксазолон 4 получен 72%-ным выходом.

Исследовали также возможность синтеза некоторых амидов N-бензоил-, □, □-дегид- ро-3-(2,4-дифенокси-1,3,5-триазин-6-ил)-аланина (5).

R = а) C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>; б) CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>; в) CH<sub>2</sub> CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>;

Реакцию азлактона **4** с аминами проводили в среде бензола при комнатной температуре или при кипячении реакционной смеси. Амиды **5** получены с выходом 57–81%.

Таким образом, нами разработан удобный метод синтеза 4-(4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси)бензилиден)-2-фенилоксазол-5(4Н) – она реакцией гиппуровой кислоты с 4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси) бензальдегидом в условиях реакции Эрленмейера в присутствии ацетата натрия. Согласно данным ЯМР спектра оксазолон, **4** винильный протон проявляется при 7.30 м.д., что свидетельствует о его Z-конфигурации.

### Экспериментальная часть

Спектры ЯМР <sup>1</sup>H - на приборе “Varian Mercury 300VX” с рабочей чистотой 300.08 МГц в растворе ДМСО-d<sub>6</sub>. ТСХ проведена на пластинках “TLC Silicagel 60 F<sub>254</sub>”, элюент – бензол – метанол 10:1, проявитель – УФ-лучи и пары йода. 2-Хлор-4,6-дифенокси-1,3,5-триазин получен по методике [15].

### Синтез соединения 3.

К раствору 4 ммоль 4-гидроксibenзальдегида и 3,34 ммоль карбоната калия в 10 мл воды при перемешивании добавляют раствор 3,34 ммоль 2-хлор-4,6-дифенокси-1,3,5-триазина в 10 мл ацетона. Смесь перемешивают при комнатной температуре 20 ч, при этом выпадает белый осадок, который отфильтровывают, промывают водой и сушат на воздухе.

**4-(4,6-Дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси)бензальдегид (3)**. Белые кристаллы, т.пл. 172-175<sup>0</sup>С, выход 95,6%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 7.12-7.17 (4Н, м, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 7.22 (2Н, тт, J<sub>1</sub>=7.4, J<sub>2</sub>=1.2, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>); 7.33-7.40 (6Н, м, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 7.89-7.94 (2Н, м, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>); 9.97 (1Н, с, СНО). Найдено, %: С 68.07; Н 4.11; N 10.46. C<sub>22</sub>H<sub>15</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Вычислено, %: С68.56; Н 3.92; N 10.90.

### Синтез соединения 4.

Смесь 0.56 ммоль гиппуровой кислоты, 0.56 ммоль 4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-триазин-2-илокси) бензальдегида, 0.56 ммоль ацетата натрия (0.185 ммоль ацетата кобальта, 0.185 ммоль ацетата цинка или 0.185 ммоль окиси цинка) в 2 мл уксусного ангидрида нагревали с микроволновым облучением от 5 до 60 мин (см. табл.). К реакционной смеси добавляли 3 мл воды и оставляли при комнатной температуре 12 ч. Выпавший при этом осадок отфильтровывали, промывали водой и сушили на воздухе. Затем к осадку добавляли 3 мл ацетона и оставляли при комнатной температуре несколько часов, потом осадок отфильтровывали, промывали ацетоном и сушили на воздухе.

**2-Фенил-4-(4-(4,6-дифенилокси-1,3,5-три-азин-2-илокси)бензилиден-5-оксазолон (4)**. Желтые кристаллы. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 7.13-7.25 (6Н, м,

$C_6H_5$ ); 7.28-7.41 (6H, м,  $C_6H_5$ ); 7.30 (1H, с,  $CH=$ ); 8.16-8.21(2H, м,  $C_6H_4$ ); 8.27-8.32 (2H, м,  $C_6H_4$ ).

Найдено, %: С 70.06; Н 4.01; N 10.85.  $C_{31}H_{20}N_4O_5$ . Вычислено, %: С 70.44; Н 3.81; N 10.60.

### Синтез соединения 5.

К смеси соединения 4 (0.19 ммоль) и 10 мл бензола добавляют 0.2 ммоль соответствующего амина и оставляют при комнатной температуре 24 ч или нагревают на водяной бане 12 ч. При этом выпадает осадок, который отфильтровывают и сушат на воздухе. Перекристаллизацию проводят из бензола.

**(Z)-N-(1-(4-(4,6-дифенокси-1,3,5-триазин-2-илокси)фенил)-3-оксо-3(фениламино)проп-1-ен-2-ил)бензамид (5a)**. Белые кристаллы, т.пл. 135-138 $^{\circ}C$ , выход 57%. Спектр ЯМР  $^1H$  □ м.д., J Гц: 7.00-8.10 (24H, м, аромат. 1H NH); 7.18 (1H, с,  $CH=$ ); 10.02 (1H, с, NH). Найдено, %: С 71.48; Н 4.37; N 11.27.  $C_{37}H_{27}N_5O_5$ . Вычислено, %: С 71.38; Н 4.27; N 11.06.

**(Z)-N-(3-(бензиламино)-1-(4-(4,6-дифенокси-1,3,5-триазин-2-илокси)фенил)-3-оксопроп-1-ен-2-ил)бензамид (5a)**. Белые кристаллы, т.пл. 114-117 $^{\circ}C$ , выход 60%. Спектр ЯМР  $^1H$  □ м.д., J Гц: 4.42 (2H, с,  $CH_2$ ); 7.18 (1H, с,  $CH=$ ); 7.10-8.10 (24H, м, аромат.); 8,48 (1H, т, NH); 9,48 (1H, с, NH). Найдено, %: С 71.79; Н 4.37; N 11.02.  $C_{38}H_{29}N_5O_5$ . Вычислено, %: С 71.69; Н 4.27; N 10.81.

**(Z)-N-(1-(4-(4,6-дифенокси-1,3,5-триазин-2-илокси)фенил)-3-оксо-3(фенетиламино)проп-1-ен-2-ил)бензамид (5b)**. Белые кристаллы, т.пл. 112-115 $^{\circ}C$ , выход 82%. Спектр ЯМР  $^1H$  □ м.д., J Гц: 2.80 (2H, т,  $CH_2$ ); 3.42 (2H, к,  $CH_2$ ); 7.20 (1H, с,  $CH=$ ); 7.04-8.60 (24H, м, аромат.); 7,90 (1H, т, NH); 9,80 (1H, с, NH). Найдено, %: С 72.09; Н 4.81; N 10.78.  $C_{39}H_{31}N_5O_5$ . Вычислено, %: С 71.99; Н 4.71; N 10.57.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Lamb J., Robson W. // Biochem. J., 1931, v.25. P. 1231.
2. Jones W.D. // J. Chem. Soc., Perkin Trans, 1, 1981. P. 344.
3. Ismail M.I. // Can. J. Chem., 1991, v.69. P. 1886.
4. Stahel H.D., Harigel K.K. // Arch. Pharm., 1969, Bd. 302, No9, s. 654.
5. Arno M., Picher M.T., Domingo L.R., Andres J. // Chem. Eur. J., 2004, v. 10. P. 4742.
6. Habib O.M.O., Hassan H.M., Moawad E.B., El-Mekabaty A. // Int. J. of Modern Org. Chem., 2013, v.2. P. 11.
7. Топузьян В.О., Манвелян А.Р., Григорян В.В., Тамазян Р.А., Айвазян А.Г. // ЖОрХ, 2013, т.49, вып. 6. С. 901.
8. Gilbert A.M., Kirisits M., Toy P., Nunn D.S., Failli A., Dushin E.G., Novikova E., Petersen P.J., Joseph-McCarthy D. // Bioorg. Med. Chem. Lett., 2004, v.14. P. 37.
9. Tandon M., Coffen D.L., Gallant P., Keith D., Ashwell M.A., // Bioorg. Med. Chem. Lett., 2004, v.14, 1909.
10. Khan K.M., Mughal U.R., Khan M.T.H., Ullah Z., Perveen S., Choudhary M.I. // Bioorg. Med. Chem., 2006, v.14. P. 6027.

11. *Pomarnacka E., Bednarski P., Grunert R., Reszka P.* // Acta Polon. Pharm., 2004, v.61, No6. P. 461.
12. *Sharma C.H., Sharma S., Hussain N., Talesara G.L.* // J. Ind. Council Chem., 2009, v.26, No1. P. 31.
13. *Sarmah K.N., Sarmah N.K., Kurmi K.B., Patel T.V.* // Adv. Apl. Sci. Res., 2012, v.3, No3. P. 1459.
14. *Gautam N., Chourasia O.P.* // Indian J. Chem., 2012, v.51B. P. 1400.

## SYNTHESIS AND REACTIONS OF (Z)-4-(4-(4,6-DIPHENOXY-1,3,5-TRIAZINE-2-YLOXY)BENZYLIDENE)-2-PHENYLOXAZOLE-5(4H)-ONE

*G. Ghukasyan, V. Topuzyan*

### SUMMARY

It has been studied the ability of synthesis of the (Z)-4-(4-(4,6-diphenoxy-1,3,5-triazin-2-iloxy)benzilidene)-2-phenyloxazole-5(4H)-one in Elenmeyer's reaction conditions applying microwave and common heating. It has been carried out the synthesis of some amides applying aforementioned unsaturated oxazolone.

**Keywords:** 2,4,6-trisubstituted 1,3,5-triazines, 5(4H)-oxazolones, amides of a, b-dehydroamino acids.

## (Z)-4-(4-(4,6-ԴԻՖԵՆՈՔՍԻ-1,3,5-ՏՐԻԱԶԻՆ-2-ԻԼՕՔՍԻ)ԲԵՆԶԻԼԻԴԵՆ-2-ՖԵՆԻԼՕՔՍԱԶՈՆԼ-5(4H)-Ի ՍԻՆԹԵԶԸ և ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐԸ

*Գ.Տ. Դուկասյան, Վ.Օ. Թոփուզյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ուսումնասիրվել է (Z)-4-(4-(4,6-դիֆենօքսի-1,3,5-տրիազին-իլօքսի)բենզիլիդեն-2-ֆենիլօքսազոլ-5(4H)-ի սինթեզի հնարավորությունը Էլենմեյերի ռեակցիայի պայմաններում՝ կիրառելով միկրոալիքային և սովորական տաքացում: Իրականացվել է որոշ ամիդների սինթեզ՝ վերոհիշյալ օքսազոլոնի կիրառմամբ:

**Հիմնաբառեր՝** 2,4,6-ետտեղակալված 1,3,5-տրիազիններ, 5(4H)-օքսազոլոններ, a, b-դեհիդրամինոթթուների ամիդներ:

# ВВЕДЕНИЕ ФАРМАКОФОРНЫХ ГРУПП В ПИРИДИНЫ И ПИРАЗОЛО[1,5-А]-ПИРИМИДИНЫ ЧЕРЕЗ РЕЦИКЛИЗАЦИИ ИОДМЕТИЛАТОВ ПИРИМИДИНА<sup>1</sup>

*Г.Г. Данагулян*

## АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена двум новым перегруппировкам иодметилатов амидов и эфиров пиримидинилуксусной кислоты, протекающим под действием аминов и гидразидов карбоновых кислот, содержащих фармакофорные группы. В результате реакций образуются труднодоступные иными путями производные никотиновой кислоты и пиаазоло [1,5-а]пиримидина.

