

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научно-методический журнал
Основан в июле 1993 г.

№ 3(51), 2015

Выходит три раза в год

Тирасполь

*Издательство
Приднестровского
Университета*

2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

Г.И. САНДУЦА, канд. юрид. наук, доц.
(ответственный редактор)

И.К. СТРАТИЕВСКАЯ, канд. филос. наук, доц.
(зам. ответственного редактора)

Е.К. ОПРЯ, канд. филол. наук, доц.
(ответственный секретарь)

П.И. ХАДЖИ, д-р физ.-мат. наук, проф.
Ю.А. ДОЛГОВ, д-р техн. наук, проф.
Л.Г. СЕНОКОСОВА, д-р экон. наук, проф.
Ф.Ю. БУРМЕНКО, канд. техн. наук, доц.
А.И. ДИКУСАР, д-р хим. наук, проф.

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко. Вестник Приднестровского университета / Приднестровский гос. ун-т. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2015

Сер.: Физико-математические и технические науки: № 3(51), 2015. – 216 с.
ISSN 1857-1174

5:378.4(478-24)(082)

П 71

ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

УДК 537.632

О.Ф. Васильева, ст. преп.

П.И. Хаджи, д-р физ.-мат. наук, проф.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ТУННЕЛИРОВАНИЯ БОЗЕ-КОНДЕНСИРОВАННЫХ АТОМОВ

Изучена динамика туннелирования бозе-конденсированных атомов в двухъямной ловушке с учетом процессов упругого межатомного взаимодействия в каждой яме, а также нелинейного и стимулированного межъямного туннелирования через барьер.

Введение

Явление туннелирования материальных частиц через классически непроницаемый барьер представляет собой один из фундаментальных квантовых эффектов. Модель двойной квантовой ямы с центральным барьером оказалась весьма плодотворной при исследовании явления туннелирования бозе-конденсированных атомов.

Туннельная связь между ямами возникает благодаря перекрытию волновых функций каждого конденсата в области барьера. Если ловушка состоит из двух потенциальных ям, разделенных барьером, то вследствие туннелирования атомов через барьер образуются осциллирующий поток атомов и осцилляции населенностей ям (подобно когерентному туннелированию куперовских пар через джозефсоновский переход). При низкой плотности атомов, когда нелинейность, обусловленная межатомным взаимодействием, мала, атомы, локализованные вначале в одной

яме, полностью переходят в другую яму и осциллируют туда и обратно между ямами. Если нелинейность превосходит пороговую величину, то осцилляции населенностей становятся неполными и возникает явление квантового самозахвата. Таким образом, в симметричной двухъямной структуре происходит асимметричное распределение атомов в ямах, поскольку большая часть атомов захватывается в одной из ям даже в условиях отталкивательного взаимодействия между атомами.

В [1] получен ряд результатов предварительного исследования временной эволюции системы атомов в двухъямной ловушке и показано, что учет процесса парного туннелирования может привести к заметному изменению динамики туннелирования. Однако детальное изучение данных явлений отсутствует. Поэтому исследование особенностей временной эволюции системы с учетом механизмов линейного и нелинейного туннелирования является актуальной задачей. Результаты такого исследования представлены ниже.

Основные уравнения

Изучим явление туннелирования бозе-конденсированных атомов в симметричной двухъямной ловушке между идентичными ямами. Считаем, что ямы разделены потенциальным барьером, допускающим возможность туннелирования атомов. Цель данного исследования состоит в изучении роли различных механизмов нелинейности в процессе туннелирования. Согласно [1–8] гамильтониан взаимодействия можно представить в виде

$$\begin{aligned}
 H = & -\hbar\kappa(\hat{a}_1^+\hat{a}_2 + \hat{a}_2^+\hat{a}_1) + \\
 & + \frac{1}{2}\hbar\nu(\hat{a}_1^+\hat{a}_1^+\hat{a}_1\hat{a}_1 + \hat{a}_2^+\hat{a}_2^+\hat{a}_2\hat{a}_2) + \\
 & + \frac{1}{2}\hbar\mu(\hat{a}_1^+\hat{a}_1^+\hat{a}_2\hat{a}_2 + \hat{a}_2^+\hat{a}_2^+\hat{a}_1\hat{a}_1) + \\
 & + \hbar\lambda(\hat{a}_1^+\hat{a}_1^+\hat{a}_1\hat{a}_2 + \hat{a}_2^+\hat{a}_1^+\hat{a}_1\hat{a}_1 + \\
 & + \hat{a}_1^+\hat{a}_2^+\hat{a}_2\hat{a}_2 + \hat{a}_2^+\hat{a}_2^+\hat{a}_2\hat{a}_1), \quad (1)
 \end{aligned}$$

где κ – константа линейного процесса туннелирования; \hat{a}_i ($i=1, 2$) – оператор уничтожения атома в i -й яме; ν – константа упругого межатомного взаимодействия в яме; μ – константа корреляционного туннелирования; λ – константа стимулированного межъямного туннелирования.

В [3–6] показано, что константы нелинейного взаимодействия μ , ν и λ бозе-конденсированных атомов в двухъямной ловушке определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
 \hbar\nu &= g \int \Phi_1^4(x) dx = g \int \Phi_2^4(x) dx, \\
 \hbar\mu &= g \int \Phi_1^2(x) \Phi_2^2(x) dx, \\
 \hbar\lambda &= g \int \Phi_1^3(x) \Phi_2(x) dx = g \int \Phi_2^3(x) \Phi_1(x) dx,
 \end{aligned}$$

где $g = 4\pi\hbar^2 a_s / m$ (a_s – длина атомного рассеяния; m – масса атома); $\Phi_1(x)$ и $\Phi_2(x)$ – волновые функции, локализованные в первой и второй ямах соответственно.

Используя гамильтониан (1), легко получить систему гайзенберговских эволюционных уравнений для операторов \hat{a}_1 и \hat{a}_2 , которая в приближении среднего поля (mean field approximation [9]) сводится к системе нелинейных уравнений:

$$\begin{cases}
 i\dot{a}_1 = -\kappa a_2 + \nu a_1^* a_1 a_1 + \mu a_1^* a_2 a_2 + \\
 \quad + \lambda(2a_1^* a_1 a_2 + a_2^* a_1 a_1 + a_2^* a_2 a_2), \\
 i\dot{a}_2 = -\kappa a_1 + \nu a_2^* a_2 a_2 + \mu a_2^* a_1 a_1 + \\
 \quad + \lambda(2a_2^* a_2 a_1 + a_1^* a_2 a_2 + a_1^* a_1 a_1),
 \end{cases} \quad (2)$$

где $a_1 = \langle \hat{a}_1 \rangle$ и $a_2 = \langle \hat{a}_2 \rangle$ теперь являются амплитудами состояний атомов в ямах 1 и 2 соответственно, зависящими от времени.

Систему уравнений (2) следует дополнить начальными условиями:

$$\begin{aligned}
 a_{1|t=0} &= \sqrt{n_{10}} \exp(i\varphi_{10}), \\
 a_{2|t=0} &= \sqrt{n_{20}} \exp(i\varphi_{20}), \quad (3)
 \end{aligned}$$

где каждая из функций характеризуется своей начальной амплитудой (плотностью) и фазой.

Будем искать решение системы нелинейных уравнений (2) в виде:

$$a_1 = A_1 \exp(i\varphi_1), \quad a_2 = A_2 \exp(i\varphi_2), \quad (4)$$

где A_i , φ_i ($i=1, 2$) – действительные функции, зависящие от времени, для которых получаем следующую систему нелинейных эволюционных уравнений:

$$\begin{cases}
 \dot{A}_1 = -(-\kappa + \lambda(A_1^2 + A_2^2))A_2 \sin \varphi - \mu A_1 A_2^2 \sin 2\varphi, \\
 \dot{A}_2 = (-\kappa + \lambda(A_1^2 + A_2^2))A_1 \sin \varphi + \mu A_2 A_1^2 \sin 2\varphi, \\
 \dot{\varphi} = \left(-\nu + \frac{-\kappa + \lambda(A_1^2 + A_2^2)}{A_1 A_2} \cos \varphi + \mu \cos 2\varphi \right) \times \\
 \quad \times (A_1^2 - A_2^2),
 \end{cases} \quad (5)$$

где $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ – разность фаз.

Вводя далее в рассмотрение плотности атомов в ямах $n_1 = |A_1|^2$, $n_2 = |A_2|^2$, разность населенностей $n = n_1 - n_2$ и полную плотность атомов $N_0 = n_1 + n_2$ в ямах, а также величины $Q = 2A_1A_2 \sin \varphi$, $R = 2A_1A_2 \cos \varphi$, получаем следующую замкнутую систему нелинейных дифференциальных уравнений для функций n , Q и R :

$$\begin{cases} \dot{n} = 2(\tilde{\kappa} - \mu R)Q, \\ \dot{Q} = -2\tilde{\kappa}n + (\mu - \nu)nR, \\ \dot{R} = (\mu + \nu)nQ, \end{cases} \quad (6)$$

где $\tilde{\kappa} = \kappa - \lambda N_0$ – обобщенная константа туннелирования.

Начальные условия для введенных функций можно записать в виде:

$$\begin{aligned} n_{|t=0} &= n_0, \quad Q_{|t=0} \equiv Q_0 = \sqrt{N_0^2 - n_0^2} \sin \varphi_0, \\ R_{|t=0} &\equiv R_0 = \sqrt{N_0^2 - n_0^2} \cos \varphi_0, \end{aligned} \quad (7)$$

где φ_0 – начальная разность фаз.

Из (5) и (6) видно, что влияние нелинейности, обусловленной стимулированным атомным туннелированием, сводится к появлению концентрационной поправки λN_0 к линейной константе туннелирования κ , пропорциональной полной плотности N_0 атомов в ямах.

Легко показать, что система уравнений (6) имеет два независимых интеграла движения:

$$\begin{aligned} n^2 &= n_0^2 + \frac{2\mu}{\mu + \nu} R_0 \left(R_0 - \frac{2\tilde{\kappa}}{\mu} \right) - \\ &\quad - \frac{2\mu}{\mu + \nu} R \left(R - \frac{2\tilde{\kappa}}{\mu} \right), \quad (8) \\ Q^2 + R^2 + n^2 &= N_0^2. \quad (9) \end{aligned}$$

Из (6)–(9) следует, что особенности временной эволюции системы определя-

ются соотношениями между параметрами и начальными условиями. Удобства ради введем далее нормированные величины:

$$\begin{aligned} n &= N_0 z, \quad R = N_0 y, \quad Q = N_0 q, \quad \tau = \tilde{\kappa} t, \\ \beta &= \frac{n_0}{N_0}, \quad s = \frac{\mu N_0}{\tilde{\kappa}}, \quad c = \frac{\nu N_0}{\tilde{\kappa}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда система уравнений (6) и интегралы движения (8)–(9) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} \dot{z} = 2(1 - sy)q \\ \dot{q} = -2z + (s - c)zy, \\ \dot{y} = (s + c)zq, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} z^2 &= \beta^2 + \frac{2}{s+c} (-y_0(2 - sy_0) + y(2 - sy)), \quad (12) \\ z^2 + y^2 + q^2 &= 1. \quad (13) \end{aligned}$$

При этом

$$\begin{aligned} z_{|t=0} &= \beta, \quad y_{|t=0} \equiv y_0 = \sqrt{1 - \beta^2} \cos \varphi_0, \\ q_{|t=0} &\equiv q_0 = \sqrt{1 - \beta^2} \sin \varphi_0. \end{aligned} \quad (14)$$

Представим решение системы уравнений (11) с учетом как линейных, так и нелинейных слагаемых при условии, что в начальный момент времени заселена только первая яма ($\beta = 1$). Отметим, что если в начальный момент времени плотность атомов в одной из ям ловушки равна нулю ($\beta = 1$ либо -1), то динамика процесса туннелирования между ямами не зависит от начальной разности фаз φ_0 .

Рассмотрим сначала эволюцию системы для более простого случая, когда отсутствует корреляционное и стимулированное туннелирование ($\mu = \lambda = 0$). Решение уравнения $\dot{z} = -2q$ зависит от значений параметра нелинейности c и имеет вид:

$$z = cn2\tau, \quad k = c/4 \quad \text{при } c \leq 4, \quad (15)$$

$$z = dn \frac{c\tau}{2}, \quad k = 4/c \quad \text{при } c \geq 4, \quad (16)$$

$$z = \operatorname{sech} 2\tau \quad \text{при } c = 4, \quad (17)$$

где $cn(x)$, $dn(x)$ – эллиптические функции Якоби с модулем k [10–12].

Из (15)–(16) видно, что разность населенностей z периодически изменяется со временем, причем амплитуда A и период T колебаний определяются формулами:

$$A = 1, \quad T = 2K(k) \quad (18)$$

при $c \leq 4$,

$$A = 16/c^2, \quad T = 4K(k)/c \quad (19)$$

при $c \geq 4$.

Из решений (15)–(16) и (18)–(19) следует, что при $c = 0$ ($v = 0$ наряду с $\mu = \lambda = 0$) все атомы полностью переходят из первой ямы во вторую и обратно за время, равное периоду колебаний $T = T_0 = \pi/\kappa$. С ростом параметра нелинейности c период колебаний T монотонно увеличивается (рис. 1, а, б) и все атомы, в начальный момент времени находившиеся в первой яме, по-прежнему периодически переходят из первой ямы во вторую и обратно. Амплитуда колеба-

ний A при этом равна единице. При $c = 4$ период колебаний разности населенностей z обращается в бесконечность, т. е. процесс перехода атомов из одной ямы в другую становится аperiodическим: разность населенностей ям со временем монотонно убывает, обращаясь в нуль на больших временах. В конечном счете обе ямы оказываются равнозаселенными ($z = 0$), чем процесс эволюции и завершается (см. рис. 1, а).

Амплитуда колебаний A при $c = 4$ скачком изменяется от единицы до $1/2$, а затем с ростом c она монотонно убывает, обращаясь в нуль при больших показателях c (см. рис. 1, в). Это означает, что при $c = 4$ резко изменяются свойства туннелирования. При $c > 4$ во вторую яму переходит менее половины атомов из первой ямы (см. рис. 1, а, в). Явление резкого уменьшения количества атомов, переходящих из заселенной ямы в пустую, называется явлением самозахвата [13–18], впервые обнаруженным в [19].

Теперь обсудим особенности эволюции системы с учетом в качестве нелинейностей упругого межатомного взаимодействия с константой c и стимулированного туннелирования с константой λ . Легко показать, что вид решения (15)–(19) в этом случае не изменится, однако параметр нелинейности c необходимо заменить

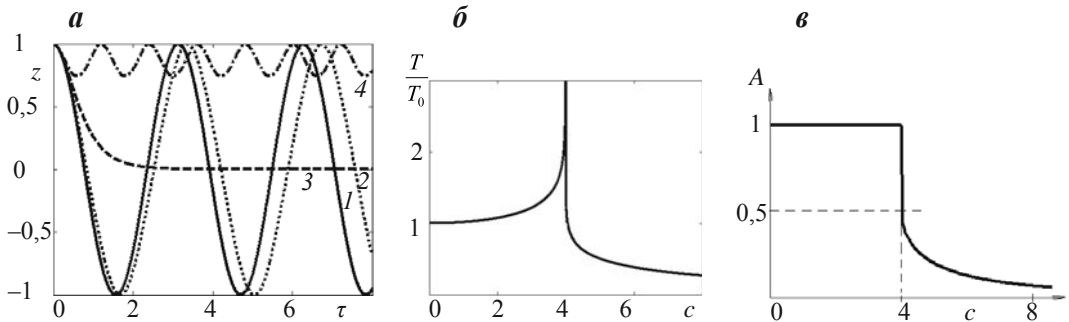


Рис. 1. Временная эволюция разности населенностей атомов при различных значениях параметра c : 1 – 1; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 6 (а); зависимость периода T (б) и амплитуды A (в) от параметра c

на обобщенный параметр нелинейности $\tilde{c} = c/(1-r)$, где $c = \nu N_0/\kappa$, $r = \lambda N_0/\kappa$.

Бифуркация решений (15)–(19) возникает при $\tilde{c} = 4$, т. е. при $c + 4r = 4$. В зависимости от величины и знака константы λ (или r) можно говорить о насыщении процесса туннелирования при $\lambda > 0$ ($\tilde{c} = c/(1-r)$) либо о его стимулировании при $\lambda < 0$ ($\tilde{c} = c/(1+r)$). Видно, что в условиях насыщения процесса туннелирования бифуркационное значение параметра c существенно понижается: $c = 4(1-r)$, а при стимулированном туннелировании – повышается: $c = 4(1+r)$.

При $\tilde{c} < 4$ наблюдается полная перекачка всех атомов из одной ямы в другую и обратно. Поэтому в условиях действия эффекта насыщения нелинейного туннелирования имеет место существенное сужение области значений параметра нелинейности c , в пределах которой происходит полная перекачка атомов из одной ямы в другую.

Принимая $r = c$, получаем, что бифуркационное значение параметра c уменьшается от 4 при $r = 0$ до $4/5$ при $r = c$. При $c = 4/5$ периодический режим эволюции системы трансформируется в апериодический, а при $c > 4/5$ режим эволюции снова оказывается периодическим, однако существенно уменьшается амплитуда колебаний разности населенностей z .

Таким образом, эффект самозахвата в условиях действия нелинейного насыщения туннелирования более вероятен, чем при отсутствии данного процесса. Это обусловлено тем, что насыщение процесса туннелирования приводит к уменьшению величины эффективной константы туннелирования $\tilde{\kappa}$ по сравнению со случаем $r = 0$.

В условиях стимулирования процесса туннелирования бифуркационное значение параметра c существенно увеличивается: $c = 4(1+r)$.

Снова принимая $r = c$, получаем, что периодическая полная перекачка атомов из одной ямы в другую имеет место при

любых значениях параметра c , а апериодический режим эволюции вообще не наступает и явление самозахвата отсутствует. Если $r \neq c$, то бифуркация решения возникает, однако при больших значениях параметра c . Таким образом, в условиях стимулирования процесса туннелирования ситуация обратная: эффективная константа туннелирования $\tilde{\kappa}$ быстро растет с ростом полной плотности атомов N_0 .

Наблюдение особенностей бифуркации в зависимости от параметров c и r может дать информацию о проявлении нелинейного эффекта насыщения либо о стимулировании процесса туннелирования. Отсутствие эффекта самозахвата в процессе туннелирования в двухъямной ловушке может свидетельствовать о стимулировании процесса туннелирования, и наоборот, его наступление при малых значениях параметра нелинейности c может свидетельствовать о насыщении туннелирования.

Наконец, представим решения для разности населенностей $z(\tau)$ в общем случае с учетом всех параметров системы при произвольном начальном заселении ям. Вид решения и особенности его поведения существенно определяются соотношениями между нелинейными параметрами c и s . Здесь и далее будем считать эти параметры положительными. Отметим, что они определяют корни y_+ , y_- уравнения $z(y) = 0$ и y_1 , y_2 уравнения $q(y) = 0$, которые выражаются формулами:

$$\begin{aligned} y_+ &= \frac{1}{s} + \sqrt{\left(\frac{1}{s} - y_0\right)^2 + \frac{c+s}{2s}\beta^2}, \\ y_- &= \frac{2}{s} - y_+, \\ y_1 &= \frac{2}{s-c} - \sqrt{\left(\frac{2}{c-s} + y_0\right)^2 + \frac{c+s}{c-s}q_0^2}, \\ y_2 &= \frac{4}{s-c} - y_1. \end{aligned} \tag{20}$$

Каждый корень периодически изменяется в зависимости от начальной разности фаз φ_0 с периодом 2π и симметрично располагается относительно точки $\varphi_0 = \pi$. Поэтому далее мы будем рассматривать временную эволюцию системы при изменении параметра φ_0 в пределах от нуля до π . При $c > s$ все четыре корня являются действительными, причем y_+ всегда положительный, y_- – отрицательный, а корни y_2 и y_1 изменяются как по величине, так и по знаку. Отметим, что поведение корней при $c > s$ определяется значением параметра

$$A = \left(\frac{s-c}{4} \beta^2 + \frac{s}{2} q_0^2 + y_0 \right)^2. \quad (21)$$

Так, если параметр $A < 1$, то корень $y_+ > y_2$, если $A > 1$, то $y_+ < y_2$, если $A = 1$, то $y_+ = y_2$.