**Ключевые слова:** пиримидин, амин, перегруппировка, пиаазоло[1,5-а]-пиримидин, пиридин.

## Введение

Производные пиридина и пиримидина так же, как конденсированные системы на базе пиримидина (пиаазоло[1,5-а]пиримидин, триазоло[1,5-а]пиримидин), содержащие мостиковый атом азота, лежат в основе многих лекарств, они проявляют анальгетическую, противоопухолевую, противотуберкулезную, психотропную, антивирусную, противосудорожную активности. Поэтому нахождение и разработка новых методов синтеза перечисленных систем представляется актуально и практически важной задачей.

В наших предыдущих работах были найдены превращения, протекающие через межклассовые рециклизации. Они приводили к получению производных никотиновой кислоты и пиаазоло[1,5-а]пиримидина. В развитие этих работ мы попытались использовать обнаруженные превращения с внедрением фрагментов аминного реагента или радикала карбоновой кислоты для введения различных фармакофорных групп, в том числе и содержащих биоактивные гетероциклы, в производные замещенной никотиновой кислоты или пиаазоло[1,5-а]пиримидина.

## Содержание и результаты.

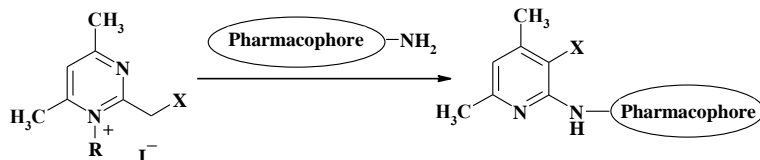
Изучены реакции иодидов 1,4,6-триметил-2-(этоксикарбонил)метил пиридиния, а также соответствующих амидов и нитрила, с замещенными в азоловом кольце N-алкиламинами, а также биогенными аминами – триптамином и октопамином. Во всех опытах основным продуктом превращений был продукт перегруппировки с включением фрагмента соответствующего аминного реагента.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Российско-Армянского гранта 13RF-087 Комитета науки Мин.Обр.Науки РА и РФФИ, а также «Программы развития Российско-Армянского университета».



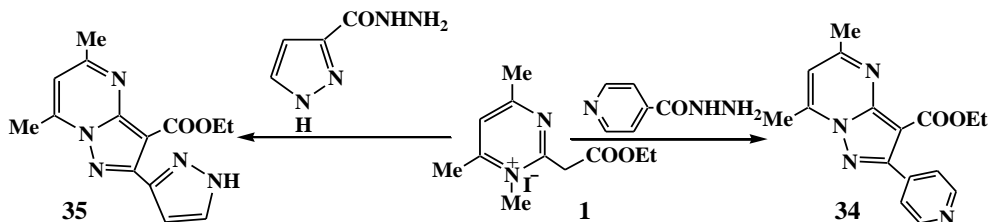
та. Частично реакция протекает и по схеме изомеризационных енаминовых рециклизаций, приводя к получению этилового эфира (амида или нитрила) 2-метиламино-4,6-диметилникотиновой кислоты и незначительно - продукту деметилирования исходной соли.



Бис-гетероарильные системы, содержащие фрагмент реагента, образуются при взаимодействии того же исходного иодида 1,4,6-триметил-2-(этоксикарбонил) метил пиридиния с гидразидами различных азолил- и азинил-содержащих карбоновых кислот. В результате рециклизаций были получены производные бициклической системы – пиразоло[1,5-а]пиридинина, содержащие гетероарильный фрагмент гидразида в пиразольной части молекулы образующегося пиразоло[1,5-а]пиридинина. Реакция протекает за счет замещения одного из атомов азота пиридинового кольца трехатомным N-N-C фрагментом гидразидной функциональной группы.



Важным результатом этих исследований является то, что рециклизации удалось осуществить также под действием реагентов (аминов и гидразидов), содержащих участвующую в перегруппировке функциональную группу непосредственно в гетероарильном кольце. Отметим, что ранее подобные рециклизации удавалось проводить лишь с участием первичных алифатических аминов.



Строение всех синтезированных веществ доказано спектральными методами, в некоторых случаях также рентген-структурным анализом.

## INTRODUCTION OF PHARMACOPHORE GROUPS INTO PYRIDINES AND PYRAZOLO[1,5-A]PYRIMIDINES VIA REARRANGEMENTS OF PYRIMIDINE IODOMETHYLATES

*G. Danagulyan*

### SUMMARY

The report is devoted to two new rearrangements of amide iodomethylates and pyrimidinylacetic ester iodomethylates proceeding under the action of pharmacophore-containing primary amines and carboxylic acid hydrazides. The reactions result in almost inaccessible by other ways nicotinic acid derivatives and those of pyrazolo[1,5-a]pyrimidine.

**Keywords:** pyrimidine, amine, rearrangement, pyrazolo [1,5-a] pyrimidine, pyridine.

## ԴԵՂԱԿԻՐ ԽՄԲԵՐԻ ՆԵՐՄՈՒԾՈՒՄԸ ՊԻՐԻԴԻՆՆԵՐԻ ԵՎ ՊԻՐԱԶՈԼՈ[1,5-A]ՊԻՐԻՄԻԴԻՆՆԵՐԻ ՄԵԶ ՊԻՐԻՄԻԴԻՆԻ ՅՈՂՄԵԹԻԼԱՏՆԵՐԻ ՎԵՐԱԽՄԲԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻԶՈՑՈՎ

### Գ.Զ. Դանագուլյան

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է պիրիմիդինիլ քացախաթթվի ամիդների և էսթերների երկու նոր վերախմբավորումներին, որոնք ընթանում են դեղակիր խմբեր պարունակող ամինների և կարբոնաթթուների հիդրազիդների ազդեցությամբ: Արդյունքում ստացվում են սինթետիկ այլ եղանակներով դժվարամատչելի նիկոտինաթթվի և պիրազոլո[1,5-a]պիրիմիդինների ածանցյալներ:

**Հիմնաբառեր՝** պիրիմիդին, ամին, վերախմբավորում, պիրազոլո [1,5-a] պիրիմիդին, պիրիդին:

# СИНТЕЗЫ БИС-ГЕТЕРОАРИЛЬНЫХ ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ ПИРИМИДИНА<sup>1</sup>

*Т.М. Залян, А. А. Акопян, А.К. Туманян, Г.Г. Данагулян*

## АННОТАЦИЯ

Взаимодействием 2-хлорпиримидинов с диаминоалканами, пиразолиламинами и гидразидами пиразолилкарбоновых кислот синтезированы симметричные и несимметричные бис-гетероарильные системы. А также в данной статье изучена возможность синтезированных соединений образовывать металлокомплексы.

**Ключевые слова:** пиримидин, пиразол, лиганд, комплекс, ион меди (II).

## Введение

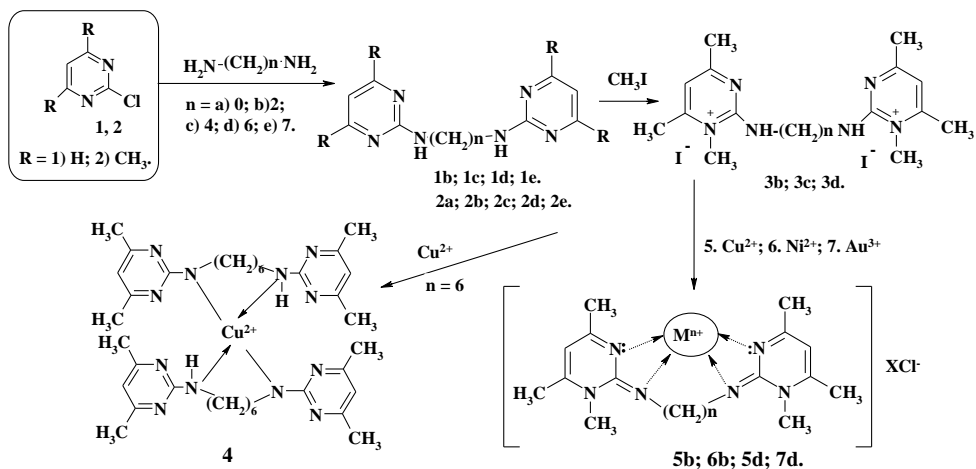
Известно, что металлокомплексы на основе гетероциклических соединений представляют большой практический интерес как с точки зрения поиска новых биологически активных веществ [1–5] и применения в качестве синтетических биокатализаторов, моделирующих деятельность ферментов в живых организмах [6], так и с целью создания новых чувствительных хемосенсоров для определения катионов металлов [7–18].

Наличие в молекуле донорных атомов азота, легко предоставляющих неподеленные электронные пары для образования связей с катионами металлов, делает азотистые гетероциклы одними из наиболее востребованных, и, как следствие, изученными среди комплексообразующих систем. Часто в такие системы входят два или более гетероциклических фрагмента, что облегчает и делает необратимым комплексообразование с катионами металлов.

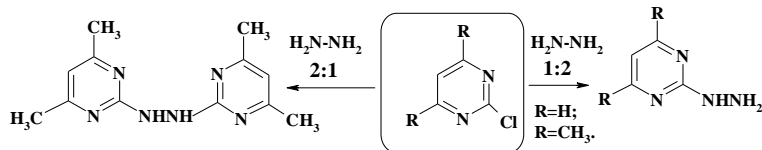
## Материалы и исследование

В представленном сообщении приведены результаты исследований по синтезу различных симметричных и асимметричных бис-гетероарильных систем на основе пиримидина. Синтез симметричных бис-пиримидиновых систем осуществлен взаимодействием 2-хлорпиримидинов **1** и **2c** диаминоалканами в соотношении 2 к 1, с последующим метилированием полученных соединений метилиодидом. В результате были синтезированы симметричные бис-пиримидиновые системы **1b-e**, **2a-e** и **3b-d** – потенциальные лиганды в реакциях комплексообразования.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета науки Министерства образования и науки Республики Армения (тема 13-1D334), а также в рамках «Программы развития Российско-Армянского университета».



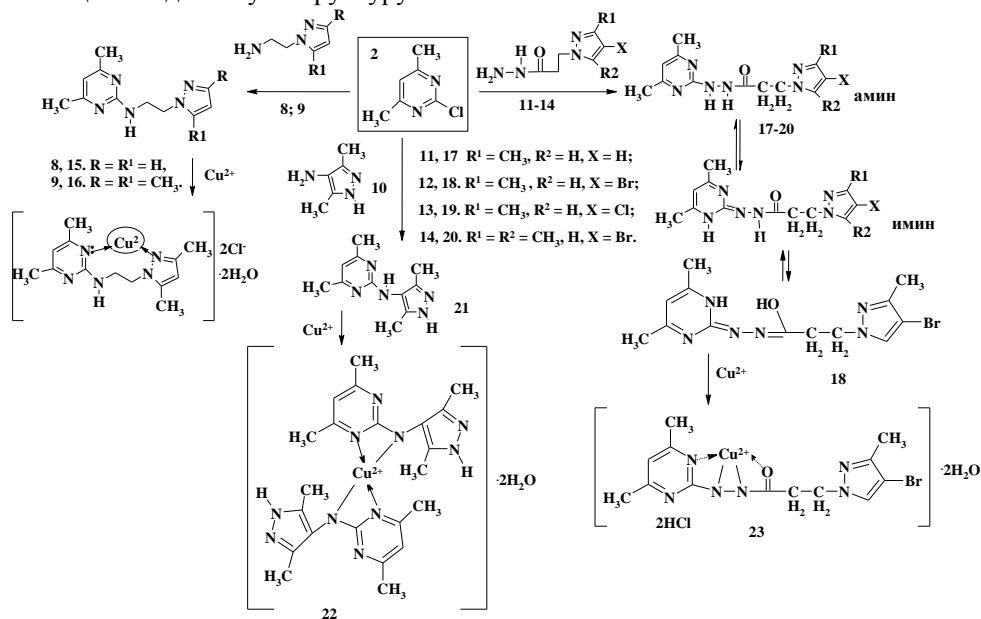
Реакцией 4,6-диметил-2-хлорпиримидина с гидразин гидратом, в соотношении 2:1 синтезирован симметричный бис-(4,6-диметилпиримидин-2-ил)гидразин, тогда как взаимодействие эквимольных количеств реагентов приводит к получению 2-гидразино-4,6-диметилпиримидина. Следует заметить, что в случае незамещенного 2-хлорпиримидина независимо от соотношения реагентов был выделен только 2-гидразинопиримидин.



На основе синтезированных симметричных бис-пиримидиновых систем, содержащих метильные группы в пиримидиновом кольце, получены комплексы, имеющие, в зависимости от типа лиганда и природы катиона металла, различное строение – соединения **4**, **5b**, **5d**, **6b**, **7d**.

Реакциями 4,6-диметил-2-хлорпиримидина с различными пиразолиламинами и гидразидами замещенных пиразолилкарбоновых кислот синтезированы несимметричные бис-гетероарильные системы, включающие пятичленный цикл азола и шестичленное кольцо азина – пиримидина. В представляемом сообщении синтез несимметричных бис-гетероарильных систем осуществлен взаимодействием в этаноле 4,6-диметил-2-хлорпиримидина (**1**) с аминами **8–10**, содержащими пиразольное кольцо, либо гидразидами замещенных пиразолилкарбоновых кислот **11–14**, в соотношении 1:1. В результате конденсации с N-пиразолилалкиламинами получены 2-(N-пиразолилэтил)амино-4,6-диметилпиримидин (**15**), и 2-[2-(3,5-диметилпиразол-1)илэтил]амино-4,6-диметилпиримидин (**16**), сочетающие в молекуле пиримидиновое и пиразольные циклы. В тех же условиях из пиримидина **2** и гидразидов **11–14** синтезированы (4,6-диметилпиримидин-2-ил) гидразиды замещенных N-пиразолилпропионовых кислот **17–**

**20.** В реакции хлорпириимидина **2** с 4-амино-3,5-диметилпиразолом (**10**) синтезирован 2-(3,5-диметилпиразол-4-ил)амино-4,6-диметил-пириимидин (**21**), что свидетельствует о возможности вовлечения в подобные конденсации также С-аминоазолов, содержащих аминную группу непосредственно в кольце. На базе соединения **21**, реакцией с хлоридом меди, синтезирован металлокомплекс **22**, имеющий сендвичевую структуру.



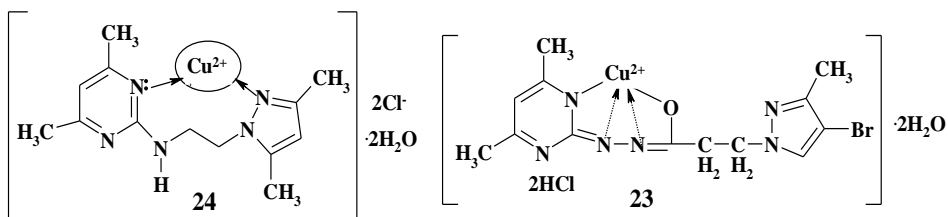
Строение всех синтезированных веществ доказано спектральными методами. В спектрах ЯМР <sup>1</sup>H продуктов конденсации присутствуют сигналы протонов обоих гетероциклов, а также соединяющего их мостика. Также информативными для подтверждения структур всех синтезированных соединений оказались и спектры ЯМР <sup>13</sup>C.

Реакцией соединений **16**, **18** и **21** с хлоридом меди (II) в метаноле были получены комплексы. Образование комплексов отмечается потемнением окраски раствора до черного и выпадением осадка. В ИК-спектрах всех выделенных комплексов отмечено смещение полос поглощения отдельных групп, по сравнению с сигналами в спектрах исходных лигандов. Так, в ИК-спектре металлокомплекса **22** зарегистрирован сигнал поглощения лишь одной аминной группы (3320 см<sup>-1</sup>), тогда как в спектре исходного амина **21** были отмечены две полосы поглощения (3340 и 3560 см<sup>-1</sup>), относимых к NH-группам аминного мостика и N-1 пиразольного кольца. Отмеченное позволяет предположить, что связь с катионом металла в комплексе осуществляется за счет замещения атома водорода аминного мостика. В спектре наблюдается также смещение полос поглощения C=N, C=C групп пириимидинового и пиразольного колец по сравнению с проявлением тех же групп в спектре исходного лиганда. УФ-спектры исходных

бис-гетероарильных соединений и продуктов их взаимодействия с ионами металлов не претерпевают значительных изменений.

Несомненно, об образовании комплексов свидетельствуют также изменение физико-химических параметров полученных соединений (т. пл., внешнего вида,  $R_f$ , растворимости), а также данные элементного анализа соединений, показывающие наличие в продуктах реакций металлов и с высокой степенью достоверности свидетельствующие об образовании комплексов представленного ниже состава.

Данные элементного анализа комплекса **22**, полученного из амина **21**, свидетельствуют о его хелатном строении, включающем два лиганда, связанных с одним катионом металла. Данные элементного анализа соответствуют комплексу соединения **22** с двумя молекулами воды. Также в виде дигидратов находятся комплексы **23** и **24**, с той лишь разницей, что они содержат также хлорид ионы.



Проведены исследования антибактериальной и антиоксидантной активностей синтезированных соединений. Показано, что соединения **15**, **20**, а также комплекс **23** обладают слабой антибактериальной активностью, подавляя рост микроорганизмов в зоне диаметром 10–12 мм, тогда как гидразид **18** и комплекс **22** проявили выраженную антибактериальную активность, подавляя рост использованных штаммов в зоне диаметром 17–20 мм. Гидразиды **17** и **20** обладают высокой антиоксидантной активностью, а гидразид **19** и комплексы **22** и **24** – проявили средний уровень антиоксидантного действия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Semenov V., Krylova E., Galyametdinova I., Chernova A., Khalamov S., Latypov S., Reznik V. // *Tetrahedron*, Vol. 38, P. 7370, 2011.
2. Крылова Е.С., Семенов В.Э., Галяметдинова И.В., Акамсин В.Д., Шарафутдинова Д.Р., Резник В.С. // *ЖОХ*. СС. 741–747, 2011.
3. Yi-Chi Pao, Ssu-Ching Wang, Shu-Hua Cheng // *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol. 6, 5275 (2011).
4. Marcotte N., Plaza P., Lavabre D., Fery-Forgues S., Martin M. // *J. Phys. Chem. A*. Vol. 107, N 14. P. 2394, 2003.
5. Kosterin S., Lipkowski J., Kalchenko V. // *Tetrahedron Letters*, 46. P. 7459, 2005.
6. Belokon Yu., Gugkaeva Z., Hakobyan K., Maleev V., Moskalenko M., Khrustalev V., Saghyan A., Tsaloev A. and Babievsky K. // *Amino Acids*, Vol. 43. P. 299, 2012.
7. Takagi M., Nakamura H., Ueno K. // *Anal. Lett.*, Vol. 10. P. 1115, 1977.
8. Dix J. P., Vogtle F. // *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, Vol. 17. P. 857, 1978.

9. Dix J., Vogtle F. // Chem. Ber., 113, S.457, 1980.
10. Dix J., Vogtle F. // Chem. Ber., 114, S.638, 1981.
11. Gromov S., Ushakov E., Fedorova O., Baskin I., Buevich A., Andryukhina E., Alfimov M., Johnels D., Edlund U., Whitesell J., Fox M. // J. Org. Chem. Vol. 68. P. 6115, 2003.
12. Pedersen C. // J. Am. Chem. Soc., Vol. 89. P. 2495, 1967.
13. Pedersen C. // J. Am. Chem. Soc., Vol. 89. P. 7017, 1967.
14. Ушаков Е.Н., Алфимов М.В., Громов С.П. // Рос. нанотехнология, т. 3. С. 42, 2008.
15. Hayashita T., Takagi M. // In Comprehensive Supramolecular Chemistry/ Vol. 1. Molecular Recognition: Receptors for Cationic Guests. Pergamon Press, Oxford. P. 635, 1996.
16. Gunnlaugsson T., Nieuwenhuysen M., Richard L., Thoss V. // J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2, N 1. P. 141, 2002.
17. Prodi L., Bolletta F., Montalti M., Zaccheroni N. // Coord. Chem. Rev., Vol. 205, N 1. P. 59, 2000.
18. Hua J., Wang Y.-G. // Chem. Lett., Vol. 34, N. P. 98, 2005.

## SYNTHESES OF PYRIMIDINE-BASED BIS-HETEROARYL LIGANDS

*T. Zalyan, A. Hakobyan, A. Tumanyan, G. Danagulyan*

### SUMMARY

By the interaction of 2-chloropyrimidines with diaminoalkanes, pyrazolylamines and pyrazolylcarboxylichydrazides symmetric and asymmetric bis-heteroaryl systems were synthesized. The ability of the synthesized compounds to form metal complexes was studied.

**Keywords:** pyrimidine, pyrazol, ligand, complex, copper ion (II).

## ՊԻՐԻՄԻԴԻՆԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԲԻՍ-ՀԵՏԵՐՈԱՐԻԼ ԼԻԳԱՆԴՆԵՐԻ ՍԻՆԹԵԶ

*Տ.Մ. Զալյան, Ա.Ա. Հակոբյան, Ա.Կ. Թումանյան, Գ.Հ. Դանագուլյան*

### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

2-Քլորպիրիմիդինների փոխազդեցությամբ դիամինոալկանների, պիրազոլիլամինների և պիրազոլիլկարբոնաթթուների հիդրազիդների հետ սինթեզվել են սիմետրիկ և ասիմետրիկ բիս-հետերոարիլ համակարգեր: Հետազոտվել է սինթեզված միացությունների մետաղակոմպլեքսների առաջացնելու հնարավորությունը:

**Հիմնաբառեր՝** պիրիմիդին, պիրազոլ, լիգանդ, կոմպլեքս, պղնձի (II) իոն:

## НОВЫЕ ПРОТИВОВИРУСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЗОЛО-1,2,4-ТРИАЗИНОВ

*В.Л. Русинов, О.Н. Чупахин, В.Н. Чарушин, О.И. Киселев*

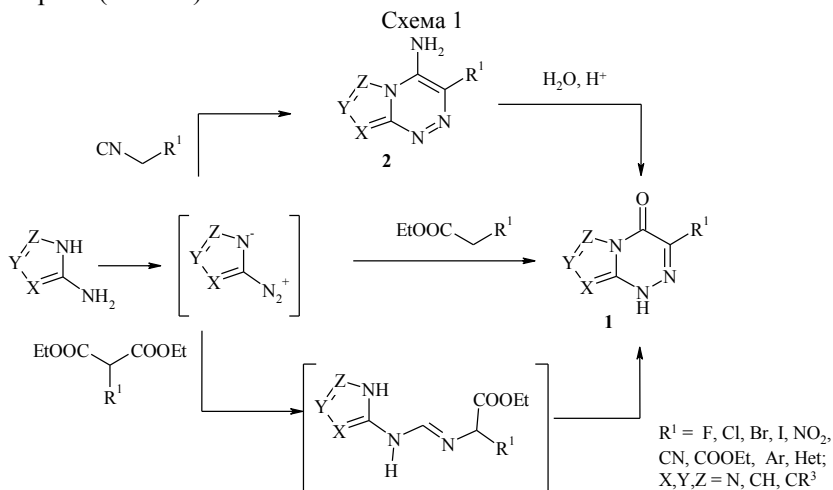
### АННОТАЦИЯ

В данной статье обобщены результаты фундаментальных исследований по созданию синтетических противовирусных химиопрепаратов, выполненные в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, а также в Институте органического синтеза имени И.Я. Постовского Уральского отделения РАН, НИИ гриппа МЗ РФ в сотрудничестве с биологами академических и отраслевых институтов.