При $c < s$ корни y_1 и y_2 являются действительными при выполнении дополнительного условия

$$\left(\frac{2}{c-s} + y_0 \right)^2 > \frac{s+c}{s-c} q_0^2. \quad (22)$$

В противном случае корни y_1 и y_2 оказываются комплексно-сопряженными:

$$y_{1,2} = u \pm iv, \quad u = \frac{2}{s-c}, \\ v = \sqrt{\frac{s+c}{s-c} q_0^2 - \left(\frac{2}{s-c} - y_0 \right)^2}. \quad (23)$$

Поведение корней в зависимости от параметров представлено на рис. 2. Видно, что при $c < s$ возникают три бифур-

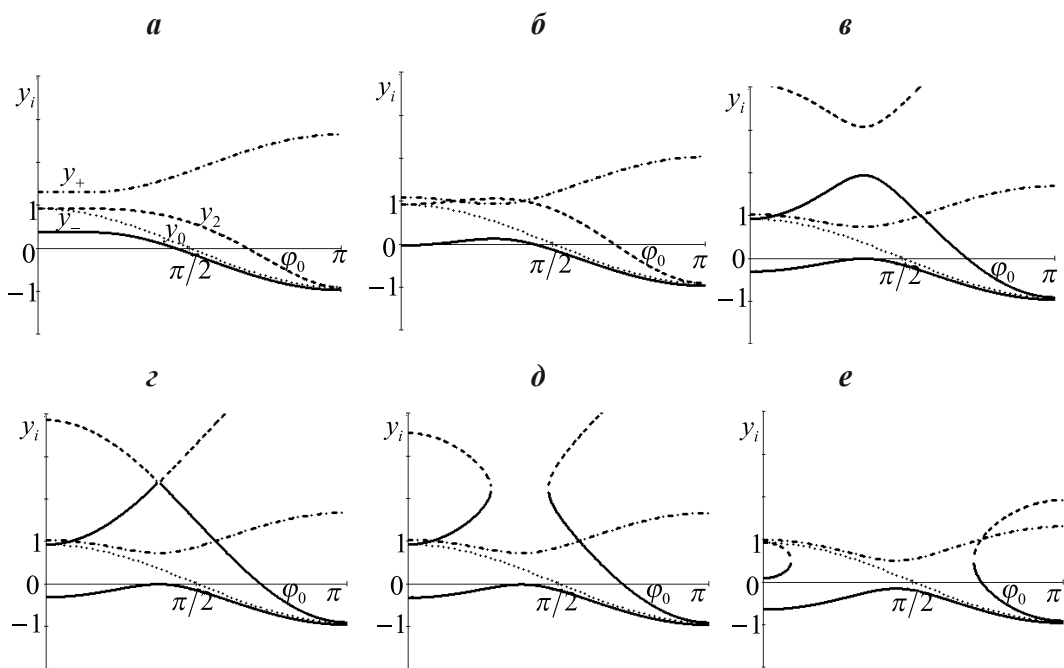


Рис. 2. Корни уравнения $W(z)=0$ в зависимости от начальной разности фаз φ_0 при фиксированных параметрах $c=2$ и $\beta=0,4$ и различных параметрах s : $a - 1,2$; $b - 1,9$; $v - 2,8$; $z - 2,839$; $d - 2,9$; $e - 6$

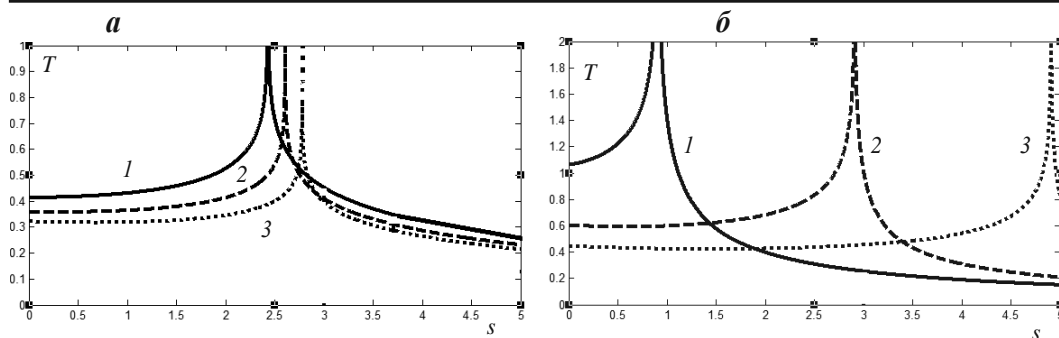


Рис. 3. Период колебаний разности населенностей атомов T в зависимости от параметра нелинейности s и при различных значениях параметра c , равных 3 (1), 5 (2), 7(3), и начальной разности фаз:

а) $\varphi_0 = \pi/2$; б) $\varphi_0 = \pi$

кации с изменением параметров системы: бифуркации вырождения корней y_+ и y_1 , y_+ и y_2 , а также бифуркация рождения (гибели) двух комплексно-сопряженных корней.

На рис. 3 представлены периоды колебаний разности населенностей атомов в зависимости от параметра s при различных параметрах c , β и φ_0 . Из представленных графиков видно, что при различных соотношениях между нормированными константой упругого межатомного взаимодействия в яме и постоянной корреляционного туннелирования точка бифуркации при увеличении параметра c смещается в сторону больших s .

Из представленных результатов следует, что с учетом упругого межатомного взаимодействия, корреляционного и стимулированного туннелирования в качестве нелинейных взаимодействий характер временной эволюции атомов в ямах может существенно изменяться по сравнению с простым случаем, когда в качестве нелинейности рассматривается только упругое межатомное взаимодействие. Видно, что могут возникнуть бифуркационные переходы от периодического к аperiodическому режиму при изменении параметров системы, а также немонотонное изменение периода.

Цитированная литература

1. Ananikian D., Bergeman T. // Phys. Rev. A73, 013604 (2006).
2. Zöllner S., Meyer H.-D., Schmelcher P. // Phys. Rev. A74, 053612 (2006); Phys. Rev. A78, 013629 (2008); Phys. Rev. Lett. 100, 040401 (2008).
3. Liang J.-Q., Liu J.-L., Li W.-D., Li Z.-J. // Phys. Rev. A79, 033617 (2009).
4. Liu J.-L., Liang J.-Q. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 44, 025101 (2011).
5. Pflanzner A.C., Zöllner S., Schmelcher P. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42, 231002 (2009).
6. Spekkens R.W., Sipe J.E. // Phys. Rev. A59, 3868 (1999).
7. Masiello D., McKagan S.B., Reinhardt W.P. // Phys. Rev. A72, 063624 (2005).
8. Gati R., Oberthaler M.K. // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 40, R61 (2007).
9. Питаевский Л.П. // УФН, 168, 641 (1998).
10. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: ГИФМЛ, 1963.
11. Журавский А.М. Справочник по эллиптическим функциям. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1971.

13. Milburn G.J., Corney J., Wright E.M., Walls D.F. // Phys. Rev. A55, 4318 (1997).
14. Smerzi A., Raghavan S. // Phys. Rev. A61, 063601 (2000).
15. Raghavan S., Smerzi A., Fantoni S., Shenoy S.R. // Phys. Rev. A59, 620 (1999).
16. Tsukada N. // Phys. Rev. A61, 063602 (2000); A64, 033601 (2001).
17. Smerzi A., Trombettoni A. // Phys. Rev. A68, 023613 (2003).
18. Khadzi P.I., Vasilieva O.F. // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 6, 1 (2011).
19. Albiez M., Gati R., Fölling J., Hunsmann S., Cristiani M., Oberthaler M.K. // Phys. Rev. Lett. 98, 010402 (2005).

УДК [535.2:530.182]:621.372.8

А.В. Коровай, канд. физ.-мат. наук, доц.
П.И. Хаджи, д-р физ.-мат. наук, проф.

ПРОПУСКАНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛЕНКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКА В УСЛОВИЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭКСИТОНОВ И БИЭКСИТОНОВ

Изучено нестационарное пропускание двух падающих на тонкую пленку ультракоротких импульсов лазерного излучения. Один из падающих импульсов находится в резонансе с двухфотонным переходом из основного состояния кристалла в биэкситонное, тогда как другой когерентно смешивает экситонное и биэкситонное состояния. Исследовано влияние амплитуд и ширины падающих импульсов на особенности их пропускания пленкой. Предсказан эффект существенной временной задержки в генерации проходящего через пленку импульса относительно падающего. Доказана возможность генерации прекурсора, т. е. импульса, проходящего через пленку раньше, чем пик падающего импульса достигнет пленки, а также возможность генерации отраженного импульса в отсутствие падающего.

Введение

Наиболее яркие нелинейно-оптические явления в системе когерентных экситонов и биэкситонов в полупроводниках обычно исследовались в модели бесконечно протяженной среды (см. [1–4] и приведенную там литературу). Сегодня значительный научный и практический интерес вызывает изучение нелинейно-оптических свойств размерно-ограниченных полупроводниковых структур, в частности тонких пленок.

Своеобразная связь между полем проходящего через тонкую пленку полупро-

водника (ТПП) электромагнитной волны и поляризацией среды приводит к ряду интересных физических эффектов [5–19]. Оказалось, что падающий на ТПП ультракороткий импульс (УКИ) лазерного излучения существенно преобразуется при прохождении через пленку и отражении от нее. В течение характерного времени реакции тонкая пленка может перейти в режим полного отражения, играя роль идеального зеркала, либо стать абсолютно прозрачной.

В зависимости от амплитуды прямоуглового падающего импульса пленка может генерировать одиночные импульсы

в пропускании или перейти в режим самопulsаций и генерировать цуг еще более коротких субимпульсов. Поэтому дальнейшее исследование нелинейно-оптических свойств ТПП является актуальной задачей, имеющей как чисто теоретический, так и прикладной интерес.

Ниже представлены результаты исследования закономерностей нестационарного пропускания когерентного лазерного излучения тонкими пленками полупроводников в двухимпульсном режиме их возбуждения при учете различных процессов взаимодействия полей ультракоротких импульсов с экситонами и биэкситонами, генерируемыми в полупроводнике.

1. Постановка задачи. Основные уравнения

Пусть на тонкую пленку кристалла CuCl с толщиной L , намного меньшей длины волны λ света, нормально падают два УКИ лазерного излучения с различными частотами и огибающими. Длительности импульсов считаем гораздо меньшими времени релаксации экситонов (биэкситонов) в полупроводнике. В этих условиях процессы релаксации экситонов (биэкситонов) являются несущественными, так как они не успевают срабатывать, и взаимодействие экситонов (биэкситонов) со светом можно считать когерентным.

Полагаем, что фотоны одного из импульсов находятся в резонансе с частотой перехода в области М-полосы (в области оптической экситон-биэкситонной конверсии) и когерентно смешивают экситонное и биэкситонное состояния (рис. 1). Фотоны другого импульса имеют энергию, равную половине энергии образования биэкситона, поэтому они вызывают процесс прямого двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла. Как известно [1, 2, 20–22], данный

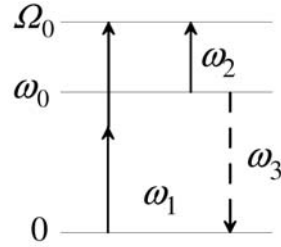


Рис. 1. Схема энергетических уровней экситона и биэкситона и квантовых переходов под действием полей двух различных импульсов с частотами ω_1 и ω_2

процесс характеризуется гигантской силой осциллятора. Кроме того, образующиеся экситоны могут рекомбинировать излучательно и таким образом генерировать третий импульс с частотой фотонов ω_3 , равной собственной частоте экситонного перехода ω_0 (на рис. 1 переход обозначен штриховой линией).

Гамильтониан взаимодействия экситонов и биэкситонов с полями трех указанных импульсов представим в виде

$$H = -\hbar\mu(b^+E_1^+E_1^- + bE_1^-E_1^+) - \hbar\sigma(a^+bE_2^- + b^+aE_2^+) - \hbar g(a^+E_3^+ + aE_3^-), \quad (1)$$

где μ – константа двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла [1, 2, 21, 22]; a (b) – амплитуда экситонной (биэкситонной) волны поляризации; E_1^+ (E_1^-) – положительно (отрицательно)-частотная компонента поля импульса с частотой фотонов $\omega_1 = \Omega_0/2$, возбуждающего биэкситоны из основного состояния кристалла (Ω_0 – собственная частота биэкситонного перехода); σ – константа оптической экситон-биэкситонной конверсии [1, 2, 20–22]; E_2^+ (E_2^-) – соответствующая компонента поля импульса с частотой фотонов ω_2 , действующего в области М-полосы ($\omega_2 \cong \omega_M = \Omega_0 - \omega_0$; ω_M – частота пере-

хода в области M -полосы; ω_0 – собственная частота экситонного перехода); g – константа экситон-фотонного взаимодействия; E_3^+ (E_3^-) – компонента поля с частотой $\omega_3 = \omega_0$, генерируемого экситонами в результате их излучательной рекомбинации.

Так как энергия связи биэкситона в кристалле CuCl достаточно велика ($\sim 30\text{--}40$ мэВ), то фотоны с частотами ω_1 и ω_2 не могут возбуждать экситоны из основного состояния кристалла в силу большой расстройки резонанса. Таким образом, в отличие от [23] в нашем случае на пленку падают два импульса, но ее реакция такова, что в пропускании (отражении) генерируются три разных импульса с различными огибающими и частотами фотонов.

Используя (1), легко получить гайзенберговские материальные уравнения, описывающие временную эволюцию амплитуд экситонной и биэкситонной волн поляризации среды. В условиях точного резонанса, когда $2\omega_1 = \Omega_0$, $\omega_2 = \Omega_0 - \omega_0$, $\omega_3 = \omega_0$, они имеют вид:

$$i\dot{a} = -\sigma b E_2^- - g E_3^+, \quad (2)$$

$$i\dot{b} = -\sigma a E_2^+ - \mu E_1^+ E_1^+. \quad (3)$$

Следуя [5–15], легко получить три электродинамических уравнения в качестве граничных условий для амплитуд E_1^+ , E_2^+ и E_3^+ полей в ТПП (амплитуд, прошедших через ТПП импульсов):

$$E_1^+ = E_{i1} + i\alpha_1 E_1^- b, \quad (4)$$

$$E_2^+ = E_{i2} + i\alpha_2 a^+ b, \quad (5)$$

$$E_3^+ = i\alpha_3 a, \quad (6)$$

где E_{i1} и E_{i2} – амплитуды полей (огибающие) падающих на ТПП импульсов, кото-

рые считаем действительными величинами; $\alpha_1 = 2\pi\hbar\omega_1\mu L/c$; $\alpha_2 = 2\pi\hbar\omega_2 g L/c$; $\alpha_3 = 2\pi\hbar\omega_3\sigma L/c$.

Кроме того, считаем, что в начальный момент времени (до поступления импульсов на пленку) кристалл находился в основном состоянии, т. е. в нем отсутствовали экситоны и биэкситоны.

Представляем далее макроскопические амплитуды в виде сумм действительных и мнимых компонент:

$$a = u + iv, \quad b = z + iw, \quad (7)$$

$$E_j^+ = E_j + iF_j, \quad j = 1, 2, 3.$$

Подставив (7) в (2)–(6), легко убедиться, что $v(t) = 0$, $z(t) = 0$, $F_j(t) = 0$ ($j = 1, 2$), $E_3(t) = 0$ в условиях точного резонанса и при начальных условиях $a|_{t=0} = 0$ и $b|_{t=0} = 0$. Это свидетельствует об отсутствии фазовой модуляции проходящих (отраженных) импульсов. Тогда система уравнений (2)–(6) принимает вид:

$$\dot{u} = -\alpha_3 g u - \sigma E_{i2} w + \alpha_2 \sigma w^2 u, \quad (8)$$

$$\dot{w} = \sigma E_{i2} u - \alpha_2 \sigma u^2 w + \mu E_{i1}^2 (1 + \alpha_1 w)^{-2}, \quad (9)$$

$$E_1 = E_{i1} (1 + \alpha_1 w)^{-1}, \quad (10)$$

$$E_2 = E_{i2} - \alpha_2 u w, \quad (11)$$

$$F_3 = \alpha_3 u. \quad (12)$$

Удобства ради введем далее нормированные величины:

$$\tau = t/\tau_0, \quad y = \alpha_1 u, \quad x = \alpha_1 w,$$

$$\tau_0 = \alpha_1^2 (\alpha_2 \sigma)^{-1},$$

$$f_j = \sigma \tau_0 E_j, \quad f_3 = \sigma \tau_0 F_3,$$

$$f_{i,j} = \sigma \tau_0 E_{i,j}, \quad j = 1, 2,$$

$$\kappa = \frac{\omega_3}{\omega_2} \left(\frac{\alpha_1 g}{\sigma} \right), \quad \beta = \frac{\mu \alpha_1}{\sigma^2 \tau_0} = \frac{\mu}{\sigma} \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1},$$

$$\gamma = \alpha_3 g \tau_0 = \frac{\omega_3}{\omega_2} \left(\frac{\alpha_1 g}{\sigma} \right)^2. \quad (13)$$

Тогда система нелинейных уравнений (8)–(12) принимает вид:

$$\frac{dy}{d\tau} = -\gamma y - f_{i2} x + x^2 y, \quad (14)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = f_{i2} y - y^2 x + \beta f_{i1}^2 (1+x)^{-2}, \quad (15)$$

$$f_1 = f_{i1} (1+x)^{-1}, \quad (16)$$

$$f_2 = f_{i2} - xy, \quad f_3 = \kappa y.$$

Уравнения (14)–(15) содержат три безразмерных параметра γ , β и κ и две нормированные амплитуды – внешние накачки f_{i1} и f_{i2} , которые являются функциями времени. Так как $\omega_1 - \omega_2 = 0,5 I_m / \hbar$, где I_m – энергия связи биэкситона, то $\omega_1 \approx \omega_2$ и поэтому параметр β практически равен единице.

Из (14)–(15) следует, что если на ТПП падает только импульс $f_{i2}(\tau)$, а $f_{i1}(\tau) = 0$, то система не эволюционирует, так как в отсутствие экситонов и биэкситонов в начальный момент времени действие одного лишь импульса $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы не приводит к генерации экситонов и биэкситонов. Следовательно, этот импульс проходит через ТПП как через абсолютно прозрачную среду. Если же на ТПП падает только импульс $f_{i1}(\tau)$, а $f_{i2}(\tau) = 0$, то из (14)–(15) получаем:

$$y(\tau) = 0,$$

$$x(\tau) = \left(3\beta \int_0^\tau f_{i1}^2(\tau') d\tau' + 1 \right)^{1/3} - 1, \quad (17)$$

$$f_1(\tau) = f_{i1}(\tau) \left(3\beta \int_0^\tau f_{i1}^2(\tau') d\tau' + 1 \right)^{-1/3}. \quad (18)$$

В этом случае амплитуда проходящего импульса $f_1(\tau)$ быстро убывает со временем, т. е. пленка «закрывается» в пропускании и падающий импульс практически полностью отражается.

2. Особенности квазистационарного режима пропускания

В условиях, когда на пленку в течение времени, меньшего времени релаксации экситонов (биэкситонов), подаются два ступенчатых импульса лазерного излучения с постоянными амплитудами $f_{i1} = \text{const}$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла и $f_{i2} = \text{const}$ в области M -полосы, то квазистационарный режим устанавливается за время t порядка нескольких τ_0 . В соответствии с нашими оценками [13–15] $\tau_0 = 10^{-13}$ с. Так как времена релаксации экситонов (биэкситонов) $\tau_{rel} \sim 10^{-10} - 10^{-11}$ с, то $\tau_{rel} / \tau_0 \approx 10^3 - 10^2$ и стационарный режим за время действия прямоугольного импульса, длительность которого меньше τ_{rel} , вполне успевает установиться. Стационарные значения нормированных амплитуд экситонов y_s и биэкситонов x_s определяются из уравнений:

$$\gamma y_s + f_{i2} x_s - x_s^2 y_s = 0, \quad (19)$$

$$f_{i2} y_s - y_s^2 x_s + \beta f_{i1}^2 (1+x_s)^{-2} = 0. \quad (20)$$

Из (19)–(20) легко получить

$$y_s^2 = \left(\beta f_{i1}^2 / \gamma \right) x_s (1+x_s)^{-2}. \quad (21)$$

Отсюда следует, что в квазистационарном режиме $x_s \geq 0$, тогда как y_s может быть и больше, и меньше нуля. Для определения x_s систему уравнений (19)–(21) можно привести к одному уравнению четвертой степени

$$x_s^4 - px_s^3 - 2(p + \gamma)x_s^2 - px_s + \gamma^2 = 0, (22)$$

где $p = (\gamma/\beta) \cdot (f_{i2}/f_{i1})^2$.