**Ключевые слова:** азоло-1,2,4-триазины, противовирусная активность, триазавирин.

Высокая опасность вирусных инфекций, изменчивость вирусов, появление особо опасных агентов определяют актуальность разработки новых эффективных средств профилактики и лечения вирусных заболеваний. В результате исследований, проводимых в Уральском федеральном университете, Институте органического синтеза УрО РАН, НИИ гриппа МЗ РФ и ряде других организаций, найден новый оригинальный класс ненуклеозидных противовирусных этиотропных веществ, эффективных в отношении заболеваний, вызываемых вирусами гриппа, герпеса, клещевого энцефалита, различных геморрагических лихорадок – пиразоло-, имидазоло-, 1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7(4H)-оны **1** и соответствующие 7-аминоазоло[5,1-с]-1,2,4-триазины **2** [1].

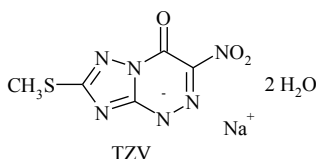
Основные методы построения таких бициклических структур включают аннелирование азинового цикла к азольному, что позволяет использовать широкий круг аминоазолов и доступных синтонов – производных уксусной, малоновой кислот или ацетонитрила (схема 1).





Полученные данные представляют реальную основу для создания серии эффективных отечественных противовирусных лекарственных средств.

Первый препарат, созданный на базе этого класса соединений, «триазабирин» (натриевая соль 2-метилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-она, дигидрат), прошел полный цикл клинических испытаний в качестве противогриппозного средства и 28.08.2014г. включен в реестр лекарственных средств Российской Федерации № ЛП-002604. Внедрение препарата выполнялось совместно с ООО «Завод Медсинтез» и ООО «Уральский центр биофармацевтических технологий» в рамках сотрудничества с Инновационным Фондом «Сколково».

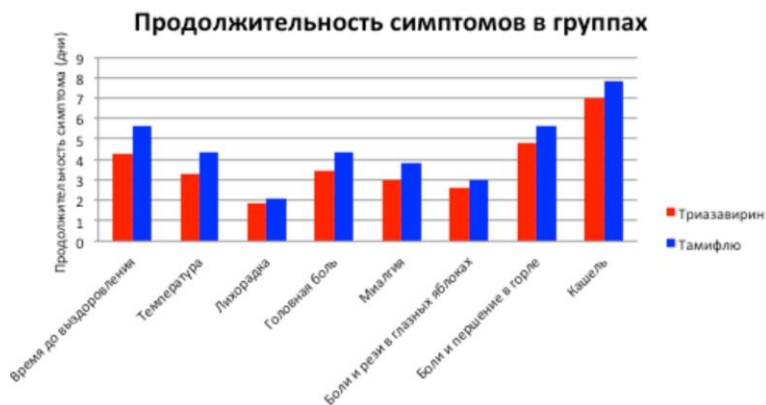


Структурная формула «триазабирина»

Препарат «триазабирин» (TZV) эффективен в отношении широкого спектра вирусов – гриппа, респираторно-синцитиальной инфекции, парагриппа, аденовируса и других. Индекс эффективности в отношении вирусов гриппа типов А и В составил 65–80%. Препарат эффективен как при лечебно-профилактической, так и при профилактической и лечебной схемах введения. Высокая противовирусная активность TZV продемонстрирована также в отношении возбудителей клещевого энцефалита и геморрагических лихорадок [2–6].

TZV относится к малотоксичным лекарственным веществам IV класса [3, 5]. Клиническими исследованиями (фазы I–III) установлено, что использование TZV в этиотропной терапии гриппа способствовало сокращению продолжительности основных симптомов заболевания (интоксикации, лихорадки, катаральных симптомов), быстрой нормализации температуры в терапевтических группах и снижению уровня повторного выделения вирусов гриппа. При сравнительной оценке эффективности препаратов «тамифлю» и TZV было показано, что по ряду параметров последний превосходит «тамифлю». Так, в группе пациентов, получавших TZV, время выздоровления, длительность температурной реакции, головной боли и миалгий были статистически достоверно ниже, чем в группе принимавших «тамифлю» (рис. 1). Уровень повторного выявления РНК вирусов гриппа на 5-е сутки заболевания по результатам ПЦР-диагностики для группы, принимавшей TZV, был почти в 2 раза ниже, чем для группы, принимавшей «тамифлю».

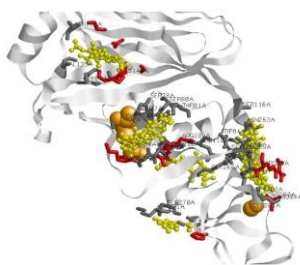
TZV и его производные продемонстрировали высокую эффективность в опытах *in vivo* и, что примечательно, заметно меньшую противовирусную активность в экспериментах на клеточных культурах. Это заставляет предположить, что механизм действия препарата и близких к нему соединений зависит от возникновения в организме его активных метаболитов.



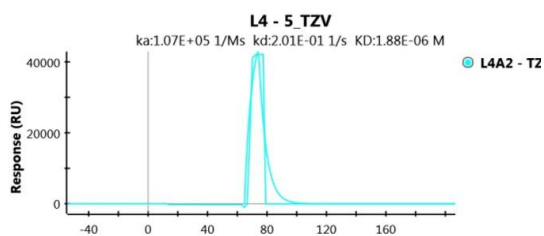
**Рис. 1.** Длительность основных симптомов заболевания при использовании препаратов «триазавирин» и «тамифлю».

Выполнено компьютерное моделирование взаимодействия субстанции TZV с гемагглютинином пандемического вируса гриппа A/California/04/2009(H1N1), по результатам которого обнаружено пять потенциальных сайтов взаимодействия (Рис. 2).

Первичное взаимодействие с белками-мишенями для TZV осуществляется, главным образом, за счет отрицательного заряда основной части молекулы, в силу чего в качестве сайтов «посадки» на молекуле гемагглютинина вируса гриппа идентифицированы короткие последовательности: CKLRGV (Цис-Лиз-Лей-Арг-Гли-Вал), LGK (Лей-Гли-Лиз), FYKLIW (Фен-Тир-Лиз-Асп-Лей-Изо-Трп) (Рис. 2). В пользу такого связывания свидетельствует обнаруженное методом поверхностного плазмонного резонанса наличие нековалентного и динамического взаимодействия TZV с гемагглютинином (Рис. 3).



**Рис. 2.** Результаты множественного докинга TZV и гемагглютинина A/California/04/2009(H1N1) вируса гриппа. Показаны наилучшие по энергии взаимодействия взаимные расположения молекул. Молекулы TZV обозначены жёлтым цветом.

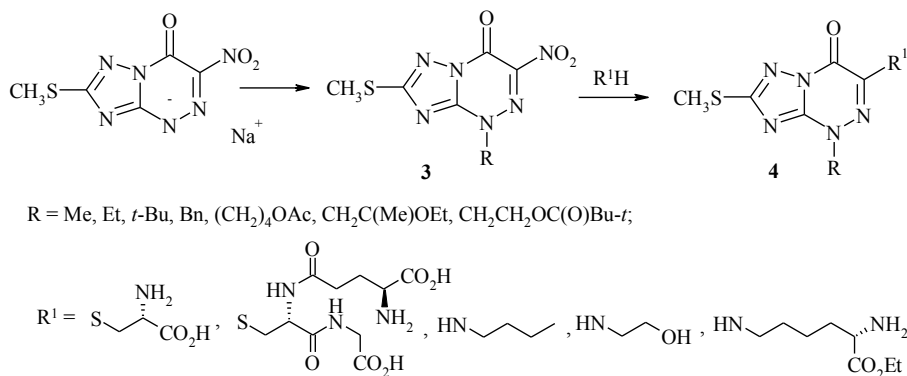


**Рис. 3.** Детектирование взаимодействия иммобилизованного гемагглютинина подтипа H3N2 (320 нМ и 640 нМ) и TZV (100 нМ) методом поверхностного плазмонного резонанса.

Для определения механизма действия, установления мишени и метаболизма в организме поставлены модельные эксперименты по изучению взаимодействия препарата с соответствующими биогенными S- или N-нуклеофилами. Такой подход позволяет, с одной стороны, предсказать течение химических реакций, сопутствующих поведению препарата в организме, а с другой стороны, путем синтеза соответствующих соединений, смоделировать процесс образования ковалентных связей потенциальных метаболитов с соответствующими фрагментами ключевых белков вируса. Синтез потенциальных метаболитов может также представлять самостоятельный интерес для поиска и биологического тестирования более активных препаратов.

Наилучшими по энергии взаимодействия и взаимных расположений молекул гемагглютинаина и TZV оказались сайты, содержащие остатки цистеина, лизина и аргинина, что позволяет предположить возможность взаимодействия фрагментов аминокислот с молекулой препарата. Проведенные модельные эксперименты подтверждают такую возможность. Установлено, что хотя натриевая соль 2-метилтио-6-нитро-1,2,4-триазоло[5,1-с]-1,2,4-триазин-7, она не реагирует напрямую с N- и S-нуклеофилами, но в триазолотриазинонах **3**, имеющих заместители в положении 4, легко происходит замещение нитрогруппы при взаимодействии с L-цистеином и L-глутатионом, а также с этиловым эфиром L-лизина и другими N-нуклеофилами с образованием соединений **4** (Схема 2). Важно отметить, что алкилирование или гликозилирование TZV по атому азота возможно и при метаболизме в организме вследствие того, что это соединение является изостером пуриновых оснований, для которых характерны данные превращения.

Схема 2.



Данные рентгеноструктурного анализа третичной структуры гемагглютинаина указывают на наличие дисульфидных связей между остатками цистеина. Можно предположить, что под действием TZV происходят изменения дисульфидных связей в гемагглютинаине. Для моделирования этого процесса использовали пептиды гемагглютинаина вируса гриппа А: HA-I: DCNTTCQ; HA-II:

YGNCNTKCQ; HA-III: LCKLGGIAPLHLGKCN-amid. Эти соединения содержат по две тиольные группы – SH, разобщенных различными последовательностями по длине и первичной структуре. Пептиды инкубировали в физиологических условиях с TZV в различных концентрациях. Анализ продукта инкубации проводили методом MALDI-масс-спектрометрии. Из полученных данных следует, что TZV однозначно способствует образованию S-S связей, прямо взаимодействует с тиолсодержащими пептидами и является достаточно сильным окислителем тиоловых фрагментов полипептидов. Эффективность действия TZV определяется как структурой пептидов, так и реальными условиями *in vivo* и *in vitro*. Естественно, при этом, происходит восстановление нитрогруппы и продуктом реакции является 2-метилтио-6-амино-1,2,4-триазоло-[5,1-с]-1,2,4-триазин-7(4H)-он. Эти данные подтверждаются исследованиями по фармакодинамике TZV, в которых в качестве основного первичного метаболита препарата идентифицирована его восстановленная форма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Русинов В.Л., Уломский Е.Н., Чупахин О.Н., Чарушин В.Н., Азоло[5,1-с]-1,2,4-триазины – новый класс противовирусных соединений // Известия АН, Сер.: химическая. 2008. С. 967.
2. Чупахин О.Н., Русинов В.Л., Уломский Е.Н., Чарушин В.Н., Петров А.Ю., Киселев О.И. Натриевая соль 2-метилтио-6-нитро-7-оксо-[5,1-с]-1,2,4-триазин-7-(4H)-она, дигидрат, обладающая противовирусной активностью // Патент RU2,294,936. 2007.
3. Karpenko I., Deev S., Kiselev O., Charushin V., Rusinov V., Ulomskiy E., Deeva E. Antiviral properties, Metabolism, and Pharmacokinetics of a novel Azolo 1,2,4, Triazine derived inhibitor of influenza A and B virus replication // Antimicrobial agents and chemotherapy. 2010. V. 54. P. 2017.
4. Киселев О.И., Деева Э.Г., Мельникова Т.И., Козелецкая К.Н., Киселев К.Н., Русинов В.Л., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н. Новый противовирусный препарат Триазавирин. Результаты II фазы клинического исследования // Вопросы вирусологии. 2012. Т. 57. № 6. С. 9.
5. Логинова С.Я., Борисевич С.В., Русинов В.Л., Уломский Е.Н., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н. Оценка токсичности нового отечественного химиопрепарата триазавирин // Антибиотики и химиотерапия. 2012, Т. 57, № 11–12. СС. 8–10.
6. Логинова С.Я., Борисевич С.В., Русинов В.Л., Уломский Е.Н., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н. Изучение профилактической эффективности триазавирина в отношении экспериментальной формы клещевого энцефалита у белых мышей // Антибиотики и химиотерапия. 2015, Т. 60. № 5–6. С. 8.

ՆՈՐ ՀԱԿԱՎԻՐՈՒՄԱՅԻՆ ՄԻԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ՝  
ԱԶՈԼՈ-1,2,4-ՏՐԻԱԶԻՆՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ

*Վ.Լ. Ռուսինով, Օ.Ն. Չուպախին, Վ.Ն. Չարուշին, Օ.Ի. Կիսելև*

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Սույն հոդվածում ամփոփված են սինթետիկ հակավիրուսային քիմիական միացությունների սինթեզի ֆունդամենտալ հետազոտությունների արդյունքները, որոնք կատարվել են Ռուսաստանի առաջին նախագահ Բ.Ն. Ելցինի անվան Ուրալի ֆեդերալ համալսարանում, ինչպես նաև Ռուսաստանի գիտությունների ակադեմիայի Ուրալի բաժանմունքի՝ Ի.Յա. Պոստովսկիի անվան օրգանական սինթեզի ինստիտուտում՝ ակադեմիական և մասնաճյուղային ինստիտուտների կենսաբանների համագործակցությամբ:

**Հիմնաբառեր**՝ ազոլո-1,2,4-տրիազիններ, հակավիրուսային ակտիվություն, տրիազավիրին:

NEW ANTIVIRUS COMBINATIONS ON THE BASIS  
OF AZOLO-1,2,4-TRIAZINES

*V. Rusinov, O. Chupakhin, V. Charushin, O. Kiselev*

SUMMARY

The article summarizes the results of the fundamental research on the creation of synthetic antivirus chemical combination conducted in the Ural Federal University named after the first president of Russia B. Yeltsin, as well as in the Institute of Organic Synthesis named after I. Postovskiy of the Ural department of the National Academy of Sciences of Russian Federation with collaboration from biologists of academic and branch institutions.

**Keywords:** azolo-1,2,4-triazines, antivirus activity, triazvirin.

# ТИАДИАЗОЛО[1,5-А]ПИРИМИДИНЫ В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ<sup>1</sup>

*К.В. Саватеев, Е.Н. Уломский, В.Л. Русинов, Л.И. Русинова*

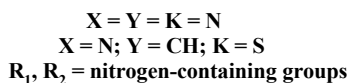
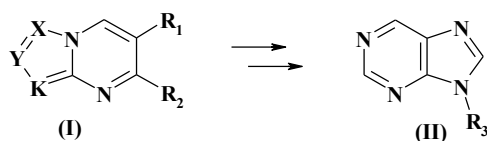
## АННОТАЦИЯ

В данной работе был предложен новый способ синтеза аномальных нуклеозидов с помощью нитротиадиазолопиримидинов через реакцию хлордезоксигенирования и аминирования. Кроме того, полученные 5-алкиламино-6-нитро-7-оксотиадиазоло[1,5-а]пиримидины являются перспективными структурными аналогами ингибиторов аденозиновых рецепторов.

**Ключевые слова:** аденозиновые рецепторы, аномальные нуклеозиды, хлордезоксигенирование, тиадиазолы, пиримидины.

Региоспецифичный синтез биологически активных 7-замещенных пуринов является важной проблемой в синтезе лекарственных средств, принадлежащих к группе аномальных нуклеозидов. На сегодняшний день большинство подходов к синтезу аномальных нуклеозидов представляет собой алкилирование гетероциклического остова с большей или меньшей степенью селективности [1]. Таким образом, основная проблема заключается в образовании второго региоизомера, который зачастую обладает нежелательной биоактивностью [2], что приводит к необходимости разделения близких по свойствам изомеров.

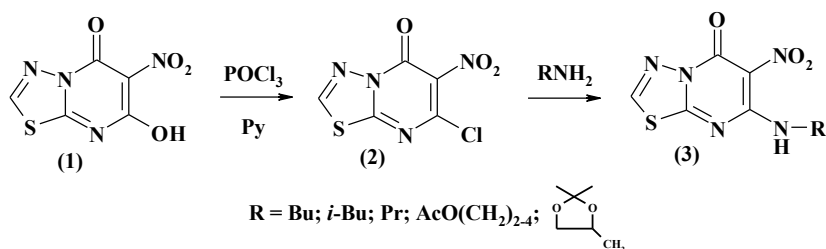
Нами был предложен региоспецифический подход к синтезу аномальных нуклеозидов, который включает синтез 7-R-пуринов (II) из соответствующих азоло [1,5-а] пиримидинов (I).



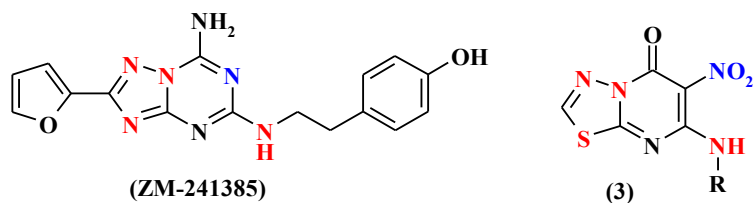
Синтетически, путь от соединения (I) к пуринам (II) проходит через конверсию исходных оксопроизводных (I) в соответствующие хлоргетероциклы с последующим аминированием последних. В этом случае, одним из преимуществ тиадиазолопиримидинов над тетразолоаналогами является большая стабильность хлорпроизводного (2): оно может быть выделено из реакционной массы и

<sup>1</sup> Проект выполнен при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-13-01301) и Министерства образования и науки РФ (проект № 2458).

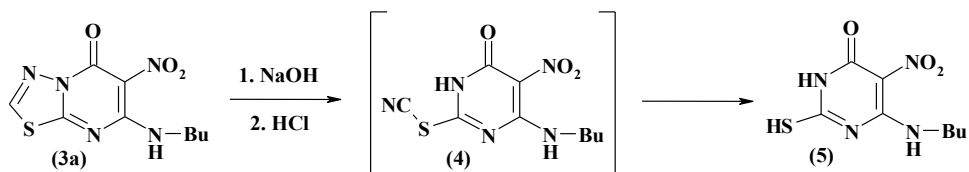
охарактеризовано. Соответственно, благодаря этому, на стадии аминирования образуется меньше побочных продуктов, что упрощает выделение продукта (3) и повышает выход. Стоит отметить, что хлордезоксигенирование нитротиадiazолопиримидинов представлено в литературе [3], однако метод не описан для 2-незамещенных тиадiazолопиримидинов. Именно последние представляют интерес с точки зрения дальнейшей возможности деструкции тиадiazольного фрагмента и получения аномальных нуклеозидов пуринового ряда.



Кроме того, 5-алкиламино-6-нитротиадiazоло[1,5-а]пиримидины (3) являются близкими структурными аналогами триазолотриазинов, которые показывают активность в качестве антагонистов аденозиновых рецепторов [4]. Так, одним из наиболее перспективных антагонистов в AP является ZM-241385 [5]. Структура синтезированных тиадiazолопиримидинов (3) моделирует ключевые особенности строения ZM-241385, в частности нитрогруппа является хорошим электронным аналогом пиридинового N-атома, в то время как тиадiazольное кольцо представляет собой альтернативу триазольному циклу. Еще одним преимуществом предлагаемого подхода является возможность гибкой модификации группы-линкера, которая в структуре ZM-241385 представлена остатком тирамина.



Кроме того, нами была проведена модельная деструкция тиадiazольного цикла на одном соединении из указанного ряда. Оказалось, что при обработке соединения (3а) 5% раствором гидроксида натрия образуется продукт деструкции (4), причем, судя по результатам ИК-анализа – отсутствию интенсивной полосы нитрильной группы, деструкция проходит сразу до SH-формы.



Таким образом, в данной работе была синтезирована серия 5-R-амино-6-нитро-7-оксотиадiazоло[1,5-а]пиримидинов, которые являются перспективными предшественниками к синтезу широкого круга потенциально биологически активных гетероциклов. Выбор заместителей при аминогруппе основан на литературных данных, которые показывают, что 8-алкилтриазолопурины и 7-R-пурины демонстрируют высокую полезную биологическую активность [6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tindall C., Robins R. et al, Journal of Organic Chemistry, 1972, 25. PP. 3985–3989.
2. GholamHosseinHakimelahi et al., Journal of Medicinal Chemistry, 2001, 44. PP. 3710–3720.
3. Suzuki; Miwa; Aibara; Kanno et al., Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1992, 2. PP. 357–363.
4. Jorg M., Shonberg J., Mak F., Miller N. Bioorg. And Med. Chem. Let., 2013, vol. 23. PP. 3427–3433.
5. Poucher et al., British Journal of Pharmacology, 1995, 115. PP. 1096–1102.
6. Biamonte M.; Boehm M.; Fan J.; Hong K., J. Med. Chem., 2006, vol. 49, #17. PP. 5352–5362.

### THIADIAZOLO[1,5-A]PYRIMIDINES AS PERSPECTIVE PRECURSORS OF BIOLOGICALLY ACTIVE HETEROCYCLES

K. Savateev, E. Ulomskiy, V. Rusinov, L. Rusinova

#### SUMMARY

In this paper we proposed a new method for the synthesis of abnormal nucleoside via nitrothiadiazolopyrimidines through chlorodeoxygenation reaction and further amination. Furthermore, the obtained 5-alkylamino-6-nitro-7-oxathiadiazolo[1,5-a]pyrimidines are perspective structural analogs of adenosine receptor inhibitors.