Видно, что это уравнение имеет только два положительных корня x_s , причем один из них больше $\sqrt{\gamma}$, а другой меньше $\sqrt{\gamma}$. При $\gamma \sim 1$ и $p \gg 1$ получаем приближенно: $x_{s1} \cong \gamma^2/p$, $x_{s2} \cong p$, а при $p \ll 1$ соответственно $x_s = \sqrt{\gamma} \pm \frac{1 + \sqrt{\gamma}}{2} \sqrt{p/\sqrt{\gamma}}$.

При $\gamma = 1$ уравнение (22) имеет двукратный корень $x_s = -1$, который мы отбрасываем из физических соображений, и два положительных корня x_{s1} и x_{s2} . В этом случае квазистационарные решения системы (19)–(20), дающие координаты особых точек $A(x_{s1}, y_{s1})$ и $B(x_{s2}, y_{s2})$ системы дифференциальных уравнений (14)–(15), определяются выражениями:

$$x_{s1} = (\sqrt{p+4} + \sqrt{p})^2 / 4, (23)$$

$$y_{s1} = f_{i2} / \sqrt{p(p+4)};$$

$$x_{s2} = (\sqrt{p+4} - \sqrt{p})^2 / 4, (24)$$

$$y_{s2} = -f_{i2} / \sqrt{p(p+4)}.$$

Им соответствуют квазистационарные амплитуды полей проходящих через ТПП импульсов:

$$f_{1,s1} = f_{i1} (\sqrt{p+4} - \sqrt{p}) / (2\sqrt{p+4}), (25)$$

$$f_{1,s2} = f_{i1} (\sqrt{p+4} + \sqrt{p}) / (2\sqrt{p+4});$$

$$f_{2,s1} = -f_{i2} (\sqrt{p+4} - \sqrt{p})^2 / (4\sqrt{p(p+4)}),$$

$$f_{2,s2} = \frac{f_{i2} (\sqrt{p+4} + \sqrt{p})^2}{4\sqrt{p(p+4)}}; (26)$$

$$f_{3,s1} = -f_{3,s2} = \kappa f_{i2} / \sqrt{p(p+4)}. (27)$$

Отсюда видно, что стационарные плотности экситонов $n_s = y_s^2$ и биэкситонов $N_s = x_s^2$ (а также амплитуды проходящих импульсов) существенно определяются амплитудами f_{i1} и f_{i2} обоих падающих импульсов и величиной параметра p (либо γ/β).

При $\gamma \neq 1$ аналитические выражения для стационарных значений нормированных амплитуд экситонов y_s и биэкситонов x_s можно найти из уравнений (21)–(22).

Для выяснения вопроса об устойчивости полученных решений x_s и y_s положим в (14)–(15) $x = x_s + \Delta x$, $y = y_s + \Delta y$, где $|\Delta x| \ll |x_s|$, $|\Delta y| \ll |y_s|$, и линеаризуем систему уравнений (14)–(15). Полагая затем $\Delta x, \Delta y \sim \exp(\lambda \tau)$, для показателя экспоненты λ получаем уравнение, решения которого представляются в виде

$$\lambda = -\frac{1}{2} \left[1 - x_s^2 + y_s^2 \left(1 + \frac{2}{x_s(1+x_s)} \right) \right] \pm \frac{1}{2} \sqrt{D}, (28)$$

где

$$D = \left[1 - x_s^2 - y_s^2 \left(1 + \frac{2}{x_s(1+x_s)} \right) \right]^2 - 4(f_{i2} - 2x_s y_s)^2. (29)$$

Исследование показывает, что первый корень (x_{s1}, y_{s1}) устойчив при условии, что

$$f_{i2}^2 \geq F(p),$$

$$F(p) = [p(p+4)]^{3/2} (\sqrt{p+4} + \sqrt{p})^2 \times \left(4 + \frac{(\sqrt{p+4} - \sqrt{p})^3}{\sqrt{p+4}} \right)^{-1}, (30)$$

тогда как корень (x_{s2}, y_{s2}) устойчив при любых значениях параметров f_{i1} , f_{i2} , γ ,

и β . Бифуркационная кривая $F(p)$ имеет вид крутой параболы. Если значение f_{i2}^2 располагается выше кривой, то решение (x_{s1}, y_{s1}) устойчиво, если ниже – то неустойчиво. При этом особые точки с координатами (x_{s1}, y_{s1}) и (x_{s2}, y_{s2}) являются фокусами при $D < 0$ и узлами при $D > 0$.

На рис. 2 представлено поведение фазовых траекторий системы (14)–(15) и временная эволюция нормированных плотностей биекситонов x и экситонов y в условиях, когда обе особые точки являются устойчивыми (см. рис. 2, а, б) и когда только одна из особых точек устойчива (см. рис. 2, в, г). Кривые 1 и 2 на рис. 2,

$a, в$ определяют уравнениями (19) и (20) соответственно, записанными для переменных x и y . Пересечение этих кривых определяет положение стационарных точек системы $A(x_{s1}, y_{s1})$ и $B(x_{s2}, y_{s2})$. При некоторых значениях параметров γ, β и нормированных амплитуд полей падающих на ТПП прямоугольных импульсов f_{i1}, f_{i2} область притяжения точки A ограничена (на рис. 2, а эта область имеет вид эллипса, фазовые траектории внутри которой изображены прерывистыми линиями).

Видно, что в некоторой области значений x и y образуется довольно плотный жгут фазовых траекторий, устремляющих-

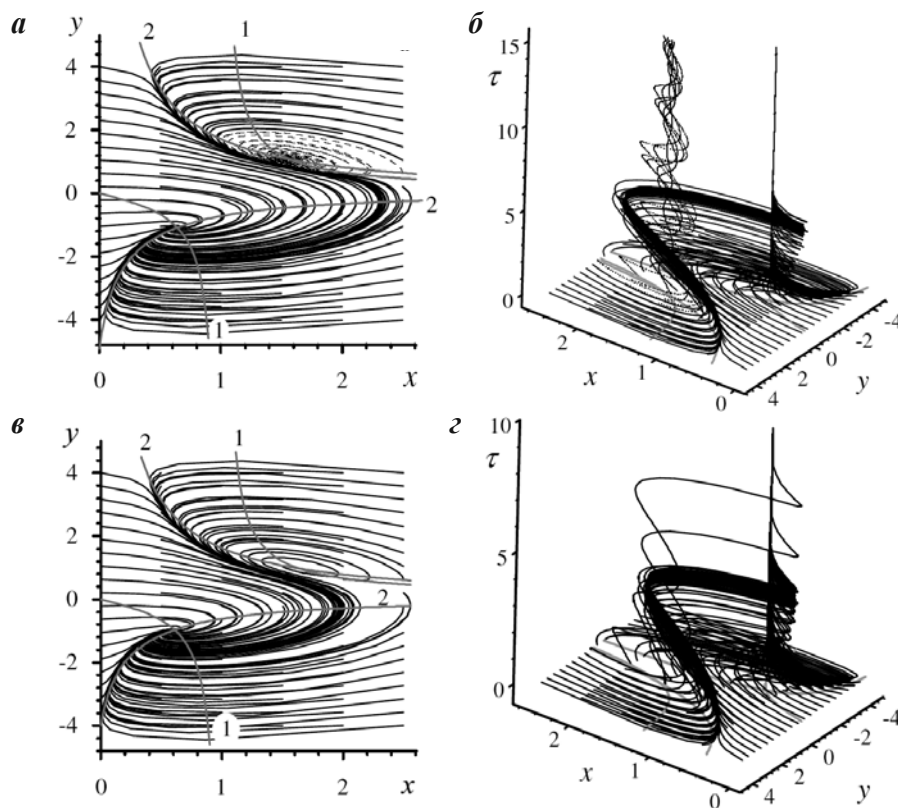


Рис. 2. Фазовый портрет системы (14)–(15) и временная эволюция нормированных плотностей биекситонов x и экситонов y в условиях, когда на пленку одновременно падают два прямоугольных импульса $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биекситонов из основного состояния кристалла и $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы при $f_{i2} = 1, \gamma = 1$ и $f_{i1} = 2, 2, 22$ (а, б); $f_{i1} = 2$ (в, г).

Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих импульсов соответственно

ся к точке $B(x_{s2}, y_{s2})$. Отдельные фазовые траектории обходят область притяжения точки A , затем, резко меняя свое направление движения, устремляются по спирали к точке B . Поэтому область притяжения точки A располагается внутри области притяжения точки B , т. е. область притяжения устойчивого фокуса B велика по сравнению с областью притяжения точки A .

Если до поступления импульсов кристалл находился в основном состоянии, то под действием прямоугольных импульсов система экситонов и биэкситонов эволюционирует таким образом, что фазовые траектории приходят только в точку B . Точка A при этом недостижима. Точно так же, если в начальный момент времени в кристалле имеются только экситоны или только биэкситоны, то и в этих случаях фазовые траектории притягиваются лишь точкой B .

Точка A достижима, если в начальный момент в кристалле были созданы экситоны и биэкситоны с такими значениями концентраций, что при $\tau = 0$ они уже находятся в области притяжения точки A . При других значениях параметров γ, β, f_{i1} и f_{i2} область притяжения точки A суще-

ственно расширяется, при этом возможны случаи достижения фазовыми траекториями точки A , если в начальный момент в кристалле имеются только экситоны.

Из рис. 2, *a* видно, что фазовые траектории сравнительно быстро (после одного-двух витков) оказываются в точке B и более медленно (после нескольких витков) в точке A .

На рис. 3 представлены результаты численного интегрирования системы (14)–(15) при начальных значениях концентраций экситонов и биэкситонов, попадающих в область притяжения точки A (см. рис. 3, *a*) и точки B (см. рис. 3, *б*) с параметрами γ, β, f_{i1} и f_{i2} , соответствующими рис. 2, *a*. Из рис. 3, *a* видно, что в начальный момент падения импульсов на ТПП происходит излучение пленкой ультракороткого импульса (амплитуда которого зависит от начальной концентрации биэкситонов) на частоте M -полосы за счет индуцированного сброса биэкситонов под действием фотонов падающего импульса f_{i2} . Концентрация экситонов вначале немного возрастает при сбросе биэкситонов, а затем убывает из-за излучательной рекомбинации экситонов. Затем по мере

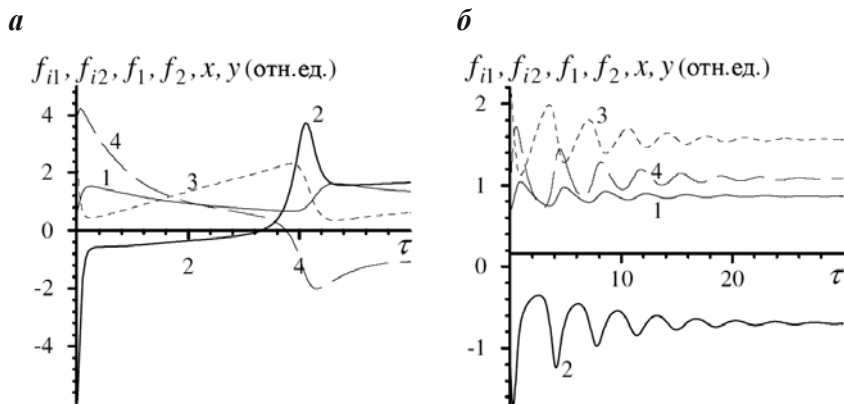


Рис. 3. Форма огибающих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и $f_2(\tau)$ в области M -полосы (2) и временная эволюция амплитуд биэкситонов x (3) и экситонов y (4) при $f_{i1} = 2,22, f_{i2} = 1, \gamma = 1, x_0 = 2,2$ и $y_0 = 4$ (а); $y_0 = 1$ (б). Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих импульсов соответственно, x_0 и y_0 – начальные амплитуды биэкситонов и экситонов соответственно

поступления импульсов в пленку генерируются биэкситоны, создавая инверсную заселенность биэкситонного уровня. Когда инверсия достигает максимума, происходит еще один индуцированный сброс биэкситонов с излучением второго ультракороткого импульса на частоте экситон-биэкситонного перехода.

При дальнейшем поступлении импульсов в пленку устанавливаются стационарные значения концентраций экситонов и биэкситонов, соответствующие точке *B*, а также амплитуд выходящих полей. Временная эволюция выходящего импульса на частоте экситонного перехода ω_3 полностью совпадает с временной эволюцией амплитуды экситонной волны *y*. В случае, когда начальные значения концентраций экситонов и биэкситонов попадают в область притяжения точки *A* (см. рис. 3, *б*), процесс установления стационарного состояния носит более длительный осцилляционный характер, что согласуется с рис. 2, *б*.

3. Пропускание прямоугольных импульсов

Рассмотрим случаи падения на ТПП разнесенных во времени прямоугольных импульсов конечной длительности (рис. 4, 5). Предположим, что на ТПП, находящуюся в основном состоянии, падают два прямоугольных УКИ лазерного излучения, но не одновременно (как на рис. 3), а последовательно.

На рис. 4, *а* сначала падает импульс $f_{i1}(\tau) = f_{i1}\vartheta(\tau - \tau_1)\vartheta(\tau_2 - \tau)$ с частотой ω_1 , находящейся в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (кривая 1), а затем – импульс $f_{i2}(\tau) = f_{i2}\vartheta(\tau - \tau_3)\vartheta(\tau_4 - \tau)$ (причем $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4$), частота ω_2 которого находится в резонансе с частотой экситон-биэкситонной конверсии (кривая 2). Здесь

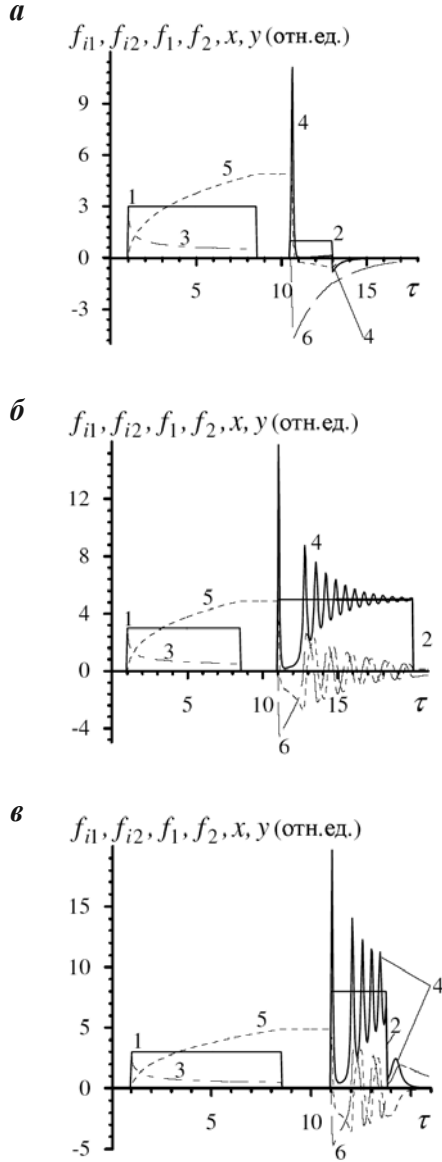


Рис. 4. Форма огибающих падающих прямоугольных импульсов $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и $f_{i2}(\tau)$ в области *M*-полосы (2), соответствующих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ (3) и $f_2(\tau)$ (4) и временная эволюция амплитуд биэкситонов *x* (5) и экситонов *y* (6) при $f_{i1} = 3, \gamma = 0,5$ и $f_{i2} = 1$ (а); $f_{i2} = 5$ (б); $f_{i2} = 8$ (в). Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих импульсов соответственно

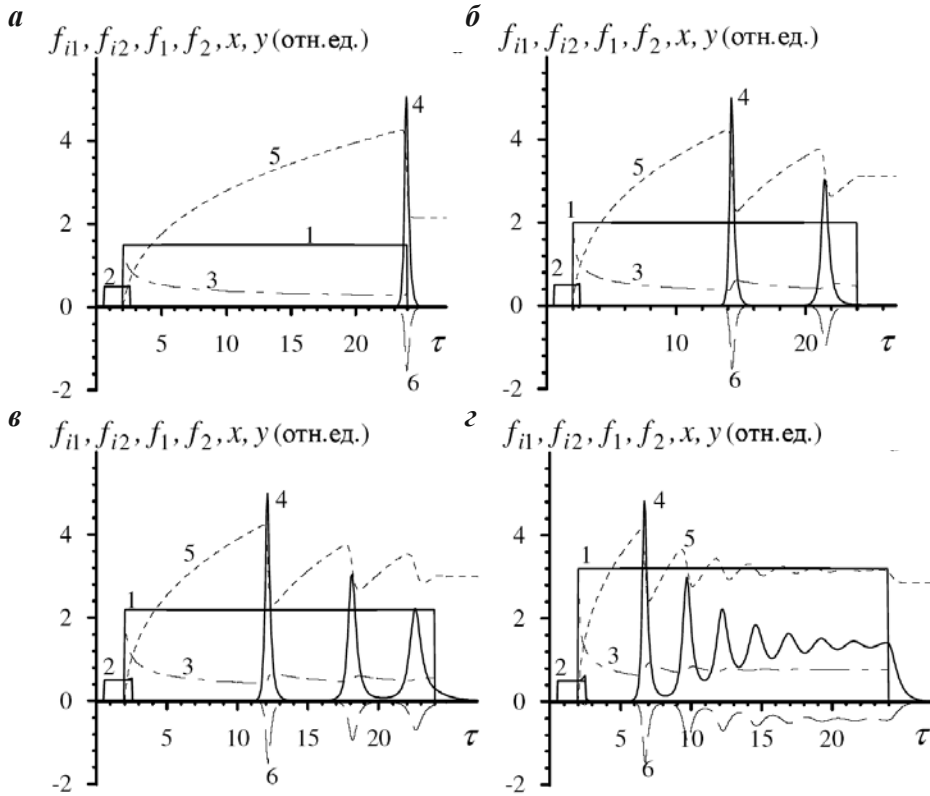


Рис. 5. Форма огибающих падающих прямоугольных импульсов $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы (2), соответствующих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ (3) и $f_2(\tau)$ (4) и временная эволюция амплитуд биэкситонов x (5) и экситонов y (6) при $f_{i2} = 0,5$, $\gamma = 10$ и $f_{i1} = 1,5$ (а); $f_{i1} = 2$ (б); $f_{i1} = 2,2$ (в); $f_{i1} = 3,2$ (г). Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих импульсов соответственно

$\tau_1(\tau_3)$ и $\tau_2(\tau_4)$ – соответственно нормированные на τ_0 моменты включения и выключения первого (второго) импульса, а $\mathcal{G}(x)$ – функция Хевисайда.

Выходящий импульс на частоте ω_1 (кривая 3) имеет меньшую амплитуду, чем падающий, так как часть энергии тратится на генерацию биэкситонов (кривая 5). К моменту падения второго импульса на частоте ω_2 в кристалле уже создана инверсная заселенность биэкситонного уровня. Поэтому фотоны второго импульса вызывают быстрый индуцированный сброс биэкситонов на экситонный уровень. При этом формируется резкий пик выходящего излу-

чения на частоте M -полосы (кривая 4). Одновременно с этим возникает выходящий импульс и на частоте экситонного перехода (кривая б) из-за излучательной рекомбинации экситонов, появившихся в результате сброса биэкситонов. Увеличение параметра γ приводит к уменьшению амплитуд обоих выходящих импульсов, увеличению полуширины импульса на частоте ω_1 (кривая 4) и уменьшению полуширины импульса на частоте ω_2 (кривая б). Увеличение параметра γ означает повышение скорости излучательной рекомбинации экситонов, плотность которых быстро уменьшается со временем.