**Keywords:** adenosine receptors, abnormal nucleosides, chlorodeoxygenation, thiadiazoles, pyrimidines.

ԹԻԱԴԻԱԶՈԼ[1,5-Ա]ՊԻՐԻՄԻԴԻՆՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՐԵՆ ԱԿՏԻՎ ՀԵՏԵՐՈՑԻԿԼԵՐԻ ՀԵՌԱՆԿԱՐԱՅԻՆ ՆԱԽՈՂՈՂՆԵՐ

Կ. Կ. Սավատեև, Ե. Ն. Ուլոմսկի, Վ. Լ. Ռուսինով, Լ. Բ. Ռուսինովա

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Մույն աշխատանքում առաջարկվել է անոմալային նուկլեոզիդների սինթեզի նոր տարբերակ՝ նիտրոթիադիազոլպիրիմիդին-



ների օգնությամբ քլորդեֆոքսիգենացման և ամինացման միջոցով: Բացի այդ, ստացված 5-ակիլամինո-6-նիտրո-7օքսոթիազոլո[1,5- a] պիրիմիդինները ադենոզինային ռեցեպտորների ինհիբիտորների հեռանկարային կառուցվածքային անալոզներն են:

**Հիմնաբառեր`** ադենոզինային ռեցեպտորներ, անոմալային նուկլեոզիդներ, քլորդեֆոքսիգենացում, թիադիազոլներ, պիրիմիդիններ:

## СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ [1, 2, 4] ТРИАЗОЛОННЕЛИРОВАННЫХ [1, 2, 4, 5] ТЕТРАЗИНОВ<sup>1</sup>

*С.Г. Толицина, А.В. Коротина, Р.И. Ииметова,  
Л.И. Русинова, Г.Л. Русинов*

### АННОТАЦИЯ

Разработан метод синтеза и получен ряд производных неизвестной ранее гетероциклической системы – [1,2,4] триазоло [1,5-*b*] [1,2,4,5] тетразина. Синтезирован ряд производных изомерной триазоло [4,3-*b*]-аннелированной системы. Исследована туберкулостатическая и фунгистатическая активность полученных триазоло [1,2,4,5] тетразинов.

**Ключевые слова:** азолазины, [1,2,4] триазоло [1,5-*b*] [1,2,4,5] тетразины, [1,2,4] триазоло [4,3-*b*] [1,2,4,5] тетразины, аналоги пурина, биологическая активность.

Азоланнелированные азины являются изостерами пурина и представляют большой интерес для современной медицинской химии как потенциальные биологически активные соединения. Так, например, имидазо [1,2-*a*] пиридины и имидазо [1,2-*a*] пиримидины проявляют широкий спектр биологической активности, в том числе противовирусной и антибактериальной [1, 2].

Перспективным направлением поиска новых лекарственных средств является синтез и биоскрининг полиазотсодержащих азолазинов, в частности, азоланнелированных тетразинов. Данные соединения, обладая акцепторным характером и большим количеством гетероатомов в структуре, имеют дополнительные возможности невалентного связывания с различными биологическими мишенями. Кроме того, высокая электрофильность тетразинового цикла может обеспечить химическое связывание с патогенными объектами, приводящее к нарушению их функций.

К настоящему моменту имеется ряд подтверждений того, что азоланнелированные 1, 2, 4, 5-тетразины обладают выраженной биологической активностью. Так, например, была выявлена противомикробная активность 1,4-дигидроимидазо [1, 2-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразинов [3], противотуберкулезная активность триазоло [4, 3-*b*]- и имидазо [1, 2-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразинов [4], антибактериальное и фунгистатическое действие триазоло [3, 2-*b*] [1,2,4,5] тетразинов [5], а также противоопухолевая активность триазоло[4, 3-*b*] [1, 2, 4, 5]тетразинов [6] и имидазо[1,2-*b*][1,2,4,5]тетразинов [7]. Однако азоланнелированные 1, 2, 4, 5-тетразины, несмотря на проявляемый к ним интерес, остаются малораспространенным классом соединений, что связано, главным образом, с отсутствием удобных методов их синтеза и модификации.

Таким образом, разработка методов синтеза новых азоло[1,2,4,5]тетразинов

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-03-31066\_мол\_а), а также гранта Президента Российской Федерации (МК-2788.2014.3).

с целью поиска новых эффективных лекарственных препаратов является актуальным и перспективным направлением исследований.

Данная работа направлена на создание новых триазоло[1,2,4,5]тетразинов с целью дальнейшего изучения их туберкулостатической и фунгистатической активности.

Впервые был проведен синтез производных неизвестной ранее гетероциклической системы – [1, 2, 4] триазоло [1,5-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразина. Данные соединения представляют особый интерес для исследования биологической активности, так как по расположению атомов азота в молекуле являются более близкими аналогами пурина, чем изомерные им известные триазоло [4,3-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразины (схема 1).

#### Схема 1.

Разработанный метод синтеза новых триазолотетразинов заключается в окислительной циклизации производных **2a-f**, содержащих амидиновый фрагмент (схема 2). Показано, что окисление замещенных амидинами 1, 2, 4, 5-тетразинов **2a-f** в триазоло [1,5-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразины **3a-f** проходит под действием диацетоксидбензола в трифторэтаноле. Целевые продукты образуются с выходами 35–70%. При окислении бензамидиновых производных **2b, c** можно также использовать *N*-бромсукцинимид в ацетонитриле в условиях микроволнового облучения. При этом наряду с циклизацией происходит бромирование пиразольного цикла по С(4) с образованием продуктов **3g, h** (схема 2).

#### Схема 2.

На примере соединения **3g** показано, что новые триазоло[1,5-*b*][1,2,4,5] тетразины, так же как изомерные им триазоло [4, 3-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразины [8], вступают в реакции с N- и O-нуклеофилами с образованием продуктов замещения азолильной группы в тетразиновом цикле **4a-c** (схема 2). Данные реакции в дальнейшем могут быть использованы для модификации триазоло [1, 5-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразиновой системы целевыми структурными фрагментами.

Ранее было показано, что [1,2,4]триазоло[4,3-*b*][1,2,4,5] тетразины, содержащие алкилтиольные или циклоалкилтиольные заместители могут выступать в качестве ингибиторов протеинкиназ PknA, PknB микобактерий туберкулеза и являются потенциальными туберкулостатиками с новым механизмом действия [4]. В реакциях 3-гидразино-1,2,4,5-тетразина **5** с сероуглеродом и алкилирующими агентами были получены новые 3-алкилтио-[1,2,4] триазоло [4,3-*b*][1,2,4,5] тетразины **6a-f** для дальнейшего изучения их туберкулостатической активности. В результате модификации триазолотетразина **6f** в реакции нуклеофильного замещения с этаноламином получен новый триазолотетразин **7f**, сочетающий в структуре липофильный циклооктилтиольный и гидрофильный этаноламиновый фрагменты (схема 3).

### Схема 3.

Исследована туберкулостатическая активность синтезированных триазоло[1,2,4,5]тетразинов **3a-h,4a-c,6a-f,7f** в отношении штамма *M. tuberculosis H<sub>37</sub>Rv*, а также фунгистатическая активность в отношении мицелиальных антропофильных и зооантропофильных грибов дерматофитов (*Trichophyton*, *Microsporum* и *Epidermophyton*), вызывающих заболевания кожи и ее придатков (волос, ногтей), и дрожжеподобных грибов рода *Candida*.

Соединения **3a-h,4a-c** проявили слабую туберкулостатическую активность с минимальной ингибирующей концентрацией (МИС), не превышающей 6 мкг/мл. В то же время в данном ряду были выявлены три соединения с высокой активностью в отношении грибов дерматофитов (МИС 1.5 мкг/мл). Изомерные [1, 2, 4] триазоло [4, 3-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразины **6a-f, 7f**, напротив, не обладали существенной противогрибковой активностью (МИС  $\geq$  50 мкг/мл), однако в их ряду было выявлено производное, подавляющее рост микобактерий туберкулеза в концентрации 3.1 мкг/мл.

Таким образом, показано, что синтезированные 3,7-дизамещенные производные новой гетероциклической системы [1, 2, 4] триазоло [4, 3-*b*] [1, 2, 4, 5] тетразина перспективны для поиска в их ряду новых противогрибковых препаратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Lhassani M., Chavignon O., Chezal J.-M., Teulade J.-C., Chapat J.-P., Snoeck R., Andrei G., Balzarini J., Clercq E., Gueiffier A.* Synthesis and antiviral activity of imidazo[1,2-a]pyridines // *Eur. J. Med. Chem.* 1999. V. 34. PP. 271–274.
2. *Rival Y., Grassy G., Michael G.* Synthesis and antibacterial activity of some imidazo[1,2-a]pyrimidine derivatives // *Chem. Pharm. Bull.* 1992. V. 40. PP. 1170–1176.
3. *Shawali A.S., Tawfik N.M.* Novel facile synthesis of imidazo [1, 2-b] [1, 2 ,4, 5]tetrazines with potential antimicrobial activity // *Arch. Pharm. Res.* 2009. V. 32 (7). PP. 975–982.
4. *Беккер О.Б., Даниленко В.Н., Ишметова Р.И., Маслов Д.А., Русинов Г.Л., Толщина С.Г., Чарушин В.Н.* Замещенные азоло [1, 2, 4 ,5] тетразины – ингибиторы актино-бактериальных серин-треониновых протеинкиназ // Патент РФ 2462466, 27.09.2012, Бюл. № 27.
5. *Mohan J., Shikha.* Heterocyclic systems containing bridgehead nitrogen atom. Facile synthesis and biological activity of spiro [cycloheptane-1,7' (8'H)-[6H] pyrazolo [3',4':4,5] thiazolo[3,2-b]-s-tetrazines // *Ind. J. Heterocycl. Chem.* 2005. V. 15. P. 187.
6. *Xu F., Zheng C., Zhang T., Yuan D., Chen H., Yang Y., Lin T.* [1, 2, 4] triazole [4,3-b] sym-tetrazine derivation compound and preparation method thereof // *CN Pat.* 103012410, 03.04.2013.
7. *Беккер О.Б., Даниленко В.Н., Игнатенко Н.К., Ишметова Р.И., Русинов Г.Л., Толщина С.Г., Чарушин В.Н., Штиль А.А.* 6-Замещенные 3-азолимидазо [1, 2-b] [1,2,4,5] тетразины, проявляющие противоопухолевую активность // Патент РФ 2527258, 27.08.2014, Бюл. № 24.
8. *Ганебных И.Н.* Дис. канд. хим. наук, Ин-т органического синтеза УрО РАН, Екатеринбург, 2003, 229 с.

SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF [1, 2, 4] TRIAZOLO  
ANNELATED [1, 2, 4, 5] TETRAZINES

*S. Tolshchina, A. Korotina, R. Ishmetova, L. Rusinova, G. Rusinov*

## SUMMARY

The method of synthesis of previously unknown heterocyclic system [1, 2, 4] triazolo [1,5-*b*] [1, 2, 4, 5] tetrazine has been developed. Synthesis of these derivatives and also isomeric triazolo[1,5-*b*]-annelated sistem's derivatives has been carried out. Tuberculostatic and fungistatic activity of obtained triazolo [1, 2, 4, 5] tetrazines has been investigated.

**Keywords:** azoloazines, [1, 2, 4]triazolo[1,5-*b*][1, 2, 4, 5]tetrazine, [1, 2, 4]triazolo[4,3-*b*][1, 2, 4, 5]tetrazine, purine analogs, biological activity.