При увеличении амплитуды второго падающего импульса, а именно при выполнении неравенства $f_{i2} > \gamma/2$ (см. рис. 4, б, кривая 2) возможна генерация цуга убывающих субимпульсов как в области M -полосы (кривая 4), так и в области экситонного перехода (кривая 6). Скорость затухания цуга определяется параметром γ , а частота колебаний субимпульсов цуга $\omega = \sqrt{f_{i2}^2 - (\gamma/2)^2}$ зависит от амплитуды второго падающего прямоугольного импульса. Если увеличивать длительность второго падающего импульса $f_{i2}(\tau)$, то с течением времени экситоны и биэкситоны постепенно исчезают, их плотности быстро убывают. Следовательно, прозрачность среды быстро возрастает и оказывается, что импульс проходит через ТПП как через абсолютно прозрачную среду с амплитудой f_2 , равной амплитуде падающего импульса $f_{i2}(\tau)$. Таким образом, воздействие на ТПП длинным импульсом $f_{i2}(\tau)$ приводит в пропускании к полному просветлению пленки.

Из (14)–(16) следует, что после выключения обоих падающих импульсов эволюция системы экситонов и биэкситонов продолжается. При этом нормированные концентрации экситонов $n = y^2$ и биэкситонов $N = x^2$ связаны интегралом движения

$$N + n - \gamma \ln(N/N_0) = N_0 + n_0, \quad (31)$$

где N_0 и n_0 – нормированные концентрации экситонов и биэкситонов в момент выключения импульсов. Отсюда видно, что, как бы ни изменялась концентрация экситонов n , концентрация биэкситонов N не может обратиться в нуль. При этом плотность биэкситонов N изменяется со временем по закону

$$\int_{N_0}^N \frac{dx}{x(N_0 + n_0 - x + \gamma \ln(x/N_0))} = -2(\tau - \tau_0). \quad (32)$$

Ранее отмечалось, что, как следует из (16), в пропускании и отражении отсутствует электромагнитное излучение на частоте ω_1 , если отсутствует падающее на ТПП излучение на этой частоте, т. е. $f_1(\tau) = 0$, если $f_{i1} = 0$. Что касается пропускания (отражения) импульсов на частотах ω_2 и ω_3 , т. е. в области M -полосы и в экситонной области спектра, то, как следует из (16), амплитуды полей f_2 и f_3 в указанных областях спектра могут быть отличными от нуля даже в отсутствие падающих на ТПП импульсов на данных частотах. Это возможно при отличных от нуля концентрациях экситонов и биэкситонов в начальный момент времени и обусловлено сложными процессами индуктирования при генерации излучения на указанных частотах.

Из рис. 4, в видно, что после выключения второго падающего импульса в пленке остается некоторая концентрация экситонов и биэкситонов и далее продолжается их свободная эволюция. Происходит сброс биэкситонов на экситонный уровень и формирование небольшого пика излучения на частоте M -полосы. При этом, как отмечалось выше, концентрация биэкситонов не обращается в нуль, а остается некоторой малой величиной. Одновременно формируется импульс и на частоте экситонного перехода из-за излучательной рекомбинации образовавшихся экситонов.

Рассмотрим теперь случай падения импульсов в обратной последовательности (см. рис. 5, а): сначала падает импульс $f_{i2}(\tau)$ с частотой ω_2 в области M -полосы (кривая 2), а затем – импульс f_{i1} , частота ω_1 которого находится в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (кривая 1). Отметим, что падающие импульсы частично перекрываются, т. е. $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4$. В этом случае импульс $f_{i2}(\tau)$ сразу проходит через ТПП как через абсолютно

прозрачную среду, поскольку в среде практически отсутствуют экситоны и биэкситоны. Тем не менее передний фронт импульса $f_{i1}(\tau)$ вызывает появление некоторой концентрации биэкситонов, сразу же превращаемых фотонами импульса $f_{i2}(\tau)$ (в области небольшого перекрытия импульсов) в экситоны.

После окончания действия импульса $f_{i2}(\tau)$ импульс $f_{i1}(\tau)$ продолжает генерировать биэкситоны, концентрация которых быстро растет (кривая 5) и которые в отсутствие поля на частоте ω_2 и при наличии очень малой концентрации экситонов не могут сразу полностью рекомбинировать. Поэтому импульс $f_{i1}(\tau)$ постепенно проходит через пленку, одновременно увеличивая плотность биэкситонов.

Однако с течением времени наступают условия для сброса образовавшейся инверсии в области M -полосы благодаря процессу экситон-биэкситонного индуцирования в отсутствие фотонов с частотой ω_2 и излучения ультракороткого импульса на частоте ω_2 (кривая 4). Одновременно с ним появляется импульс в области экситонного перехода (кривая 6). При увеличении амплитуды импульса $f_{i1}(\tau)$ (см. рис. 5, б) генерация биэкситонов происходит интенсивнее, вследствие чего условия для сброса образовавшейся инверсии в области M -полосы благодаря процессу экситон-биэкситонного индуцирования в отсутствие фотонов с частотой ω_2 наступают раньше (по сравнению со случаем на рис. 5, а) и импульс в области M -полосы тоже появляется раньше. Далее процесс повторяется, что приводит к генерации второго ультракороткого импульса на частоте ω_2 и соответственно на частоте экситонного перехода. С увеличением амплитуды падающего импульса $f_{i1}(\tau)$ (см. рис. 5, в, г) число генерируемых импульсов возрастает, расстояние между ними уменьшается, причем возникает некоторый пьедестал из-за их перекрытия.

4. Пропускание гауссовского и прямоугольного импульсов

Аналогичные результаты получаем в случае, когда огибающие падающих импульсов $f_{i1}(\tau)$ и $f_{i2}(\tau)$ не являются прямоугольными (ср. с рис. 4, а, б). На рис. 6 представлены результаты численного решения системы уравнений (14)–(15) для разнесенных во времени гауссовского $f_{i1}(\tau) = f_{i1} \exp\left(-(\tau - \tau_m)^2 / T^2\right)$ с амплитудой f_{i1} и полушириной T и короткого прямоугольного $f_{i2}(\tau) = f_{i2} \vartheta(\tau - \tau_1) \vartheta(\tau_2 - \tau)$ импульсов. Здесь τ_m есть момент времени, когда гауссовский импульс достигает своего максимума, а τ_1 и τ_2 – соответственно момент включения и выключения второго импульса. Из рис. 6, а видно, что амплитуда проходящего импульса $f_1(\tau)$ (кривая 3) меньше амплитуды падающего $f_{i1}(\tau)$ (кривая 1), а его максимум приходится на более ранний момент времени, чем максимум падающего. Это обусловлено тем, что часть энергии импульса $f_{i1}(\tau)$ расходуется на генерацию системы биэкситонов в пленке (кривая 5), плотность которых тем выше, чем больше амплитуда f_{i1} и полуширина T .

Так как в системе отсутствуют экситоны, то, следовательно, имеет место инверсия населенности экситонного и биэкситонного уровней на частоте перехода ω_M (в области M -полосы). Тогда фотоны второго импульса с огибающей $f_{i2}(\tau)$ (кривая 2) и частотой $\omega_2 = \omega_M$, попадая в пленку, вызывают быстрый индуцированный сброс биэкситонов, которые рекомбинируют с образованием экситонов и фотонов с частотой $\omega_2 = \omega_M$. В результате этого возникает ультракороткий импульс излучения с огибающей $f_2(\tau)$ (кривая 4), причем его полуширина убывает, а амплитуда увеличивается с ростом амплитуды (ширины) падающего импульса $f_{i1}(\tau)$.

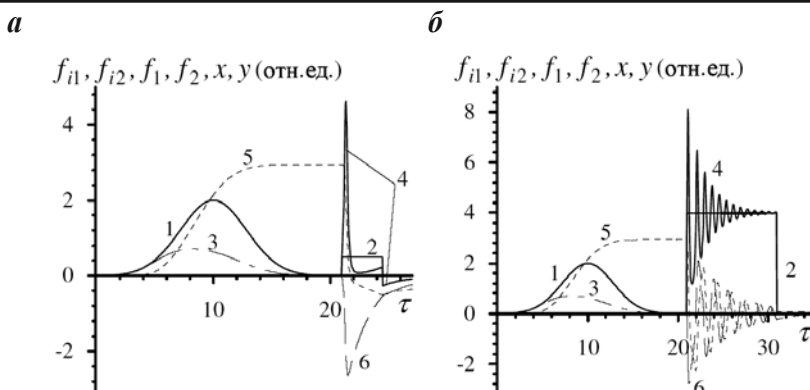


Рис. 6. Форма огибающих падающих импульсов гауссовского $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и прямоугольного $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы (2), соответствующих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ (3) и $f_2(\tau)$ (4) и временная эволюция амплитуд биэкситонов x (5) и экситонов y (6) при $f_{i1} = 2, T = 4, \gamma = 0,5$ и $f_{i2} = 0,5$ (а); $f_{i2} = 4$ (б). Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих импульсов соответственно, T – полуширина гауссовского импульса

Из рис. 6 также видно, что концентрация биэкситонов практически не меняется со временем к моменту падения на ТПП второго импульса. При увеличении длительности и амплитуды второго импульса (см. рис. 6, б), как и в случае падения прямоугольных импульсов, возможна генерация цуга затухающих сверхкоротких импульсов (пиков) излучения на частоте $\omega_2 = \omega_M$, т. е. ТПП эффективно преобразует падающий импульс $f_{i2}(\tau)$ в цуг еще более коротких импульсов, ширина которых на один-два порядка меньше ширины падающего импульса. При этом чем больше амплитуда ступенчатого импульса f_{i2} , тем меньше ширина и скважность каждого из субимпульсов цуга.

Таким образом, при учете экситон-фотонного взаимодействия огибающая цуга тем быстрее затухает, чем больше параметр γ , т. е. чем больше сила осциллятора экситонного перехода. Отметим также, что временная последовательность пропускания импульсов соответствует последовательности их падения на пленку.

5. Пропускание двух разнесенных во времени гауссовских импульсов

На рис. 7 представлены результаты численного интегрирования уравнений (14)–(15) для случая, когда на ТПП один за другим падают два разнесенных во времени гауссовских импульса: сначала $f_{i1}(\tau)$, затем $f_{i2}(\tau)$ – с различными амплитудами и полуширинами. Из рис. 7, а видно, что импульс $f_{i1}(\tau)$ генерирует биэкситоны и выходящий импульс $f_1(\tau)$ в определенной степени подобен падающему $f_{i1}(\tau)$. Интерес представляет то обстоятельство, что далеко на заднем хвосте импульса $f_{i1}(\tau)$ и на исчезающе малом по амплитуде переднем крае импульса $f_{i2}(\tau)$ вдруг возникает резкий, сверхкороткий импульс излучения $f_2(\tau)$ на частоте $\omega_2 = \omega_M$ и пик в экситонной области спектра. Создается впечатление, что следствие (появление импульса $f_2(\tau)$) опережает причину (падение на пленку импульса $f_{i2}(\tau)$). Дело в том, что передний край фронта падающего импульса $f_{i2}(\tau)$ с исчезающе малой амплитудой вызывает быстрый индуцированный сброс инверсии, созданной первым импульсом,

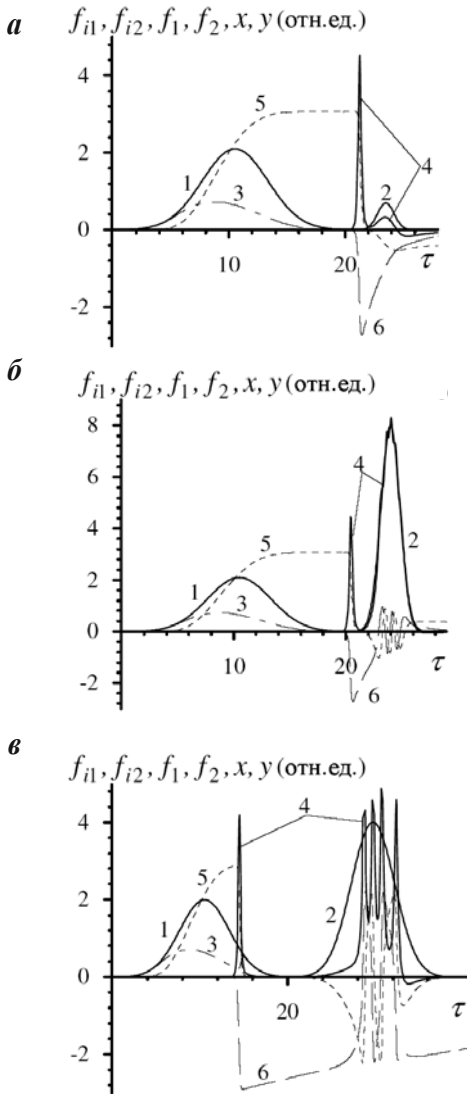


Рис. 7. Форма огибающих падающих гауссовских импульсов $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы (2), соответствующих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ (3) и $f_2(\tau)$ (4) и временная эволюция амплитуд биэкситонов x (5) и экситонов y (6) для следующих значений параметров: а) $f_{i1} = 2,1, f_{i2} = 1, T_1 = 4, T_2 = 1, \gamma = 0,5$; б) $f_{i1} = 2,1, f_{i2} = 8, T_1 = 4, T_2 = 1,2, \gamma = 0,5$; в) $f_{i1} = 2, f_{i2} = 4, T_1 = 4, T_2 = 3,5, \gamma = 0,02$. Здесь f_{i1}, T_1 и f_{i2}, T_2 — амплитуды и полуширины падающих гауссовских импульсов $f_{i1}(\tau)$ и $f_{i2}(\tau)$ соответственно

причем процесс ускоряется по мере его протекания.

На рис. 7, б представлены аналогичные результаты, но для случая, когда амплитуда второго падающего импульса в несколько раз больше, чем на рис. 7, а. Здесь не возникает второго импульса $f_2(\tau)$, как в [23]. Это происходит из-за того, что после излучения первого импульса появившиеся экситоны успевают рекомбинировать и к моменту прихода основной массы второго падающего импульса $f_{i2}(\tau)$ их в кристалле практически не остается, в результате импульс $f_{i2}(\tau)$ проходит через пленку как через прозрачное тело.

Генерация второго импульса на частоте M -полосы возможна при малых γ (см. рис. 7, в). Видно, что реакция пленки несколько иная: по-прежнему генерируется сначала уединенный сверхкороткий импульс $f_2(\tau)$ на переднем крае падающего импульса $f_{i2}(\tau)$, затем в окрестности пика импульса $f_{i2}(\tau)$ быстро генерируются один за другим четыре сверхкоротких импульса $f_2(\tau)$, после чего задний фронт падающего импульса создает экситонную поляризацию среды (которая потом исчезает из-за рекомбинации экситонов) и полностью отражается от пленки.

Таким образом, реакция пленки на падение гауссовского импульса $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы существенно определяется параметром γ . Отметим, что при меньшей амплитуде импульса $f_{i2}(\tau)$ излучение на частоте этого импульса не проходит через пленку, оно полностью отражается от нее при малых γ и полностью проходит при больших γ .

6. Пропускание разнесенных во времени прямоугольного и гауссовского импульсов

Чрезвычайно интересным является пропускание импульсов в обратной после-

довательности их падения: сначала падает прямоугольный импульс $f_{i2}(\tau)$, а затем, с некоторой задержкой, – гауссовский импульс $f_{i1}(\tau)$ (рис. 8, а). Время задержки порядка полуширины импульсов. Отметим, что импульсы $f_{i1}(\tau)$ и $f_{i2}(\tau)$, хоть и очень слабо, но перекрываются. В этом случае импульс $f_{i2}(\tau)$ сразу же проходит через ТПП как через абсолютно прозрачную среду, поскольку в среде практически отсутствуют экситоны и биэкситоны. Тем не менее далекий край на переднем фронте гауссовского импульса $f_{i1}(\tau)$ с очень малой амплитудой вызывает появление очень низкой концентрации биэкситонов, которые фотонами импульса $f_{i2}(\tau)$ сразу

же превращаются в экситоны. После окончания действия импульса $f_{i2}(\tau)$ импульс $f_{i1}(\tau)$ продолжает генерировать биэкситоны, концентрация которых быстро растет и которые в отсутствие поля на частоте ω_2 и при наличии очень малой концентрации экситонов не могут полностью рекомбинировать. Поэтому импульс $f_{i1}(\tau)$ постепенно проходит через пленку, одновременно увеличивая плотность биэкситонов. Однако с течением времени наступают условия для сброса образовавшейся инверсии в области M -полосы благодаря процессу экситон-биэкситонного индуцирования в отсутствие фотонов с частотой ω_2 и, как следствие, для генерации ультра-

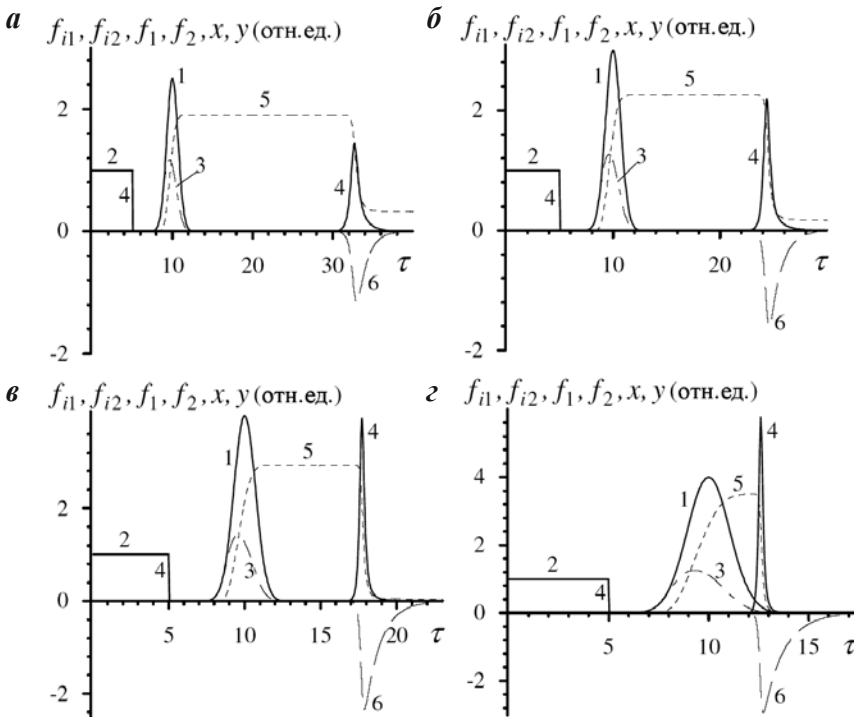


Рис. 8. Форма огибающих падающих импульсов гауссовского $f_{i1}(\tau)$ в области двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла (1) и прямоугольного $f_{i2}(\tau)$ в области M -полосы (2), соответствующих прошедших импульсов $f_1(\tau)$ (3) и $f_2(\tau)$ (4) и временная эволюция амплитуд биэкситонов x (5) и экситонов y (6) при $f_{i2} = 1$, $\gamma = 1$ и $f_{i1} = 2,5$, $T = 1$ (а); $f_{i1} = 3$, $T = 1$ (б); $f_{i1} = 4$, $T = 1$ (в); $f_{i1} = 4$, $T = 1,5$ (з). Здесь f_{i1} и f_{i2} – амплитуды падающих гауссовского и прямоугольного импульсов соответственно, T – полуширина падающего гауссовского импульса

короткого импульса на частоте ω_2 далеко на заднем хвосте импульса $f_{i1}(\tau)$.

На рис. 8, а видно, что при малой амплитуде падающего импульса $f_{i1}(\tau)$ генерируемый в пропускании второй импульс на частоте ω_2 отстоит далеко от пика падающего импульса, имеет малую амплитуду и значительную полуширину. При этом процесс возникновения данного импульса и эволюция поляризации среды носят латаргический характер. В течение длительного промежутка времени только плотность биекситонов отлична от нуля и практически остается неизменной, после чего в некоторый момент времени возникают катастрофически быстрые изменения плотности биекситонов и экситонов и амплитуды генерируемого поляризацией среды вторичного излучения.

Из рис. 8, а–в также следует, что с ростом амплитуды падающего импульса $f_{i1}(\tau)$ сокращается длительность процесса латаргической эволюции поляризации среды, т. е. сокращается задержка в возникновении генерируемого импульса, увеличивается амплитуда и сокращается его длительность. При значительных амплитудах падающего импульса $f_{i1}(\tau)$ генерируемый импульс на частоте ω_2 может иметь амплитуду, превышающую амплитуду падающего импульса, причем его полуширина существенно уменьшается. Увеличение полуширины падающего импульса $f_{i1}(\tau)$ также приводит к увеличению амплитуды и уменьшению полуширины генерируемого импульса и к сокращению времени его задержки относительно пика импульса $f_{i1}(\tau)$ (см. рис. 8, з).

Что касается изменения амплитуды и полуширины падающего импульса $f_{i1}(\tau)$, то это не влияет на параметры генерируемого (второго) импульса на частоте ω_2 . Увеличение параметра γ приводит к увеличению времени латаргического развития системы, уменьшению амплитуды и

увеличению полуширины генерируемого импульса на частоте M -полосы.

Отметим, что увеличение времени задержки между падающими импульсами $f_{i2}(\tau)$ и $f_{i1}(\tau)$ может привести к тому, что латаргическая стадия существенно удлиняется, так что второй импульс $f_2(\tau)$ может вообще не возникнуть.

Таким образом, на частоте ω_2 пленка генерирует в пропускании, по сути, два разнесенных во времени импульса. Следует указать, что в отражении от пленки можно наблюдать только один импульс на частоте ω_2 . В момент времени, когда проходит первый импульс, отражение отсутствует, тогда как в момент генерации второго импульса точно такой же по форме импульс возникает и в отражении. Это обусловлено тем, что второй импульс рождается переменной во времени поляризацией среды, которая генерирует в обе стороны от пленки одинаковое вторичное излучение. Следовательно, можно утверждать, что импульс «отражается» от пленки в условиях, когда падающий на нее импульс отсутствует, или, точнее, «отраженный» от пленки импульс $f_{r2}(\tau)$ возникает с огромной задержкой после падения импульса $f_{i2}(\tau)$.

Оценим амплитуду импульса $f_2(\tau)$, возникающего после латаргической стадии эволюции системы. Из (15) получаем, что нормированная плотность биекситонов N_0 , генерируемых гауссовским импульсом $f_{i1}(\tau) = f_{i1} \exp(-(\tau - \tau_m)^2/T^2)$, определяется выражением

$$N_0 = \left[\left(3\sqrt{\pi/2} \beta f_{i1}^2 T + 1 \right)^{1/3} - 1 \right]^2. \quad (33)$$

Видно, что с ростом f_{i1} и T плотность биекситонов N_0 быстро растет.

Как следует из (14)–(16), в момент времени, когда импульс $f_2(\tau)$ достигает своего пикового значения, выполняется условие

$$N = n + \gamma, \quad (34)$$

где N и n – нормированные (текущие) плотности квазичастиц.

В то же время выполняется соотношение (31). Тогда из (31) и (34) можно определить плотности экситонов n и биэкситонов N . Полагая $n_0 = 0$, получаем трансцендентное уравнение для определения N :

$$2N - \gamma - \gamma \ln(N/N_0) = N_0. \quad (35)$$

Зная N и n , амплитуду $f_{2\max}$ можно определить по формуле

$$f_{2\max} = \sqrt{Nn}. \quad (36)$$

Отсюда видно, что $f_{2\max}$ определяется двумя параметрами: N_0 и γ . В свою очередь, N_0 , как следует из (33), определяется амплитудой f_{i1} и полушириной гауссовского импульса T . Отметим, что критерием возникновения импульса $f_2(\tau)$ после летаргической стадии является неравенство $N_0 > \gamma$. Чем больше разность $N_0 > \gamma$, тем больше $f_{2\max}$ и тем короче летаргическая стадия. Полученные оценки полностью согласуются с результатами, представленными на рис. 8.

8. Заключение

Полученные результаты указывают на широкий спектр функциональных возможностей тонкой пленки в обработке ультракоротких оптических сигналов. Падение на ТПП двух импульсов с различными частотами приводит в использованной схеме энергетического спектра и типа квантовых переходов к возникновению трех импульсов в пропускании (отражении), два из которых имеют те же частоты, что и падающие, а третий – генерируется на частоте экситонного перехода. В зависимости от

амплитуд и ширин падающих импульсов и от времени задержки одного относительно другого возможны качественно различные эффекты в пропускании.

Предсказан эффект значительной задержки в формировании проходящего через ТПП импульса относительно падающего. Предложена интерпретация кажущегося эффекта прохождения через ТПП импульса до его падения на пленку, а также генерации отраженного импульса в отсутствие падающего.

Цитированная литература

1. Хаджи П.И. Нелинейные оптические процессы в системе экситонов и биэкситонов в полупроводниках. – Кишинев: Штиинца, 1985.
2. Хаджи П.И., Шибаршина Г.Д., Ротару А.Х. Оптическая бистабильность в системе экситонов и биэкситонов в полупроводниках. – Кишинев: Штиинца, 1988.
3. Moskaleiko S.A., Snoko D.W. Bose-Einstein condensation of excitons and biexcitons and coherent nonlinear optics with excitons. – Cambridge University Press, 2000.
4. Semiconductor Quantum Optoelectronics. From Quantum Physics to Smart Devices / Edited by A. Miller, M. Ebrahimzadeh, D.M. Finlayson. – Proceedings of 50th Scottish Universities Summer School in Physics, St. Andrews (June, 1998), Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia (1998).
5. Рупасов В.И., Юдсон В.И. // Квантовая электроника. 9, 2179 (1982); ЖЭТФ 93, 494 (1987).
6. Захаров С.М., Манькин Э.А. // Поверхность. 2, 137 (1988); 7, 68 (1989); ЖЭТФ. 95, 800 (1989); 105, 1053 (1994); Оптика и спектроскопия. 63, 1069 (1987).
7. Бенедикт М.Г., Зайцев А.И., Малышев В.А. и др. // Оптика и спектроскопия. 68, 812 (1990).
8. Самсон А.М., Логвин Ю.А., Туровец С.И. // Квантовая электроника. 17, 1223 (1990).

9. Манькин Э.А., Башаров А.М., Елютин С.О. и др. // Изв. АН СССР. Сер.: Физ. 53, 2350 (1987).
10. Логвин Ю.А., Самсон А.М. // ЖЭТФ. 102, 472 (1992).
11. Горячев В.А., Захаров С.М., Манькин Э.А. // Изв. РАН. Сер.: Физ. 63, 683 (1999).
12. Хаджи П.И., Гайван С.Л. // Оптика и спектроскопия. 81, 333 (1996); Изв. АН РМ. Сер.: Физ. и техн. 3, 45 (1996).
13. Хаджи П.И., Гайван С.Л. // Квантовая электроника. 22, 929 (1995); 23, 451 (1996); 23, 837 (1996); 23, 1009 (1996); 24, 532 (1997); ЖЭТФ. 108, 1831 (1995); ФТТ. 40, 932 (1998).
14. Хаджи П.И., Ткаченко Д.В., Гайван С.Л. // Квантовая электроника. 27, 265 (1999).
15. Хаджи П.И., Русанов А.М., Гайван С.Л. // Квантовая электроника. 27, 262 (1999).
16. Хаджи П.И., Федоров Л.В. // ЖТФ. 70, 65 (2000).
17. Shimano R., Kuwata-Gonokami M. // Phys. Rev. Lett. 72, 530 (1994).
18. Corovai A.V., Khadzhi P.I., Korovai O.V., Tkachenko D.V. // Moldavian J. Phys. Sci. 1, 152 (2002).
19. Хаджи П.И., Коровай А.В., Ткаченко Д.В. // ФТТ. 44, 774 (2002).
20. Гоголин А.А., Рашба Э.И. // Письма в ЖЭТФ. 17, 690 (1973).
21. Hanamura E. // J. Phys. Soc. Japan. 39, 1506 (1975); 39, 1516 (1975); Solid State Commun. 12, 951 (1973).
22. Хаджи П.И. // Кинетика рекомбинационного излучения экситонов и биэкситонов в полупроводниках. – Кишинев: Штиинца, 1977.
23. Хаджи П.И., Коровай А.В. // Квантовая электроника. 32, 711 (2002).

УДК 535.21

Д.А. Марков, канд. физ.-мат. наук, доц.

Л.Ю. Надькин, канд. физ.-мат. наук, доц.

П.И. Хаджи, д-р физ.-мат. наук, проф.

УСИЛЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗОНАНСНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭКСИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Предложен и изучен новый механизм генерации терагерцового излучения в полупроводниках, использующий квантовые переходы между двухэкситонным и биэкситонным состояниями в условиях однофотонного возбуждения экситонов из основного состояния кристалла.

Проблемы генерации терагерцового излучения в размерно ограниченных полупроводниковых структурах вызывают в последние годы все больший интерес. Терагерцовое излучение наблюдалось при квантовых переходах в асимметричных связанных квантовых ямах [1–3], в сверхрешетках [4–5], в отдельно взятой квантовой яме как результат квантовых биений между экситонами с легкими и тяжелыми

дырками [1]. Важная роль экситонных состояний в процессе генерации терагерцового излучения, особенно когда накачка действует в экситонной области спектра, отмечается в [1, 2, 6–8]. В [9] наблюдалась генерация терагерцового излучения в поляритонных спектрах благодаря ультрабыстрой модуляции частоты перехода между модой микрорезонатора и экситонным уровнем, а в [10] – поглощение этого

излучения экситонными поляритонами в квантовых дотах.

Мы предлагаем новый механизм генерации (усиления) терагерцового излучения в объемных либо размерно ограниченных полупроводниках с использованием экситонного и биэкситонного состояний. Пусть падающий на полупроводник импульс резонансного лазерного излучения с частотой, равной частоте экситонного перехода ω_0 , возбуждает экситоны из основного состояния кристалла (рис. 1). Считаем экситонное состояние ex макрозаполненным. Макрозаполненным является также двух-экситонное состояние $2ex$ на частоте $2\omega_0$. Данные состояния неоднократно использовались для интерпретации экспериментальных результатов по четырехволновому смешению в полупроводниках [11, 12] и при исследовании двухфотонного двухэкситонного поглощения света [13] и процесса фотораспада (фотодиссоциации) биэкситона [14]. Эти же состояния, по-видимому, могут играть важную роль в процессе генерации терагерцового излучения.

Поскольку биэкситонное состояние $biex$ с собственной частотой $\Omega_0 = 2\omega_0 - \Omega_m$ расположено ниже двухэкситонного состояния с частотой $2\omega_0$ на величину Ω_m , то между состояниями $2ex$ и $biex$ в условиях однофотонного возбуждения экситонов из основного состояния кристалла возникает инверсия населенностей. Поэтому если запустить в кристалл слабый импульс терагерцового излучения с частотой ω_2 , равной Ω_m , то такое излучение будет усиливаться благодаря индуцированному сбросу инверсии.

Законы сохранения энергии и импульса для области частот двухэкситон-биэкситонного перехода имеют вид:

$$2E_{ex}(\mathbf{k}_1) = E_{biex}(\mathbf{q}) + \hbar\omega_2, \quad (1)$$

$$2\mathbf{k}_1 = \mathbf{q} + \mathbf{k}_2,$$

где $\mathbf{k}_1 = \mathbf{k}_{phot}$, \mathbf{q} и \mathbf{k}_2 – волновой вектор экситона (фотона, возбуждающего его),

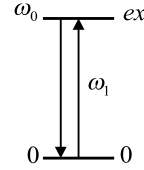
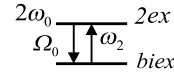


Рис. 1. Схема энергетических уровней и квантовых переходов

биэкситона и терагерцового кванта с частотой ω_2 соответственно.

Тогда для энергии кванта $\hbar\omega_2$ терагерцового излучения получаем выражение

$$\hbar\omega_2 = I_m + \frac{\hbar^2}{4m_{ex}} \mathbf{k}_2 (2\mathbf{k}_1 + \mathbf{q}), \quad (2)$$

где m_{ex} – трансляционная масса экситона.

При $\mathbf{k}_2 = 0$ из (1) и (2) находим, что $\mathbf{q} = 2\mathbf{k}_1$ и $\hbar\omega_2 = I_m$, т. е. энергия кванта терагерцового излучения точно равна энергии связи биэкситона.

Пусть в кристалле распространяются две плоские электромагнитные волны: одна – с амплитудой поля E_1 и частотой ω_1 , резонансной частоте экситонного перехода ω_0 , а другая – с амплитудой E_2 и частотой ω_2 , резонансной частоте двух-экситон-биэкситонного перехода (см. рис. 1). Тогда гамильтониан взаимодействия обеих волн с экситонами и биэкситонами имеет вид

$$H = -\hbar g (a^+ E_1^+ + a E_1^-) - \hbar \mu (a^+ a^+ b E_2^+ + b^+ a a E_2^-), \quad (3)$$

где g – константа взаимодействия экситонов с полем волны; μ – константа оп-

тического двухэкситон-биэкситонного перехода; a и b – амплитуды экситонной и биэкситонной волн поляризации среды соответственно; E_1^+ и E_2^+ (E_1^- и E_2^-) – положительно (отрицательно)-частотные компоненты полей волн.

Используя (3), легко получить гайзенберговские уравнения для амплитуд экситонной и биэкситонной волн. Решая данные уравнения в стационарном режиме, можно найти эти амплитуды и затем определить восприимчивости среды χ_1 и χ_2 для областей частот ω_0 и $2\omega_0 - \Omega_m$ соответственно:

$$\chi_1 = -\frac{\hbar g^2}{\Delta_1 + i\gamma_1 - \frac{2\mu^2 n |E_2|^2 (2\Delta_1 - \Delta_2 - i\gamma_2)}{(2\Delta_1 - \Delta_2)^2 + \gamma_2^2}}, \quad (4)$$

$$\chi_2 = -\frac{\hbar \mu^2 n^2 (2\Delta_1 - \Delta_2 + i\gamma_2)}{(2\Delta_1 - \Delta_2)^2 + \gamma_2^2},$$

где $\Delta_1 = \omega_1 - \omega_0$, $\Delta_2 = \omega_2 - I_m/\hbar$ – расстройки резонанса для частот обеих волн по отношению к соответствующим частотам переходов; γ_1 и γ_2 – феноменологически введенные константы затухания экситонного и биэкситонного состояний, описывающие уход экситонов и биэкситонов из когерентных мод; n – концентрация экситонов, которая определяется из выражения

$$n \left\{ \left[\Delta_1 - (2\Delta_1 - \Delta_2) \frac{2\mu^2 n |E_2|^2}{(2\Delta_1 - \Delta_2)^2 + \gamma_2^2} \right]^2 + \left[\gamma_1 + \gamma_2 \frac{2\mu^2 n |E_2|^2}{(2\Delta_1 - \Delta_2)^2 + \gamma_2^2} \right]^2 \right\} = g^2 |E_1|^2. \quad (5)$$

Из (4) следует, что при любых расстройках резонанса $Im\chi_1 = \chi_1'' > 0$, а

$Im\chi_2 = \chi_2'' < 0$. Таким образом, при расстройке в среде излучение на частоте ω_2 будет усиливаться, а на частоте ω_1 – ослабляться.

Простоты ради допустим, что константы затухания γ_1 и γ_2 одинаковы, расстройки резонанса $\Delta_2 = 0$, а $\Delta_1 \neq 0$. Используя нормировки $\Delta_1 \equiv \Delta = \delta\gamma$, $E_{1,2} = C_0 F_{1,2}$, $n = N_0 m$, $x = x_0 \tau$, где $C_0^2 = \gamma^2/\mu g$, $N_0 = g/m$, $x_0 = \alpha^{-1}$ при α – коэффициент экситонного поглощения, уравнение (5) можно записать в виде

$$m \left\{ \delta^2 \left(1 - \frac{4m|F_2|^2}{4\delta^2 + 1} \right)^2 + \left(1 + \frac{2m|F_2|^2}{4\delta^2 + 1} \right)^2 \right\} = |F_1|^2. \quad (6)$$

Из (6) видно, что произведение нормированной плотности экситонов m и нормированной плотности терагерцового излучения $I_2 = |F_2|^2$ является бистабильной функцией интенсивности накачки $I_1 = |F_1|^2$ в экситонной области спектра. При расстройках резонанса δ , превышающих критическую расстройку δ_c ($\delta > \delta_c$), где $\delta_c = \sqrt{(31 + \sqrt{945})}/2/2$, имеет место бистабильность типа плотность-свет $mI_2(I_1, I_2)$ (рис. 2). Из (6) также следует, что решение для плотности экситонов m в зависимости от интенсивности накачки можно представить выражением $mI_2 = f(I_1, I_2)$, т. е. произведение mI_2 является функцией произведения интенсивностей I_1 и I_2 . Благодаря функциям $y = 2mI_2/(4\delta^2 + 1)$ и $z = 2I_1 I_2/(4\delta^2 + 1)$ уравнение (6) примет вид

$$y(\delta^2(1-2y)^2 + (1+y)^2) = z. \quad (7)$$

Из (7) видно, что $z(y)$ при $\delta > \delta_c$ имеет максимум и минимум в точках

$$y_{\pm} = \frac{2 \left(2\delta^2 - 1 \pm \sqrt{\delta^4 - \frac{31}{4}\delta^2 + \frac{1}{4}} \right)}{3(4\delta^2 + 1)} \quad (8)$$

соответственно.

При $\delta = \delta_c$ функция $z(y)$ имеет точку перегиба при $y = \frac{2 \cdot 2\delta_c^2 - 1}{3 \cdot 4\delta_c^2 + 1}$, а при $\delta < \delta_c$

она является однозначной монотонно возрастающей функцией в зависимости от y . Что касается функции $y(z)$, т. е. $mI_2(I_1I_2)$, то при $\delta > \delta_c$ в некоторой области значений интенсивности накачки I_1 она является трехзначной, т. е. одному и тому же значению произведения амплитуд полей I_1I_2 соответствуют три значения произведения mI_2 . Таким образом, можно утверждать, что плотность экситонов m может быть трехзначной функцией интенсивности накачки I_1 (см. рис. 2) при $\delta > \delta_c$.

Из рис. 2 видно, что с ростом δ при $\delta < \delta_c$ функция $y(z)$ является нелинейной, монотонно растущей с увеличением z , но однозначной. При $\delta = \delta_c$ возникает участок дифференциального усиления, а при $\delta > \delta_c$ имеет место трехзначная зависимость y от z . Это означает, что при $\delta > \delta_c$ плотность экситонов сначала медленно повышается с увеличением интенсивности накачки I_1 вдоль нижней ветви бистабильной кривой до точки с вертикальной касательной в зависимости $y(z)$, в которой происходит скачок с нижней ветви на верхнюю, вдоль которой далее y медленно возрастает с ростом z . При уменьшении интенсивности накачки возникает скачок с верхней ветви бистабильной кривой на нижнюю, но в другой точке и далее – уменьшение y при уменьшении z .

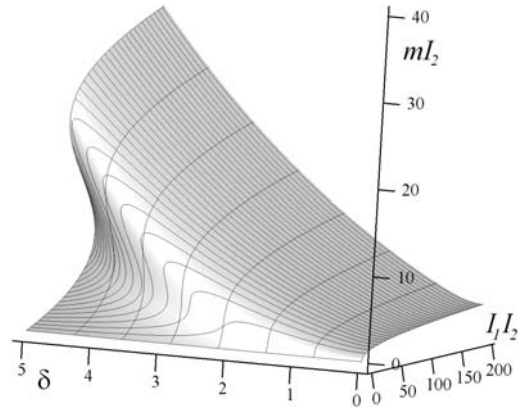


Рис. 2. Зависимость mI_2 от I_1I_2 и расстройки резонанса δ

Если $\delta = \delta_c$, то при некотором значении z имеет место быстрый рост функции $y(z)$, т. е. появляется участок дифференциального усиления. Таким образом, при $\delta \geq \delta_c$ в кристалле существуют два домена: домен высокой и домен низкой плотности экситонов и биекситонов, граница раздела между которыми определяется интенсивностью накачки I_1 .