ՏՐԻԱԶՈԼՈԱՆՆԵԼԻՐՈՎԱԾ [1, 2, 4, 5] ՏԵՏՐԱԶԻՆՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶ ԵՎ  
ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆ [1, 2, 4]

*Ս. Գ. Տոլշչինա, Ա. Վ. Կորոտինա, Ռ. Ի. Իշմետովա, Լ. Բ. Ռուսինովա, Գ. Լ. Ռուսինով*

## ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Մշակվել է սինթեզի մեթոդը և ստացվել են նախկինում անհայտ հետերոցիկլիկ համակարգի մի շարք ածանցյալներ՝ [1, 2, 4]

տրիագուլոն [1,5-b] [1, 2, 4, 5] տետրագին: Մինթեզել են իզոմեր տրիագուլոն[4,3-b]-աննելիրովացված համակարգի մի շարք ածանցյալներ: Հետազոտվել է ստացված տրիագուլոն[1, 2, 4, 5] տետրագինների տուբերկուլոզային և ֆունգիցիդալ ակտիվությունը **Հիմնաբառեր**` ազոլազիններ, [1, 2, 4] տրիագուլոն [1,5-b] [1, 2, 4, 5] տետրագիններ, [1, 2, 4] տրիագուլոն [4,3-b] [1, 2, 4, 5] տետրագիններ, պուրինի անալոզներ, կենսաբանական ակտիվություն:

## СИНТЕЗ НОВЫХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В РЯДУ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРИДАЗИНИЛОКСИАЗИНОВ

*Р.С. Шаинова, Т.А. Гомкцян, А.В. Карапетян, А.П. Енгоян*

### АННОТАЦИЯ

Реакцией калиевых солей 6-гидроксипиридазин-3(2*H*)-она и его 2-*N*-замещенных производных с хлоридами триметиламмониевых солей 2-метокси(диалкиламино)-4-амино-1,3,5-триазина синтезированы соответствующие производные пиридазинилокси-1,3,5-триазина. Взаимодействием калиевых солей пиридазина с хлорацетоуксусным эфиром и последующей гетероциклизацией получены пиридазинилоксипиримидиновые производные. Синтезированные соединения проявили в биологических экспериментах выраженные свойства стимуляторов роста растений.

**Ключевые слова:** пиридазинилокситриазины, пиридазинилоксипиримидины, гетероциклизация, стимуляторы роста растений.

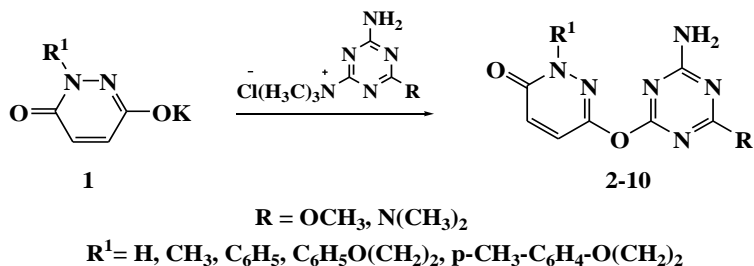
Получение высокого и гарантированного урожая сельскохозяйственных культур в настоящее время стало возможным посредством применения интенсивных технологий их возделывания, основанных на использовании минеральных удобрений и пестицидов. Конечно, в последнее время много говорят о биологических средствах защиты растений. Однако до их промышленного производства в необходимых объемах еще очень далеко. Поэтому в настоящий период пестицидам нет альтернативы, так как их применение обусловлено высокой экономической эффективностью. Однако одновременно возникает задача безопасности человека и окружающей среды, которая связана с загрязнением почвы, воды, а также с накоплением их остатков в пищевых продуктах.

Одним из недостатков современных пестицидов является то, что вредоносные организмы приобретают стабильность по отношению к препаратам. Это нежелательное явление приводит к необходимости систематического пополнения пестицидов новыми препаратами, наделенными различными механизмами воздействия.

В последние два десятилетия заметное внимание исследователей привлекают производные азинов [1–6]. Вместе с тем, в литературе мало данных о биологической активности неконденсированных гетероциклических систем с сочетанием в молекуле двух азиновых циклов. По этой причине целью настоящего исследования являлось продолжение исследований [7, 8] по разработке доступных и эффективных методов синтеза новых производных пиридазинилоксиазинов, по отношению к которым у вредных организмов еще не выработалась резистентность и изучение их биологической активности в плане поиска новых пестицидов и регуляторов роста растений.

Реакцией калиевых солей 6-гидроксипиридазин-3(2*H*)-она и его 2-*N*-замещенных производных (1) с хлоридами триметиламмониевых солей 2-

метокси(диалкиламино)-4-амино-1,3,5-триазина синтезированы соответствующие производные пиридазинилокси-1,3,5-триазина (**2–10**).



Аналогичные 2-N-алкилпиридазинилпроизводные могут быть получены также при алкилировании 6-((4-амино-[1,3,5]триазин-2-ил)окси)-пиридазин-3(2*H*)-онов. Взаимодействием 6-((4-амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)пиридазин-3(2*H*)-она (**6**) с алкилгалогенидами синтезированы соответствующие 2-N-замещенные производные (**11–13**), спектральные параметры которых совпадают со спектрами соединений **7–10**, что указывает на то, что в соединении **6** замещение протекает по атому азота пиридазинового цикла формы **A**, а не по атому кислорода соответствующей второй таутомерной формы – 6-(4-амино-6-диметиламино-[1,3,5]триазин-2-илокси)-пиридазин-3-ола (**B**).

С целью получения пиридазинилоксипиримидинов взаимодействием калиевых солей исходных пиридазинов (**1**) с хлорацетоуксусным эфиром синтезированы этиловые эфиры 2-(1-замещенных-6-оксо-1,6-дигидро-пиридазин-3-илокси)-3-оксо-бутановых кислот (**14–16**). Их последующей гетероциклизацией с гидроклоридом гуанидина получены пиридазинилоксипиримидиновые производные (**17–19**) [9].



При предварительных лабораторно-вегетационных испытаниях ряд соединений проявили выраженное стимулирующее действие на рост растений, что указывает на перспективность синтезированных новых гетероциклических систем для поиска росторегуляторов растений. Помимо этого, полученные соединения могут быть успешно применены в качестве исходных веществ для синтеза новых рядов биологически активных соединений.

### Экспериментальная часть

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  сняты на спектрометре “Mercury-300” с рабочей частотой 300 МГц в растворе  $\text{DMCO-d}_6 + \text{CCl}_4$  (1:3). В качестве внутреннего стандарта использовался тетраметилсилан (ТМС). За ходом реакций и чистотой синтезированных соединений следили как спектральным методом, так и с помощью тонкослойной хроматографии на пластинах “Silufol UV-254”. В качестве элюента использовалась смесь растворителей ацетон-гексан в соотношении 1:1, проявитель – смесь 2%  $\text{AgNO}_3 + 0.4\%$  бромфенолового синего + 4% лимонной кислоты.

### Синтез соединений 2–10.

К смеси соединения **1** (0.001 моль) и 10 мл ацетона при 0–4  $^\circ\text{C}$  порциями добавляют 0.001 моль хлоридов триметиламмониевых солей азинов, затем продолжают перемешивание при комнатной температуре. На следующий день перемешивают при 45–50  $^\circ\text{C}$  до окончания выделения амина. После удаления ацетона остаток обрабатывают водой, отфильтровывают и промывают водой.

**6-((4-Амино-6-метокси-1,3,5-триазин-2-ил)окси)пиридазин-3(2H)-он (2).** Белые кристаллы, т.пл. 245–247  $^\circ\text{C}$ , выход 63%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 3.87 (с, 3H,  $\text{OCH}_3$ ); 6.88 и 7.27 (дд,  $J=9.9$  Гц, 2H,  $\text{CH}=\text{CH}$ ); 7.31 и 7.44 (сс, 2H,  $\text{NH}_2$ ); 12.59 (уш.с, 1H, NH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  □ м.д.: 53.97, 130.41, 131.68, 147.86, 159.91, 168.91, 170.71, 171.91. Найдено, %: C 40.71; H 3.46; N 35.63.  $\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_3$ . Вычислено, %: C 40.68; H 3.41; N 35.58.

**6-((4-Амино-6-метокси-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-метилпиридазин-3(2H)-он (3).** Белые кристаллы, т.пл. 208–210  $^\circ\text{C}$ , выход 80%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 3.62 (с, 3H,  $\text{NCH}_3$ ); 3.85 (с, 3H,  $\text{OCH}_3$ ); 6.95 и 7.30 (дд,  $J=9.9$  Гц, 2H,  $\text{CH}=\text{CH}$ ); 7.32 и 7.38 (сс, 2H,  $\text{NH}_2$ ). Найдено, %: C 43.28; H 4.07; N 33.66.  $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{N}_6\text{O}_3$ . Вычислено, %: C 43.20; H 4.03; N 33.59.

**6-((4-Амино-6-метокси-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-фенилпиридазин-3(2H)-он (4).** Белые кристаллы, т.пл. 203–204  $^\circ\text{C}$ , выход 67%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □

м.д., J Гц: 3.84 (с, 3H, OCH<sub>3</sub>); 6.97 и 7.31 (дд, J=9.9 Гц, 2H, CH=CH); 6.75-7.16 (м, 5H, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 7.33 и 7.40 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>). Найдено, %: С 53.77; Н 3.89; N 26.79. C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>N<sub>6</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 53.85; Н 3.87; N 26.91.

**6-((4-Амино-6-метокси-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-(2-феноксизтил)пиридазин-3(2H)-он (5).** Белые кристаллы, т.пл. 148–150 °С, выход 57%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 3.85 (с, 3H, OCH<sub>3</sub>); 4.28-4.40 (м, 4H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>); 7.12-7.25 (м, 5H, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 6.97 и 7.35 (дд, J=9.9 Гц, 2H, CH=CH); 7.35 и 7.42 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C □ м.д.: 49.65, 53.92, 64.00, 114.30, 120.41, 128.88, 129.91, 131.06, 147.25, 157.88, 158.68, 168.97, 170.61, 171.90. Найдено, %: С 53.99; Н 4.51; N 23.69. C<sub>16</sub>H<sub>16</sub>N<sub>6</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 56.47; Н 4.74; N 24.69.

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)пиридазин-3(2H)-он (6).** Белые кристаллы, т.пл. 275–277 °С, выход 80%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 3.03 и 3.09 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 6.48 и 6.73 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.83 и 7.22 (дд, J=9.7 Гц, 2H, CH=CH); 12.49 (уш.с, 1H, NH). Найдено, %: С 43.31; Н 4.41; N 39.47. C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>N<sub>7</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 43.37; Н 4.45; N 39.34

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-метилпиридазин-3(2H)-он (7).** Белые кристаллы, т.пл. 254–255 °С, выход 88%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 3.02 и 3.10 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 3.62 (с, 3H, NCH<sub>3</sub>); 6.48 и 6.69 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.89 и 7.28 (дд, J=9.7 Гц, 2H, CH=CH). Найдено, %: С 45.71; Н 4.91; N 37.37. C<sub>10</sub>H<sub>13</sub>N<sub>7</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 45.62; Н 4.98; N 37.24.