Из (7) видно, что возможен также частотный гистерезис, который определяет неоднозначную зависимость плотности экситонов m от расстройки резонанса δ при фиксированном значении интенсивности накачки I_1 (см. рис. 2). При фиксированном значении z (интенсивности накачки I_1) плотность экситонов сначала повышается вдоль верхней ветви гистерезисной кривой $y(\delta)$ до точки с вертикальной касательной, в которой происходит скачок на нижнюю ветвь, вдоль которой функция $y(\delta)$ убывает с ростом δ . При уменьшении δ снова имеет место скачок с нижней ветви на верхнюю, но при меньших значениях δ и далее $y(\delta)$ уменьшается при уменьшении δ . Таким образом, в случае изменения частоты поля накачки тоже может существовать бистабильность

и домены высокой и низкой плотности экситонов и биэкситонов в кристалле.

Из укороченных волновых уравнений для полей в приближении медленно меняющихся огибающих получаем следующий интеграл движения:

$$I_2 = I_{20} \exp\left(\frac{c}{2}(I_{10}^2 - I_1^2)\right), \quad (9)$$

связывающий интенсивности обеих волн в любой точке кристалла, где

$$c = \frac{\varepsilon_{10}}{\varepsilon_{20}} \frac{k_2}{k_1} \frac{\mu g}{\gamma^2}.$$

Интенсивность I_2/I_{20} волны на частоте ω_2 , распространяющейся вглубь среды, сначала быстро увеличивается с ростом координаты, затем скорость постепенно уменьшается, так что на больших расстояниях интенсивность этой волны насыщается, принимая максимальное значение $I_{2\max}$, тогда как интенсивность волны накачки экспоненциально убывает. Вводя коэффициент усиления \tilde{g} данной волны по формуле $I_2(x) = I_{20} \exp(\tilde{g}x)$, получаем

$$\tilde{g}(x) = (\beta/x)(1 - \exp(-2\alpha_{10}x)),$$

где α_{10} – коэффициент экситонного поглощения.

При $x=0$ коэффициент усиления имеет максимальное значение $\tilde{g}(0) = 2\alpha_{10}\beta$, пропорциональное квадрату начальной интенсивности волны на частоте ω_1 . С ростом x он монотонно убывает, обращаясь в нуль при $x \gg \alpha_{10}^{-1}$.

Таким образом, мы показали, что при накачке в экситонное состояние возникает

инверсия населенностей между двухэкситонным и биэкситонным состояниями, на переходе между которыми возможна генерация терагерцового излучения. Интенсивность волны терагерцового излучения экспоненциально повышается с ростом интенсивности накачки.

Цитированная литература

1. Nuss M.C., Planken P.C.M., Brener I. et al. // Appl. Phys. B 58, 249 (1994).
2. Luo M.S.C., Chuang S.L., Planken P.C.M. et al. // IEEE J. Quantum Electron. 30, 1478 (1994).
3. Huggard P.G., Shaw C.J., Andrews S.R. et al. // Phys. Rev. Lett. 84, 1023 (2000).
4. Meier T., Thomas P., Koch S.W. // Phys. Low-Dimens. Semicond. Struct. 3/4, 1 (1998).
5. Lachaine J.M., Hawton M., Sipe J.E., Dignam M.M. // Phys. Rev. B 62, R 4829 (2000).
6. Kavokin K.V. et al. // Appl. Phys. Lett., 97, 201111 (2010).
7. Chansungsun C., Tsang L., Chuang S.L. // J. Opt. Soc. Am. B 11, 2508 (1994).
8. Savenko I.G., Shelykh I.A., Kaliteevski M.A. // Phys. Rev. Lett. 107, 027401 (2011).
9. Berstermann T., Scherbakov A.V., Akimov A.V. et al. // Phys. Rev. B 80, 075301 (2009).
10. Vera-Ciro C.A., Delgado A., Gonzalez A. // arXiv 1004.3940v.2 (2010).
11. Mayer E.J., Smith G.O., Heukeroth V. et al. // Phys. Rev. B 50, 14730 (1994).
12. Svirko Iu.P., Kuwata-Gonokami M. // Phys. Rev. B 62, 6912 (2000).
13. Петрашкы К.Г., Руссу А.С., Хаджи П.И. // ФТТ, 23, 3191 (1981).
14. Хаджи П.И., Петрашкы К.Г. // ФТП, 9, 2340 (1975).

УДК 535.34:535.354

Л.Ю. Надькин, канд. физ.-мат. наук, доц.*Д.А. Марков*, канд. физ.-мат. наук, доц.*П.И. Хаджи*, д-р физ.-мат. наук, проф.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ЭКСИТОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

С помощью метода pump-probe были теоретически исследованы оптические свойства полупроводника в экситонной области спектра с учетом упругого экситон-экситонного взаимодействия. Показано, что зависимости концентрации экситонов и восприимчивости среды существенно определяются расстройками резонанса и величиной поля накачки. Предсказан и детально изучен резонансный по полю накачки эффект осцилляционного поведения во времени абсорбционной компоненты экситонной восприимчивости, обусловленный упругим экситон-экситонным взаимодействием. Проведен динамический анализ полученных решений.

Введение

При экспериментальном и теоретическом изучении оптических спектров полупроводников в экситонной области спектра при больших уровнях возбуждения кристалла особую значимость приобрел метод pump-probe. Он основан на использовании двух пучков лазерного излучения: мощного пучка накачки (pump) и слабого зондирующего пучка (probe). Слабый пучок зондирует изменения оптических свойств кристалла, обусловленные действием поля сильной электромагнитной волны – полем накачки. Эти изменения определяются амплитудой и частотой поля накачки и параметрами самого кристалла. Метод pump-probe использовался при экспериментальном исследовании оптического Штарк-эффекта в полупроводниках, в частности при изучении излучательной рекомбинации и нелинейного отклика системы экситонов и биэкситонов большой плотности [1], красного и голубого сдвига экситонного резонанса в условиях пикосекундной накачки [2–4], аналога эффекта Ауслера–Таунса на биэкситонах в CuCl [5]. Работы [6–14] посвящены построению удовлетворительной теории метода pump-

probe для системы экситонов и биэкситонов большой плотности.

Постановка задачи

Пусть на кристалл падает интенсивная монохроматическая волна (накачка) когерентного лазерного излучения с амплитудой поля E_0 и частотой $\omega_1 \approx \omega_0$, где ω_0 – собственная частота экситонного состояния, а также слабая волна (пробный импульс) с амплитудой E и частотой $\omega \approx \omega_0$ (рис. 1). Фотоны первого импульса возбуждают экситоны, существенно изменяя энергетический спектр полупроводника, а фотоны второго импульса зондируют эти изменения в области экситонного перехода.

При достаточно высоких уровнях возбуждения в кинетике доминируют процессы экситон-экситонного взаимодействия. Таким образом, гамильтониан взаимодействия экситонов между собой и со светом в резонансном приближении можно записать в виде

$$H_{int} = \frac{1}{2} \hbar v a^+ a^+ a a - \frac{1}{2} \hbar g (a^+ E_0^+ + E_0^- a) - \frac{1}{2} \hbar g (a^+ E^+ + E^- a), \quad (1)$$

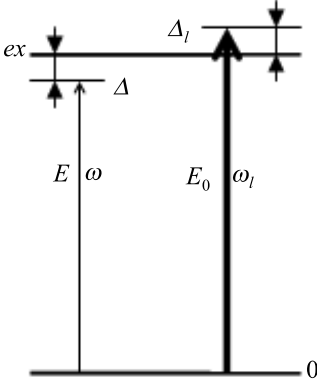


Рис. 1. Схема энергетических уровней исследуемой системы: E и ω – амплитуда и частота волны зондирующего излучения; E_0 и ω_l – амплитуда и частота волны накачки; 0 и ex – основное и экситонное состояния кристалла

где ν – константа упругого экситон-экситонного взаимодействия; a – амплитуда экситонной волны поляризации среды; g – константа экситон-фотонного взаимодействия; E_0^+ (E_0^-) и E^+ (E^-) – положительно (отрицательно)-частотные компоненты полей обоих импульсов.

Из (1) легко получить гайзенберговское (материальное) уравнение для амплитуды экситонной волны:

$$i\dot{a} = (\omega_0 - i\gamma)a + \nu a^+ a a - \frac{1}{2}gE_0^+ e^{-i\omega_l t} - \frac{1}{2}gE^+ e^{-i\omega t}, \quad (2)$$

где γ – феноменологический параметр, учитывающий затухание экситонного уровня из-за процессов рассеяния, обусловленных уходом экситонов из когерентных мод в некогерентные.

Найдем отклик системы во всех порядках теории возмущений по амплитуде E_0 импульса накачки и в первом порядке теории возмущений по амплитуде E зондирующего импульса. Будем искать решение уравнения (2) в виде суперпозиции:

$$a = \frac{1}{2} \left(a_0 e^{-i\omega_l t} + a_0^* e^{i\omega_l t} + A e^{-i\omega t} + A^* e^{i\omega t} + B e^{-i(\omega - 2\omega_l)t} + B^* e^{i(\omega - 2\omega_l)t} \right), \quad (3)$$

где $a_0, a_0^*, A, A^*, B, B^*$ – не зависящие от времени амплитуды.

Подставляя (3) в (2) и выделяя множители при соответствующих экспонентах, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} i\dot{a}_0 = -gE_0^+ - (\omega_l - \omega_0 + i\gamma - \frac{3}{4}\nu|a_0|^2)a_0, \\ i\dot{A} = -gE - (\omega - \omega_0 + i\gamma - \frac{3}{2}\nu|a_0|^2)A + \frac{3}{4}a_0^2 B, \\ i\dot{B} = -(\omega - 2\omega_l - \omega_0 + i\gamma - \frac{3}{2}\nu|a_0|^2)B + \frac{3}{4}a_0^2 A. \end{cases} \quad (4)$$

Введем расстройки резонансов Δ – для зондирующего излучения и Δ_l – для излучения накачки, а также плотность экситонов n_0 :

$$\Delta = \omega - \omega_0, \Delta_l = \omega_l - \omega_0, n_0 = |a_0|^2. \quad (5a)$$

Подставляя (5a) в (4) и учитывая, что импульс накачки и пробный импульс могут иметь различную форму в нестационарном режиме, переходим к следующей системе:

$$\begin{cases} i\dot{a}_0 = -gE_0^+ - (\Delta_l + i\gamma - \frac{3}{4}\nu|a_0|^2)a_0, \\ i\dot{A} = -gE - (\Delta + i\gamma - \frac{3}{2}\nu|a_0|^2)A + \frac{3}{4}a_0^2 B, \\ i\dot{B} = -(2\Delta_l - \Delta + i\gamma - \frac{3}{2}\nu|a_0|^2)B + \frac{3}{4}a_0^2 A. \end{cases} \quad (5b)$$

Нормируя все величины следующим образом:

$$a_0 = \tilde{a}_0 \gamma, \quad A = \tilde{A} \gamma, \quad B = \tilde{B} \gamma,$$

$$t = \tau \gamma, \quad \Delta = \delta \gamma, \quad \Delta_l = \delta_l \gamma,$$

получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} i\dot{\tilde{a}}_0 = -F_0 f_0(\tau) - (\delta_l + i - \frac{3}{4}|\tilde{a}_0|^2)\tilde{a}_0, \\ i\dot{\tilde{A}} = -Ff(\tau) - (\delta + i - \frac{3}{2}|\tilde{a}_0|^2)\tilde{A} + \frac{3}{4}\tilde{a}_0^2\tilde{B}^*, \\ i\dot{\tilde{B}} = -(2\delta_l - \delta + i - \frac{3}{2}|\tilde{a}_0|^2)\tilde{B} + \frac{3}{4}\tilde{a}_0^2\tilde{A}^*. \end{cases} \quad (6)$$

Решение первого уравнения из (6) позволяет найти временную зависимость плотности экситонов $z(\tau) = |\tilde{a}_0(\tau)|^2$. Поляризация среды P^+ на частоте зондирующего излучения ω , как известно, определяется выражением

$$P^+ = \frac{1}{2} \hbar g a^+ E^+ e^{-i\omega t},$$

при использовании которого можно получить следующее выражение для комплексной диэлектрической восприимчивости среды:

$$\chi(\tau) = \tilde{A}(\tau) / Ff(\tau).$$

Обсуждение результатов

Обсудим результаты численного интегрирования системы уравнений. Первое уравнение в (6) описывает зависимость от времени плотности экситонов и не зависит от двух других уравнений. Плотность экситонов существенно зависит от величины расстройки резонанса δ_l и величины поля F_0 импульса накачки. Как было показано в [14], связь между плотностью экситонов и амплитудой излучения импульса накачки в кристалле в стационарном режиме может быть многозначной в зависимости от уровня возбуждения и величины расстройки резонанса δ_l .

В нестационарном режиме поведение усложняется. На рис. 2, а представлена временная зависимость плотности экситонов от амплитуды F_0 в случае, когда импульс накачки имеет ступенчатый вид $f_0(\tau) = \Theta(\tau)$ при значении рас-

стройки резонанса, равного критическому $\delta_l = \sqrt{3}$. При этом значении расстройки резонанса в стационарном режиме наблюдалось скачкообразное изменение плотности экситонов с ростом уровня накачки. В нестационарном режиме в поведении плотности экситонов наблюдается колебательный режим на начальном этапе. Амплитуда колебаний увеличивается с ростом амплитуды падающего излучения. Колебательный режим ослабевает с течением времени, система выходит на стационарный предел. На рис. 2, б-г представлено поведение нормированных абсорбционных

компонент восприимчивости $\frac{\chi''(\tau, F_0)}{\chi_0}$

при различных значениях δ . В поведении абсорбционной компоненты восприимчивости также наблюдается колебательный режим при малых временах. В определенные моменты времени абсорбционная компонента восприимчивости отрицательна, что свидетельствует не о поглощении пробного импульса, а о его усилении. При отрицательных (см. рис. 2, б) и положительных (см. рис. 2, г) значениях расстройки резонанса наблюдаются смещенные полосы усиления и поглощения. Эти смещения были предсказаны в [14] и описывают штарковские сдвиги экситонного перехода (красное и фиолетовое смещения), обусловленные рекомбинацией и генерацией когерентных экситонов. Стоит отметить, что существует небольшой интервал изменения значений F_0 , при которых колебательный режим наблюдается в течение длительного времени (см. рис. 2, б-г) Концентрация экситонов z в этом случае выходит на стационарный предел (см. рис. 2, а). В стационарном пределе ($z = z_s$) система (6) принимает вид:

$$\begin{cases} i\dot{A} = -F - (\delta + i - \frac{3}{2}|a_s|^2)A + \frac{3}{4}a_s^2 B^*, \\ i\dot{B} = -(2\delta_l - \delta + i - \frac{3}{2}|a_s|^2)B + \frac{3}{4}a_s^2 A^*. \end{cases} \quad (7)$$

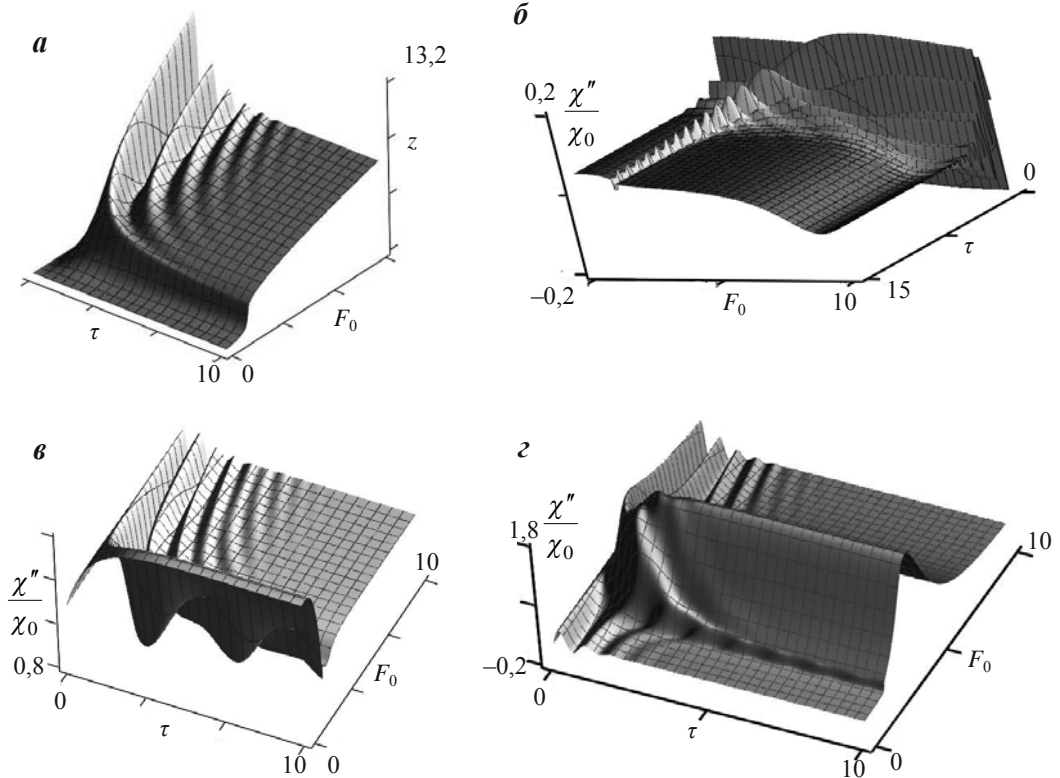


Рис. 2. Плотность экситонов z в зависимости от амплитуды накачки F_0 и времени τ при $\delta_l = \sqrt{3}$ (а) и зависимость абсорбционной $\frac{\chi''}{\chi_0}$ компоненты восприимчивости от поля накачки F_0 и времени τ при различных значениях δ , равных -5 (б), 0 (в) и 5 (з)

Подстановка $A, B \sim \exp(\alpha\tau)$ в (7) позволяет найти зависимость характеристического показателя α от z_s и расстроек резонанса δ и δ_l . Эта зависимость определяется выражением

$$\alpha = -1 \pm i \left| \delta - \delta_l \right| \pm \sqrt{\left(\delta_l - \frac{9}{4} \right) \left(\delta_l - \frac{3}{4} z_s \right)}. \quad (8)$$

Действительная и мнимая компоненты α в зависимости от F_0 для случая $\delta_l = \sqrt{3}$ представлены на рис. 3. Из рис. 3, а видно, что действительная компонента α , ответственная за амплитуду возможного

колебательного режима, отлична от -1 на малом интервале значений F_0 . Это означает, что при всех значениях F_0 , кроме резонансных, колебательный режим затухает со временем по экспоненциальному закону. В области значений $Re(\alpha) > -1$ мнимая компонента α , ответственная за частоту колебаний, меняется скачкообразно (см. рис. 3, б-з). Это как раз и объясняет возникновение колебательного режима в поведении оптических функций на больших временах (см. рис. 2).

Как видно из (8) и рис. 3, а, действительная компонента α не зависит от δ , следовательно, область резонансных значений

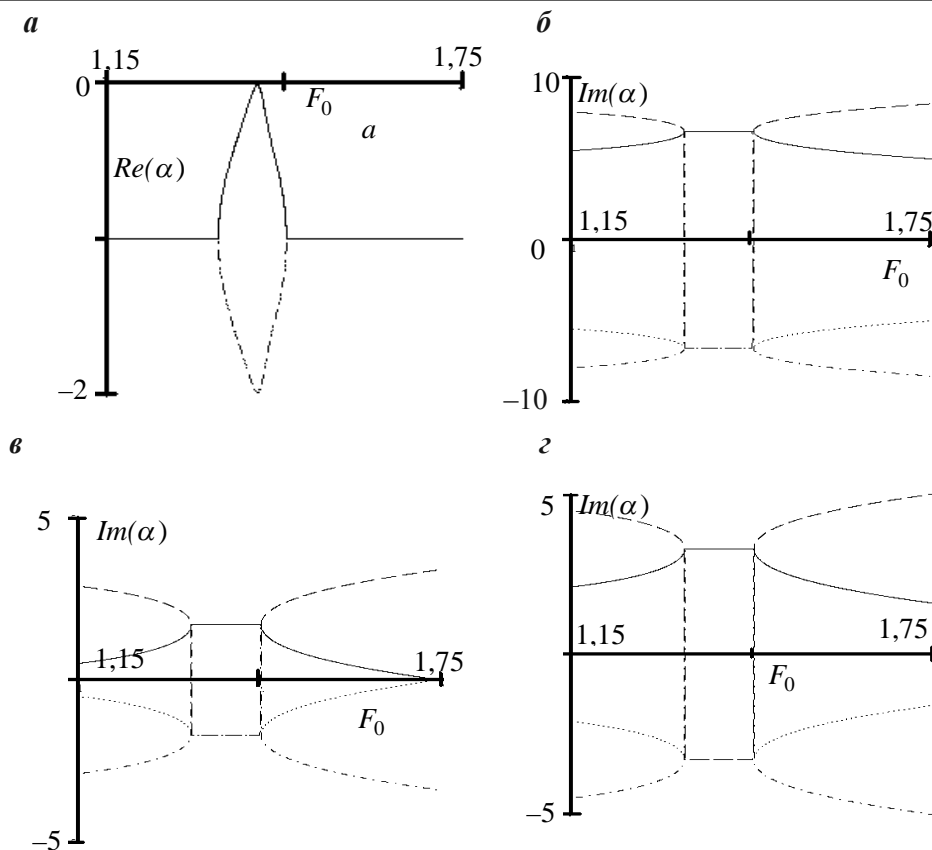


Рис. 3. Действительная и мнимая компоненты характеристического показателя α при $\delta_1 = \sqrt{3}$ и различных значениях δ , равных -5 (б), 0 (в) и 5 (г)

F_0 , при которых возникает колебательный режим, одинакова для всех значений расстройок резонанса пробного импульса. Что касается мнимой компоненты α , то она неодинакова для различных значений δ (см. рис. 3, б–г). То есть при различных расстройках резонанса δ резонансные колебания будут иметь разную частоту.

Аналитическое определение показателей Ляпунова для системы (6) представляется невозможным из-за отсутствия аналитического решения указанной системы нелинейных дифференциальных уравнений. Поэтому был использован алгоритм Бенеттинна [15], реализованный в работе Вольфа [16]. В указанном алгоритме расчет стар-

шего показателя Ляпунова основан на численном решении системы совместно с уравнениями в вариациях, которые описывают эволюцию бесконечно малого возмущения траектории. Другими словами, рассматриваются две траектории, удаленные друг от друга на малое расстояние R_0 , которое через промежуток времени $\delta\tau$ достигает значения R_1 . Максимальный показатель Ляпунова на каждом шаге находится по формуле

$$\lambda_0 = \log_2 \frac{R_1}{R_0} \delta\tau.$$

С увеличением времени вычисления расчетное значение показателя Ляпунова приближается к реальному.

Поскольку дифференциальные уравнения неоднородные, то число дифференциальных уравнений можно искусственно расширить, учитывая зависимость поля накачки от времени. Таким образом, увеличится и число показателей Ляпунова, а следовательно, опосредованное влияние накачки на значение старшего показателя Ляпунова.

На рис. 4, *a* представлен старший показатель Ляпунова λ_0 в зависимости от поля накачки F_0 и расстройки резонанса δ_l , вычисленный на временах, когда начальные условия уже не влияют на динамику системы. При $\delta_l < 0$ показатель Ляпунова отрицателен, что свидетельствует об устойчивости решений при данных значениях

параметров. Увеличение расстройки резонанса δ_l приводит к появлению небольшой области изменения параметра F_0 , при котором показатель Ляпунова приближается к нулю снизу. Дальнейшее увеличение расстройки резонанса приводит к сужению резонансной области. При значениях параметров больше критических существует область значений, при которых показатель Ляпунова принимает положительные значения. Нестабильность решений при данных значениях параметров обуславливает появление резкого колебательного режима в поведении абсорбционной компоненты, сохраняющегося длительное время.

Поскольку импульс накачки имеет ступенчатый вид, а значит, неоднородно распре-

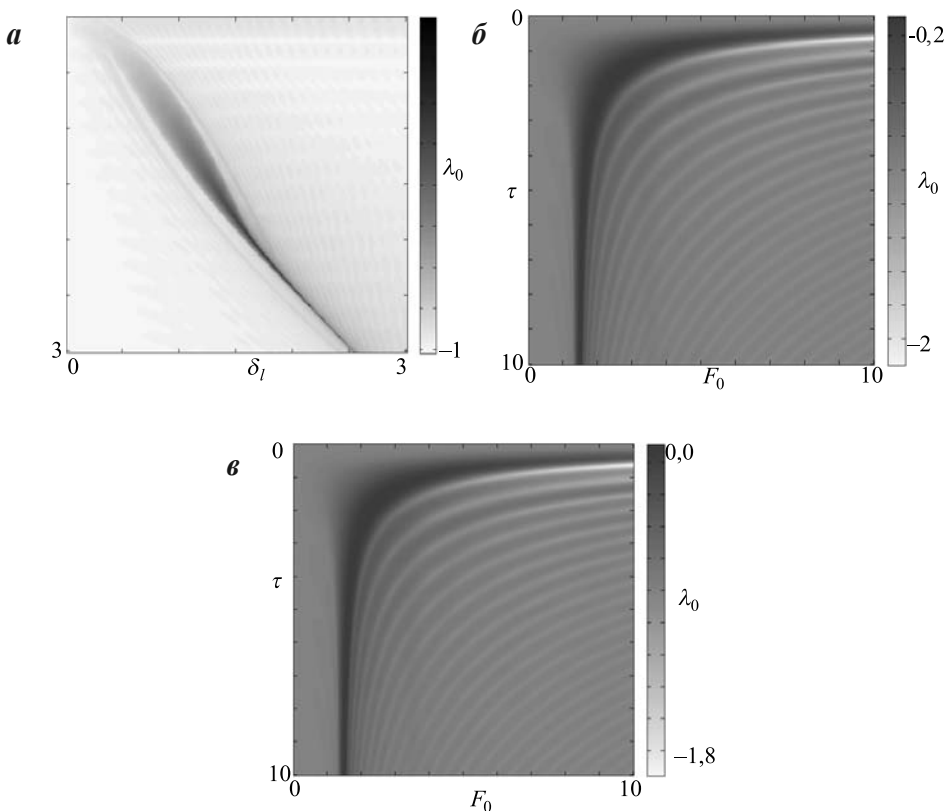


Рис. 4. Старший показатель Ляпунова λ_0 в зависимости от поля накачки при различных значениях поля накачки F_0 и расстройки резонанса δ_l (*a*) и в зависимости от поля накачки F_0 и времени τ при различных значениях δ , равных -5 (*б*) и 5 (*в*)

делен во времени, то интерес представляет зависимость фиксированного показателя Ляпунова на каждом шаге $\lambda_0(\tau)$, позволяющая получить дополнительную информацию о поведении системы. На рис. 4, б, в представлена временная зависимость старшего показателя Ляпунова при отрицательном и положительном значениях расстройки резонанса δ пробного импульса.

Стоит отметить, что в начальный момент времени амплитуды $\tilde{a}_0|_{\tau=0} = \tilde{A}|_{\tau=0} = \tilde{B}|_{\tau=0} = 0$, что связано с отсутствием экситонов в начальный момент времени. Нулевые начальные условия при учете нестационарного поведения импульса накачки увеличивают значимость неоднородности в поведении системы. Несмотря на сильное отличие поведений абсорбционной компоненты восприимчивости при положительном и отрицательном значениях расстройки резонанса пробного импульса (см. рис. 2, б, з), поведение соответствующих им показателей Ляпунова почти одинаково. При малых значениях интенсивности поля накачки, несмотря на наличие колебательного режима в поведении абсорбционной компоненты восприимчивости (см. рис. 2, б, з), в поведении зависимостей $\lambda_0(\tau)$ не наблюдается резких изменений значений старшего показателя Ляпунова.

Увеличение поля накачки приводит к тому, что при малых временах в поведении системы резко выведенной из состояния равновесия показатель Ляпунова приближается к нулю. За этим пиком следует череда областей более и менее стабильного поведения. При значениях поля, близких к резонансному, показатель Ляпунова приближается к нулю снизу, причем эта резонансная область сужается со временем.

Рассмотрим действие импульса в виде $f_0(\tau) = e^{-\frac{(\tau-\tau_0)^2}{T^2}}$, т. е. полагая, что импульс накачки имеет гауссовский вид.

При малых амплитудах поля накачки концентрации экситонов имеют лоренцеподобный вид (рис. 5, а). Увеличение поля накачки приводит к появлению колебательного режима на переднем фронте гауссовского импульса. Его отсутствие на заднем фронте колебательного режима связано с тем, что гауссовский импульс имеет достаточно большую полуширину и его задний фронт приходится на те времена, когда у ступенчатого импульса (см. рис. 2) колебательный режим отсутствует. Уменьшение поля накачки (на заднем фронте гауссовского импульса) приводит к более быстрому уменьшению концентрации экситонов без возникновения колебательного режима.

На рис. 5, б-г представлено поведение абсорбционной компоненты восприимчивости в случае, когда импульс накачки имеет гауссовский вид. При малых временах (пока поле накачки мало) поведение зависимости абсорбционной компоненты восприимчивости обусловлено экситон-фотонным взаимодействием. В эти моменты времени наблюдается колебательный режим при ненулевых расстройках резонанса (см. рис. 5, б, з). Увеличение интенсивности под действием гауссовского импульса приводит к резкому изменению колебательного режима в поведении абсорбционной компоненты восприимчивости. В определенные моменты времени амплитуда колебаний и частота резко меняются, что обусловлено влиянием резонансных значений амплитуды поля накачки. Уменьшение интенсивности приводит к ослаблению колебательного режима. Когда гауссовский импульс перестает действовать, у абсорбционной компоненты восприимчивости наблюдается лоренцеподобное поведение в условиях точного резонанса и колебательный режим при ненулевых значениях расстройки резонанса.

В случае действия гауссовского импульса неоднородность, являющаяся ос-

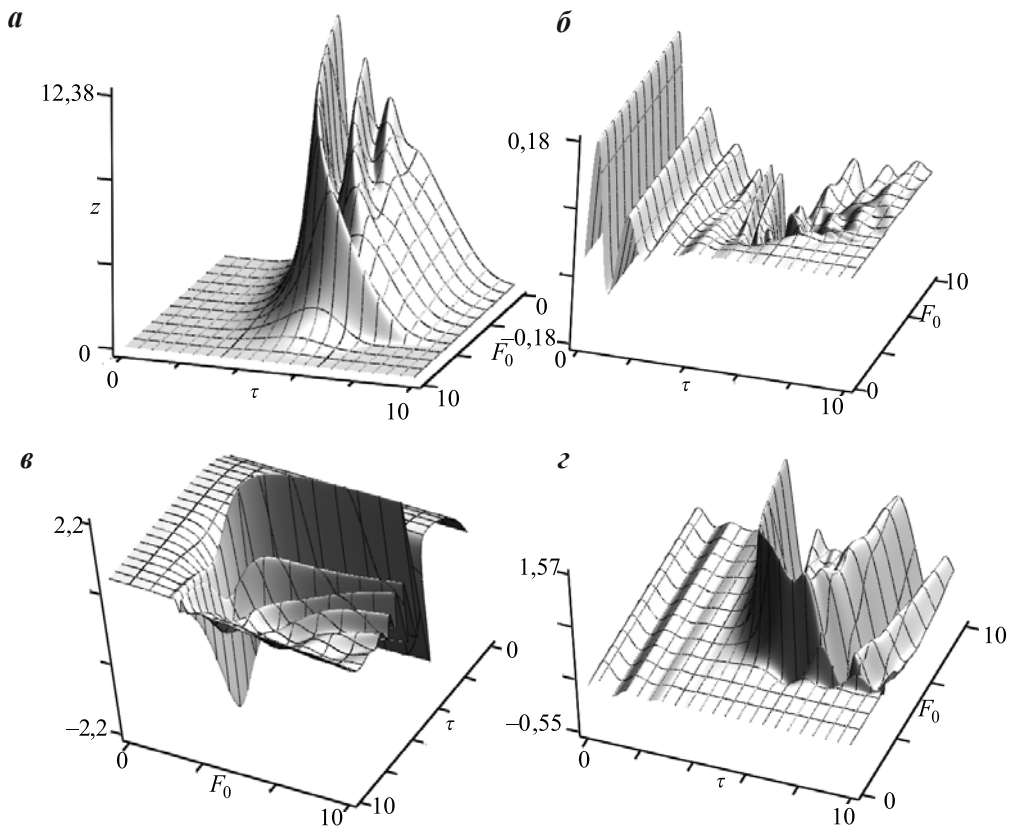


Рис. 5. Плотность экситонов z в зависимости от амплитуды накачки F_0 и времени τ при $\delta_l = 3$ в случае гауссовского импульса при $\tau_0 = 5$, $T = 2$ (а) и хроноспектральная зависимость абсорбционной $\frac{\chi''}{\chi_0}$ компоненты восприимчивости в зависимости от поля накачки F_0 и времени τ при различных значениях δ , равных -5 (б), 0 (в) и 5 (з)

новой причиной появления возмущений в системе, локализована во времени. Поэтому фиксировать старший показатель Ляпунова на бесконечных временах не имеет смысла, в связи с чем для гауссовского импульса рассматривается только временная зависимость моментальных значений показателя Ляпунова. На рис. 6 представлена временная зависимость старшего показателя Ляпунова при различных значениях расстройки резонанса δ пробного импульса. В случае гауссовского импульса поведение

абсорбционной компоненты восприимчивости и показателя Ляпунова обусловлено совместным влиянием резких изменений концентраций экситонов на переднем фронте импульса накачки и резонансных значений параметров.

Наиболее ярким является вариант с отрицательным значением расстройки резонанса рис 6, а. На переднем фронте гауссовского импульса колебательный режим в поведении концентрации экситонов наблюдался в те же времена, когда и в по-

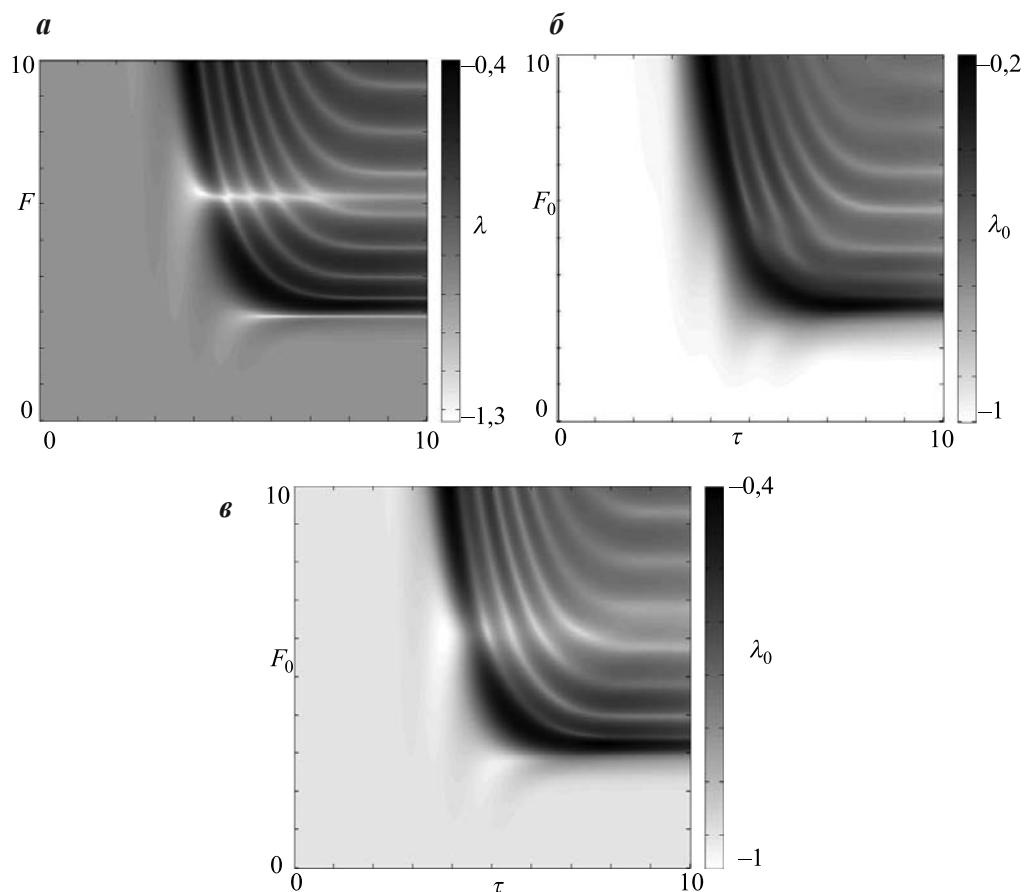


Рис. 6. Старший показатель Ляпунова λ_0 в зависимости от поля накачки F_0 и времени τ при $\delta_l = 3$ в случае гауссовского импульса при $\tau_0 = 5$, $T = 2$ и различных значениях δ , равных -5 (а), 0 (б) и 5 (в)

ведении показателя Ляпунова. Область резонансных значений поля накачки, при которых в случае прямоугольного импульса имел место незатухающий колебательный режим, в случае гауссовского импульса расширяется и разбивается на несколько близко расположенных областей значений поля накачки.

Отметим, что гауссовский импульс на переднем и заднем фронтах проходит через резонансные значения. Данное обстоятельство приводит к усилению колебательного режима, наблюдаемого в поведении показателей Ляпунова при больших

интенсивностях поля накачки. Эти две области колебательных режимов в поведении зависимостей показателя Ляпунова отделены друг от друга узкой областью стабильности. Стоит указать, что в отсутствие накачки поведение абсорбционной компоненты обусловлено экситон-фотонным взаимодействием с полем пробного импульса. По этой причине колебатель-

ный режим $\frac{\chi''(\tau, F_0)}{\chi_0}$ на экспоненциальных концах гауссовского импульса не сопровождается резкими изменениями по-

казателя Ляпунова. При положительных и равных нулю значениях расстройки резонанса поведение аналогичное.

Таким образом, нами предсказан и детально изучен резонансный по полю накачки эффект осцилляционного поведения во времени абсорбционной компоненты экситонной восприимчивости, обусловленный упругим экситон-экситонным взаимодействием.

Цитированная литература

1. **Leonelly R., Manar A., Grun J.B., Honerlage B.** Dynamics of induced absorption and gain related to excitonic excitation in CuCl // *Phys. Rev. B*. 1992. Vol. 45. P. 414.
2. **Fröhlich D., Nöthe A., Reimann K.** Observation of the resonant optical Stark-effect in a semiconductor // *Phys. Rev. Lett.* 1985. Vol. 55. P. 1335.
3. **Von Lehmen, Chemla D.S., Zucker J.E., Heritage J.P.** Optical Stark-effect on excitons in GaAs quantum wells // *Opt. Lett.* 1986. Vol. 11. P. 609.
4. **Hulin D., Jofre M.** Excitonic optical Stark redshift: The biexciton signature // *Phys. Rev. Lett.* 1990. Vol. 65. P. 3425.
5. **Moskalenko S.A., Snoke D.W.** Bose-Einstein condensation of excitons and biexcitons and coherent nonlinear optics with excitons // University Press, Cambridge, 2000.
6. **Москаленко С.А., Павлов В.Г., Мисько В.Р.** Экситонные полосы поглощения и усиления света в присутствии лазерного излучения // *ФТТ*. 1998. Т. 40. С. 924.
7. **Agarwal G.S.** Electromagnetic-field-induced transparency in high-density exciton system // *Phys. Rev. A*. 1995. Vol. 51. P. R2711.
8. **Бобрышева А.И., Шмиглюк М.И., Руссу С.С., Хьонг Н.Т.К.** Биэкситонный оптический Штарк-эффект, обусловленный динамическим смешиванием уровней экситонов и биэкситонов // *ФТТ*. 1992. Т. 34. С. 3394.
9. **Corovai A.V., Khadzi P.I., Korovai O.V., Tkachenko D.V.** Autler-Townes splitting of biexcitons in CuCl // *Mold. J. Phys. Sci.* 2002. Vol. 1. P. 152.
10. **Хаджи П.И., Коровай А.В., Ткаченко Д.В.** Оптические свойства полупроводников в условиях действия мощной накачки в области *M*-полосы и двухфотонного зондирования биэкситонного состояния // *ФТТ*. 2002. Т. 44. С. 774.
11. **Хаджи П.И., Надькин Л.Ю.** Pump-probe-метод исследования свойств полупроводников в условиях двухфотонного возбуждения биэкситонов // *Вестник Приднестр. ун-та*. 2005. № 3. С. 17.
12. **Хаджи П.И., Надькин Л.Ю.** Оптические свойства полупроводников в экситонной области спектра в условиях действия мощного импульса накачки в области *M*-полосы // *ФТТ*. 2005. Т. 47. № 12. С. 2146.
13. **Хаджи П.И., Надькин Л.Ю.** О методе диагностики полупроводников при двухфотонном возбуждении биэкситонов // *Квантовая электроника*. 2006. Т. 36. № 5. С. 1.
14. **Хаджи П.И., Ткаченко Д.В.** Экситонные восприимчивости полупроводников при высоких уровнях возбуждения // *ФТТ*. 1998.
15. **Benettin G., Galgani L., Giorgilli A., Strelcyn J.-M.** Lyapunov characteristic exponents for smooth Dynamical systems and for Hamiltonian systems: A computing all of them. P. I: Theory. P. II: Numerical application // *Meccanica*, 1980. Vol. 15. P. 9–30.
16. **Wolf A., Swift J., Swinney H., Vastano J.** Determining Lyapunov exponents from a time series // *Physica D*, 1985. Vol. 16. P. 285–317.