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-фенилпиридазин-3(2H)-он (8).** Белые кристаллы, т.пл. 175–176 °С, выход 88%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 3.03 и 3.12 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 6.51 и 6.72 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 7.31-7.48 (м, 5H, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 7.03 и 7.62 (дд, J=9.7 Гц, 2H, CH=CH). Найдено, %: С 55.41; Н 4.62; N 30.27. C<sub>15</sub>H<sub>15</sub>N<sub>7</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 55.38; Н 4.65; N 30.14

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-(2-феноксизтил)-пиридазин-3(2H)-он (9).** Белые кристаллы, т.пл. 180–182 °С, выход 95%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 3.02 и 3.10 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 4.24-4.38 (м, 4H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>); 6.50 и 6.74 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.77-7.10 (м, 5H, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 6.95 и 7.36 (дд, J=9.8 Гц, 2H, CH=CH). Найдено, %: С 55.41; Н 5.22; N 36.37. C<sub>17</sub>H<sub>19</sub>N<sub>7</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 55.38; Н 5.18; N 36.54

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-(2-(p-толилокси)-этил)пиридазин-3(2H)-он (10).** Белые кристаллы, т.пл. 233–235 °С, выход 65%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H □ м.д., J Гц: 2.26 (с, 3H, CH<sub>3</sub>); 3.00 и 3.10 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 4.22-4.38 (м, 4H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>); 6.48 и 6.73 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.73-7.04 (м, 4H, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>); 6.92 и 7.30 (дд, J=9.8 Гц, 2H, CH=CH). Найдено, %: С 56.31; Н 5.57; N 25.63. C<sub>18</sub>H<sub>21</sub>N<sub>7</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 56.39; Н 5.52; N 25.57.

### Синтез соединений 11–13.

К смеси соединения **6** (0.001 моль) и 10 мл диметилформамида добавляют 0.011 моля арилоксиэтилбромида или производного галогенкарбоновой кислоты и перемешивают 2 часа при 50–60 °С, затем при 60–70 °С до рН 7. Растворитель

удаляют, остаток обрабатывают водой и 10%-ным раствором КОН, отфильтровывают, тщательно промывают водой и высушивают.

**2-(3-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-6-оксопиридазин-1(6H)-ил)ацетамид (11).** Белые кристаллы, т.пл 263–265 °С, выход 70%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 3.04 and 3.10 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 4.54 (с, 2H, NCH<sub>2</sub>); 6.47 и 6.84 (уш.с, 2H, NH<sub>2</sub>-амид); 6.92 и 7.30 (дд, J=9.8 Гц, 2H, CH=CH); 6.95 и 7.35 (уш.с, 2H, NH<sub>2</sub>-амин). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  □ м.д. 35.56, 35.68, 53.16, 130.45, 147.50, 158.65, 166.05, 167.42, 167.61, 169.18. Найдено, %: С 43.01; Н 4.50; N 36.18. C<sub>11</sub>H<sub>14</sub>N<sub>8</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С, 43.14; Н, 4.61; N, 36.59.

**Этил 2-(3-((4-амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-6-оксопиридазин-1(6H)-ил)ацетат (12).** Белые кристаллы, т.пл 220–222 °С, выход 70%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 1.30 (т, J=7.1 Гц, 3H, CH<sub>3</sub>); 3.00 и 3.08 [сс, 6H, N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; 4.22 (к, J=7.1 Гц, OCH<sub>2</sub>); 4.68 (с, 2H, NCH<sub>2</sub>); 6.50 и 6.90 (уш.с, 2H, NH<sub>2</sub>-амин); 6.97 и 7.38 (дд, J=9.8 Гц, 2H, CH=CH). Найдено, %: С 46.47; Н 5.02; N 28.97. C<sub>13</sub>H<sub>17</sub>N<sub>7</sub>O<sub>4</sub>. Вычислено, %: С, 46.56; Н, 5.11; N, 29.24.

**6-((4-Амино-6-(диметиламино)-1,3,5-триазин-2-ил)окси)-2-(2-(p-толилокси)-этил)пиридазин-3(2H)-он (13).** Белые кристаллы, т.пл 233–235 °С, выход 65%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  совпадает со спектром соединения **10**. Найдено, %: С 56.42; Н 5.47; N 25.69. C<sub>18</sub>H<sub>21</sub>N<sub>7</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 56.39; Н 5.52; N 25.57

**Синтез соединений 14–16** осуществлен по методу, описанному в работе [9]. Температуры плавления полученных соединений совпадают с данными этой работы (110–112 °С R=H; 44–46 °С R=CH<sub>3</sub>; 115–117 °С R=C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>).

### Синтез соединений 17–19

К алкоголяту, полученному из 10 мл изопропилового спирта и 0.03 моля металлического натрия, прибавляют 0.01 моля гуанидингидрохлорида и 0.01 моля эфира (**14–16**) и кипятит 10 ч. на водяной бане. Спирт отгоняют, к остатку прибавляют 20 мл воды и подкисляют уксусной кислотой до pH 7. Осадок отфильтровывают, промывают водой и высушивают.

**6-((2-Амино-4-гидрокси-6-метилпиримидин-5-ил)окси)пиридазин-3(2H)-он (17).** Желтые кристаллы, т.пл. 335–337 °С, выход 50%. ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 2.01 (с, 3H CH<sub>3</sub>); 6.27 (уш.с, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.83 и 7.21 (дд, J=9.9 Гц, 2H, CH=CH); 11.09 (уш.с, 1H, OH); 11.98 (уш.с, 1H, NH). Найдено, %: С 45.92; Н 3.73; N 29.83. C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 45.96; Н 3.86; N 29.78

**6-((2-Амино-4-гидрокси-6-метилпиримидин-5-ил)окси)-2-метилпиридазин-3(2H)-он (18).** Желтые кристаллы, т.пл. 205–207 °С, выход 65%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 2.01 (с, 3H CH<sub>3</sub>); 3.48 (с, 3H, NCH<sub>3</sub>); 6.24 (сс, 2H, NH<sub>2</sub>); 6.88 и 7.20 (дд, J=9.7 Гц, 2H, CH=CH); 11.05 (уш.с, 1H, OH). Найдено, %: С 48.23; Н 4.50; N 28.23. C<sub>10</sub>H<sub>11</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 48.19; Н 4.45; N 28.10

**6-((2-Амино-4-гидрокси-6-метилпиримидин-5-ил)окси)-2-фенилпиридазин-3(2H)-он (19).** Желтые кристаллы, т.пл. 180–182 °С, Выход 56%. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  □ м.д., J Гц: 2.05 (с, 3H CH<sub>3</sub>); 6.33 (шс, 2H, NH<sub>2</sub>); 7.25–7.54

(м, 5H, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 7.03 и 7.32 (дд, J=9.8 Гц, 2H, CH=CH); 11.14 (ш.с, 1H, OH). Найде-  
но, %: С 57.76; Н 4.28; N 22,33. C<sub>15</sub>H<sub>13</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: С 57.87; Н 4.21; N  
22.50

### ЛИТЕРАТУРА

1. Komossa D., Sandermann H. // J. Agric. Food Chem., 1995, 43, № 10. P. 2713.
2. Zou X-J., Jin G-Y., Zhang Z-X. // J. Agric. Food Chem., 2002, 50, № 6. P.1451.
3. Zou X-J., Lai L-H., Jin G-Y., Zhang Z-X. // J. Agric. Food Chem., 2002, 50, № 13. P. 3757.
4. Mirzoeva S., Sawkar A., Zasadzki M. // J. Med. Chem., 2002, 45, № 3. P. 563.
5. Vicentini Ch., Romagnoli C., Andreotti E., Mares D. // J. Agric. Food Chem., 2007, 50. P. 10331.
6. Довлатян В.В., Гомкцян Т.А., Карапетыан А.В. и Енгоян А.П. // Хим. жур. Армении, 2006, 59, № 3. С. 95.
7. Довлатян В.В., Гомкцян Т.А. и Оганисян М. Г. // Хим. жур. Армении, 2003, 56, № 4. С. 68.
8. [http://www.alanwood.net/pesticides/class\\_pesticides.html](http://www.alanwood.net/pesticides/class_pesticides.html)

### SYNTHESIS OF NOVEL PLANTS GROWTH STIMULATORS IN THE SERIES OF PYRIDAZINYLOXYAZINES DERIVATIVES

*R. Shainova, T. Gomktsyan, A. Karapetyan, A. Yengoyan*

#### SUMMARY

The treatment of potassium salts of 6-hydroxypyridazin-3(2H)-one and its 2-N-substituted derivatives with trimethylammonium chlorides of 2-methoxy(dialkylamino)-4-amino-1,3,5-triazine afforded the corresponding pyridazinyloxy-1,3,5-triazines. The reaction of the same pyridazin potassium salts with chloro acetoacetic ester and further heterocyclization leads to pyridazinyloxy-pyrimidines derivatives. The synthesized compounds have shown strongly pronounced growth stimulant properties.

**Keywords:** pyridazinyloxy-1,3,5-triazine, pyridazinyloxy-pyrimidines, heterocyclization, plants growth stimulators.

### ԲՈՒՑՄԵՐԻ ՆՈՐ ԱՃԱԽԹԱՆԻՉՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶԸ ՊԻՐԻԴԱԶԻՆԻԼ-ՕՔՍԻԱԶԻՆՆԵՐԻ ԱՇԱՆՑՅԱԼՆԵՐԻ ՇԱՐՔՈՒՄ

*Ռ. Շահինովա, Ս.Ա. Գոմկցյան, Ա.Վ. Կարապետյան, Ա.Փ. Ենգոյան*

#### ԱՍՓՈՓՈՒՄ

6-Հիդրօքսիպիրիդազին-3(2H)-ոնի և դրա 2-N-տեղակալված ածանցյալների կալիումական աղերը և 2-մեթօքսի(դիալկիլամինա)-4-ամինա-1,3,5-տրիազինի տրիամեթիլամոնիումային աղերի քլորիդների փոխազդեցությամբ սինթեզվել են համապատասխան պիրիդազինիլօքսի-1,3,5-տրիազինները: Պիրիդազինի նույն կալիումական աղերի ռեակցիան քլորացետոազախաթօքսիլի էսթերի հետ և հետագա հետերոցիկլումը հանգեցրել է 5-տեղակալված պիրիդազինիլօքսի-պիրիմիդինային ածանցյալների

ստացմանը: Կենսաբանական փորձարկումների ընթացքում սինթեզված միացությունները ցուցաբերել են արտահայտված աճախթանիչ հատկություններ բույսերի նկատմամբ:

**Հիմնաբառեր**, պիրիդազինիլօքսի-1,3,5-տրիազիններ, պիրիդազինիլօքսի-պիրիմիդիններ, հետերոցիկլում, բույսերի աճախթանիչներ:

**ДЕСЯТАЯ ГОДИЧНАЯ ЮБИЛЕЙНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Сборник научных статей**

***Главный редактор*** – М.Э. Авакян  
***Корректор*** – Э.А. Рухкян  
***Корректор*** – Ш.Г. Мелик-Адамян, М.Р. Татевосян  
***Компьютерная верстка*** – А.С. Бжикян

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](mailto:redaction@gmail.com)

Заказ № 20  
Подписано к печати 19.08.2016г.  
Формат 70x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1.  
Объем 12.38 усл. п.л. Тираж 200 экз.

Отпечатано в типографии:  
ООО «ВМВ-Принт»  
г. Ереван, пр. Азатутяна 24  
Тел: (+374 10) 28-54-28  
e-mail: [vmv\\_print@yahoo.com](mailto:vmv_print@yahoo.com)