УДК 535.37+546.23.48

Э.А. Сенокосов, д-р физ.-мат. наук, проф.

В.И. Чукина, ст. преп.

И.Н. Один, канд. хим. наук, доц. (МГУ им. М.В. Ломоносова)

М.В. Чукичев, канд. физ.-мат. наук, доц. (МГУ им. М.В. Ломоносова)

СВЯЗЬ КВАНТОВОГО ВЫХОДА КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ С УСЛОВИЯМИ ВЫРАЩИВАНИЯ В КВАЗИЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ n -CdSe/СЛЮДА И УРОВНЕМ ИХ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Установлена связь внешнего квантового выхода катодолюминесценции с технологическими условиями выращивания в квазизамкнутом объеме эпитаксиальных слоев n -CdSe и уровнем их электронного возбуждения. Наибольшее значение внешнего квантового выхода (2,2 % при 78 К) имели эпитаксиальные слои n -CdSe, выращенные в высокотемпературных условиях осаждения, близких к равновесным.

Введение

Важнейшим требованием, предъявляемым к полупроводниковым излучающим элементам, является условие, чтобы они обладали высоким внешним квантовым выходом (η_{ext}) люминесценции, обеспечивающим получение с единицы излучающей поверхности максимально возможной мощности светового потока. Величину η_{ext} можно представить в виде произведения внутреннего квантового выхода света η_{int} на коэффициент η_{opt} , связанный с выводом света из полупроводника [1, 2]:

$$\eta_{ext} = \eta_{int} \cdot \eta_{opt}. \quad (1)$$

Согласно (1) для получения высокоэффективного излучающего элемента необходимо достичь высоких значений коэффициентов η_{int} и η_{opt} .

Особенности определения внешнего квантового выхода

Рассмотрим один из способов расчета η_{ext} для плоской излучающей поверхности полупроводника (эпитаксиального слоя).

Внутреннюю квантовую эффективность определяет конкуренция излучательной и безызлучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда в активной области образца. Полная скорость их рекомбинации пропорциональна величине $1/\tau$, которая определяется суммой вероятностей излучательной ($1/\tau_{изл}$) и безызлучательной ($1/\tau_{без}$) рекомбинаций [3]:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{изл}} + \frac{1}{\tau_{без}}, \quad (2)$$

где τ , $\tau_{изл}$, $\tau_{без}$ – средние времена жизни неравновесных носителей заряда, определяющие соответствующие скорости рекомбинации.

Внутренний квантовый выход света η_{int} может быть представлен как отношение вероятности излучательных переходов к полной вероятности рекомбинации [4]:

$$\eta_{int} = \frac{\tau}{\tau_{изл}} = \frac{\tau_{без}}{\tau_{изл} + \tau_{без}} = \frac{1}{\frac{\tau_{изл}}{\tau_{без}} + 1}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что для достижения высокого значения η_{int} необходимо использовать прямозонные полупроводники, у которых $\tau_{изл}$ достаточно мало (10^{-8} – 10^{-9} с) [5]. Значение $\tau_{без}$ должно при этом иметь вели-

чину, значительно бóльшую чем $\tau_{\text{изл}}$. Этого можно достичь путем формирования активной области излучателя из высококачественных полупроводниковых материалов при условии минимизации в них плотности примесных и собственных дефектов, а также дислокаций, играющих роль центров безызлучательной рекомбинации.

Выход света из плоского полупроводникового источника в окружающую среду (воздух) будет происходить из конуса с вертикальным углом, определяемым углом полного внутреннего отражения φ_c . Из-за этого снижается доля фотонов, выходящих за пределы светоизлучающего элемента. Значению показателя преломления кристаллов CdSe $n_c = 2,6448$ [6] соответствует угол полного внутреннего отражения, равный

$$\varphi_c = \arcsin \frac{n_o}{n_c} = 24,7^\circ, \quad (4)$$

где $n_o = 1$ – показатель преломления воздуха.

Следовательно, только часть света, генерируемого внутри слоя n -CdSe, попадает в телесный угол φ_c и выходит за пределы полупроводника.

В случае если весь проходящий внутри конуса свет выходит в воздух, а внутри источника он распространяется изотропно, то для оценки величины коэффициента вывода света через плоскую поверхность границы раздела полупроводник–воздух можно воспользоваться следующим соотношением [3]:

$$\eta_{opt} = \frac{(1 - \cos \varphi_c)}{2} \cdot 100\% = 3,7\%. \quad (5)$$

При более точном определении η_{opt} необходимо учитывать, что часть света, падающего перпендикулярно на плоскую поверхность полупроводника, отражается от нее обратно внутрь источника. Тогда доля пропущенного света будет определяться выражением [3]:

$$T = \frac{4 \cdot n_o \cdot n_c}{(n_o + n_c)^2} = 0,796. \quad (6)$$

С учетом (6) величина η_{opt} (5) будет равна:

$$\begin{aligned} \eta_{opt} &= T \cdot \frac{(1 - \cos \varphi_c)}{2} \cdot 100 = \\ &= \frac{2 \cdot n_o \cdot n_c \cdot (1 - \cos \varphi_c)}{(n_o + n_c)^2} \cdot 100 = 2,95\%. \quad (7) \end{aligned}$$

Следовательно, доля света, который выходит из эпитаксиального слоя через поверхность, не подвергнутую специальному структурированию, не может превышать 3 % от всего изотропного излучения, генерируемого в активной области. Остальные 97 % фотонов поглощаются в эпитаксиальном слое и подложке.

Согласно (1) значение η_{ext} эпитаксиальных слоев CdSe может быть увеличено преимущественно за счет повышения их внутреннего квантового выхода. В соответствии с результатами работ [7, 8] это можно осуществить за счет резкого повышения качества эпитаксиальных слоев CdSe, их чистоты и кристаллического совершенства.

Целью данной работы является установление связи внешнего квантового выхода катодолюминесценции (КЛ) слоев CdSe с технологическим режимом их выращивания в квазизамкнутом объеме (КО) и уровнем электронного возбуждения.

Экспериментальная часть

Технология выращивания эпитаксиальных слоев n -CdSe/слода

Специально нелегированные слои CdSe выращивали на подложках слюды (мусковита) методом термического испарения в квазизамкнутом объеме, в вакууме

$\approx 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па. Исходным материалом для их получения служил порошок CdSe «ос. ч.», который предварительно очищался сублимацией в вакууме. С помощью системы подогрева в камере можно было создавать условия конденсации, близкие к равновесным.

Слои CdSe осаждались на свеже-сколотые в вакууме поверхности слюды при температурах испарения исходного материала $T_{\text{и}} = 650, 680$ °С и температурах подложек $T_{\text{п}} = 480\text{--}600$ °С (см. таблицу).

Параметр $\gamma = \frac{\Delta T}{T_{\text{и}}} = \frac{(T_{\text{и}} - T_{\text{п}})}{T_{\text{и}}}$, ха-

рактеризующий степень приближения к равновесию в зоне реакционной камеры, находился в пределах 0,12–0,26. Рентгенографические исследования показали, что слои CdSe, выращенные в условиях, близких к равновесным ($T_{\text{и}} = 680$ °С, $T_{\text{п}} = 600$ °С, $\gamma = 0,12$), имели структуру типа вюртцита и были ориентированы плоскостью (0001) параллельно плоскости подложки. Поверхность таких слоев была зеркально гладкой. Основные параметры исследованных слоев *n*-CdSe приведены в таблице. Толщина слоев находилась в пределах 15–40 мкм. Линейные размеры кристаллитов составляли 30–600 мкм. Исследованные слои CdSe имели *n*-тип проводимости.

Методики катодолюминесценции и измерений мощности светового потока слоев *n*-CdSe

Возбуждение слоев *n*-CdSe осуществляли импульсным электронным пучком, формируемым с помощью электронно-лучевой пушки. Энергию электронов при измерениях спектров катодолюминесценции поддерживали равной $E_e = 40$ кэВ, при которой глубина проникновения первичных электронов в слои составляла $d \approx 5$ мкм.

Длительность импульсов возбуждения была равна 0,2 мкс, а частота их следования – 200 Гц, что соответствовало скважности импульсов $q = 2,5 \cdot 10^4$. Диаметр пучка электронов на облучаемой поверхности слоев составлял ≈ 1 мм. Плотность тока возбуждения слоев изменяли в пределах $j_e = 0,02\text{--}2,55$ А/см², что при $E_e = 40$ кэВ соответствовало скорости генерации электронно-дырочных пар в пределах $2,0 \cdot 10^{24}\text{--}2,3 \cdot 10^{26}$ см⁻³ · с⁻¹.

Для измерения спектров КЛ использовали двухрешетчатый спектрометр ДФС-12 с линейным разрешением 5 Å/мм. Спектры измеряли при 78 и 298 К.

Блок-схема установки для измерения мощности светового потока $W_{\text{св}}$ приведена на рис. 1. Излучение из возбуждаемой области образца (1) выводилось через кварцевое окно (2) криостата и направлялось

Технологические, ростовые параметры и электропроводность слоев *n*-CdSe

№ образца	$T_{\text{и}}$, °С	$T_{\text{п}}$, °С	$\gamma = \frac{\Delta T}{T_{\text{и}}}$	V , мкм/мин	D , мкм	L , мкм	σ , См/см
1	650	480	0,26	4,0	40	30	$1,6 \cdot 10^{-7}$
2	650	500	0,23	3,0	30	120	$2,5 \cdot 10^{-8}$
3	680	550	0,19	2,5	25	400	$1,4 \cdot 10^{-9}$
4	680	600	0,12	1,5	15	600	$5 \cdot 10^{-10}$

Примечание. $T_{\text{и}}$ – температура испарения исходного материала; $T_{\text{п}}$ – температура подложки; V – скорость роста слоев; D – толщина слоев; L – размер кристаллитов; σ – темновая электропроводность слоев при 298 К.

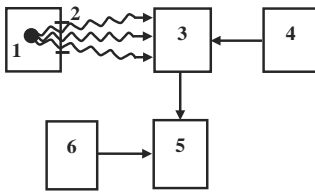


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для измерения мощности светового потока

на катод вакуумного фотоэлемента (3), напряжение на котором поддерживалось стабилизированным источником тока (4).

В качестве приемника света использовали фотоэлемент ФЭК-29КПУ с коаксиальным выводом, предназначенный для регистрации коротких световых импульсов и для преобразования их в аналоговый электрический сигнал. Абсолютная спектральная чувствительность $\eta_{\text{абс}}$ фотоэлемента на длине волны 0,694 мкм составляла $1,1 \cdot 10^{-3}$ А/Вт, а погрешность ее определения – не более 15 %. С сопротивления нагрузки фотоэлемента ($R_{\text{н}} = 75$ Ом) импульс напряжения $\Delta U_{\text{мФЭК}}$ поступал на первый вход двухканального цифрового стробоскопического осциллографа (5) марки TMR 8105. Для запуска осциллографа и сравнения формы импульсов электронного пучка и светового потока на второй вход осциллографа подавали импульс напряжения, генерируемый электронным пучком на диафрагме (6), ограничивающей диаметр пучка.

Мощность потока света $W_{\text{св}}$, излучаемого образцом, рассчитывали по данным измерений амплитуды импульса напряжения $\Delta U_{\text{мФЭК}}$. Расчет производили предполагая, что интенсивность света, излучаемого плоской поверхностью образца в окружающую среду, распределяется согласно закону Ламберта [3]. Таким образом, получили выражение

$$W_{\text{св}} = \frac{\Delta U_{\text{мФЭК}}}{R_{\text{н}}} \cdot \frac{\eta_{\text{рт}}}{\eta_{\text{отн}}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{абс}}} \cdot \frac{r^2 \cdot 2\pi}{S}, \quad (8)$$

где $W_{\text{св}}$ – мощность излучаемого образцом потока света (Вт); $\eta_{\text{рт}}$ – относительная спектральная чувствительность ФЭК в реперной точке (при $\lambda = 0,694$ мкм); $\eta_{\text{отн}}$ – относительная чувствительность ФЭК при $\lambda_{\text{мах}}$ спектральной полосы излучаемого образцом света; $\eta_{\text{абс}}$ – абсолютная спектральная чувствительность ФЭК в реперной точке; $r = 7$ см – расстояние от возбуждаемой точки на поверхности слоя n -CdSe до фотокатода; $S = 12,6$ см² – освещаемая площадь фотокатода.

Мощность импульса W_e электронного пучка, возбуждающего слой CdSe, определялась по формуле

$$W_e = I_m \cdot E_e / e, \quad (9)$$

где W_e – мощность импульса электронного пучка (Вт); $I_m = I_{\text{ср}} \cdot q$ – амплитудное значение тока пучка в импульсе ($I_{\text{ср}}$ – среднее значение тока электронного пучка); E_e – кинетическая энергия электронов; e – заряд электрона.

Расчеты внешнего квантового выхода по данным мощностей светового потока и электронного пучка

В случае КЛ внешний квантовый выход равен отношению числа фотонов, испускаемых светоизлучающим элементом во внешнюю среду, к числу фотонов, образующихся в результате излучательной рекомбинации неравновесных электронно-дырочных пар, генерируемых электронным пучком в единицу времени.

Внешний квантовый выход КЛ слоев CdSe определяется как отношение числа квантов света ($W_{\text{св}} / E_g$), выходящих из слоя в полупространство за единицу времени [3], к количеству электронно-дырочных пар, генерируемых электронным пучком ($W_e / 3 \cdot E_g$) внутри слоя за то же время. Предположим, что внутри образца свет распространяется изотропно и к излучающей поверхности кванты света подходят только однократно, и получим выражение

$$\eta_{ext} = (W_{cb} / E_g) / (2W_e / 3E_g) = 3W_{cb} / 2W_e, \quad (10)$$

где W_{cb} – мощность потока света (Вт); E_g – ширина запрещенной зоны CdSe (эВ); W_e – мощность электронного пучка (Вт).

В формуле (10) учитывалось, что при КЛ на образование одной неравновесной электронно-дырочной пары в среднем затрачивается энергия, равная $3E_g$ [9, 10], и внутри образца свет от возбуждаемой точки распространяется изотропно. Коэффициент 2 в знаменателе итоговой формулы (10) учитывает тот факт, что при изотропном распространении света внутри образца к излучающей поверхности подходит только половина количества квантов, генерируемых в активной области спектра.

Определение η_{ext} проводилось по формуле (10) исходя из рассчитанных значений W_{cb} (8) и W_e (9).

Результаты и их обсуждение

Зависимость спектров КЛ эпитаксиальных слоев n-CdSe от температурных условий их выращивания

На рис. 2 представлены спектры КЛ (78 К) четырех пленочных образцов n-CdSe, выращенных при различных температурных условиях, которые приведены в таблице. Видно, что спектры образцов 1–3 состоят из двух полос. Узкая интенсивная полоса с максимумом при 1,810 эВ образуется в результате излучательной рекомбинации свободных экситонов в состоянии $n = 1$ [6, 8]. Полоса с максимумом при 1,722 эВ, вероятно, обусловлена излучательной рекомбинацией неравновесных носителей заряда на собственных точечных дефектах кристаллической решетки селенида кадмия [6, 11].

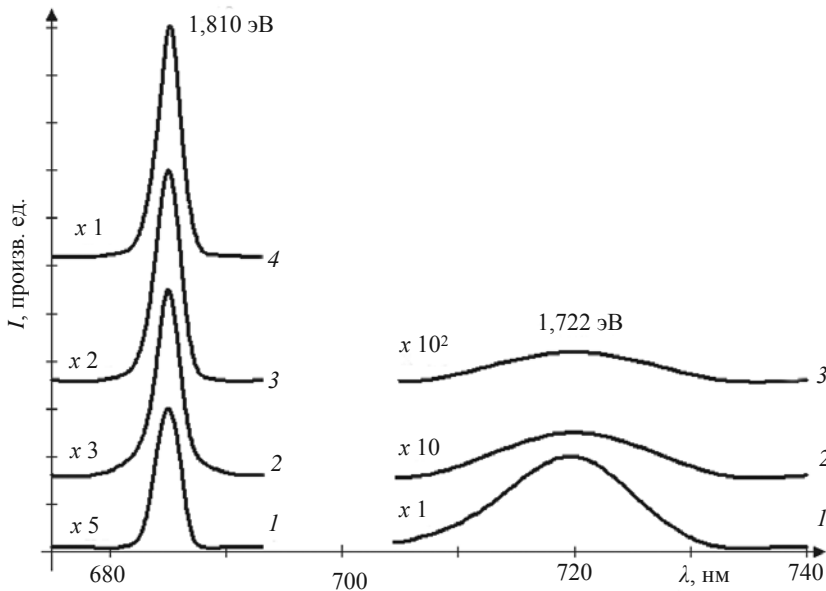


Рис. 2. Спектры КЛ (78 К), измеренные при $E_e = 40$ кэВ и $j_e = 0,22$ А/см², эпитаксиальных слоев n-CdSe, выращенных при:
 1 – $T_n = 650$ °С, $T_n = 480$ °С; 2 – $T_n = 650$ °С, $T_n = 500$ °С; 3 – $T_n = 680$ °С, $T_n = 550$ °С; 4 – $T_n = 680$ °С, $T_n = 600$ °С

По мере повышения температуры источника и сокращения разницы температур между источником и подложкой интенсивность экситонной линии сильно увеличивается (практически на порядок при переходе от спектра 1 к спектру 2), а интенсивность полосы 1,722 эВ резко уменьшается при переходе от спектра 1 к спектру 3.

В спектре излучения образца 4 отсутствует полоса 1,722 эВ, а его единственная линия (1,810 эВ) имеет наибольшую интенсивность в сравнении с аналогичными линиями в спектрах 1–3.

Полученные результаты катодолюминесценции свидетельствуют о том, что для выращивания в квазизамкнутом объеме эпитаксиальных слоев n -CdSe с высоким структурным совершенством необходимо поддерживать достаточно высокие температуры роста и квазиравновесные условия.

**Зависимость мощности
светового потока КЛ
эпитаксиальных слоев n -CdSe
от плотности тока возбуждения**

В соответствии с формулой (8) мощность $W_{\text{св}}$ светового потока КЛ слоев

CdSe прямо пропорциональна амплитуде $\Delta U_{m\text{ФЭК}}$ импульса напряжения на выходе ФЭК. На рис. 3 отражена экспериментальная зависимость $\Delta U_{m\text{ФЭК}}$ от плотности тока возбуждения j_e образцов 1–4 при температуре 78 К и энергии электронного пучка $E_e = 40$ кэВ.

Видно, что для всех четырех исследованных образцов CdSe напряжение $\Delta U_{m\text{ФЭК}}$ практически линейно возрастает с повышением j_e в пределах от 0,5 до 2,5 А/см². Кроме того, по мере приближения к равновесным технологическим условиям, имеющим место при переходе от образца 1 к образцу 4, увеличивается скорость возрастания $\Delta U_{m\text{ФЭК}}$, которая отражает характер изменения мощности потока света, выходящего из образца. Это обусловлено повышением степени кристаллического совершенства эпитаксиальных слоев с ростом температуры эпитаксии и приближением ее к значению для равновесных условий.

Необходимо отметить, что при больших плотностях тока возбуждения происходит перестройка экситонного спектра, связанная с образованием в слоях

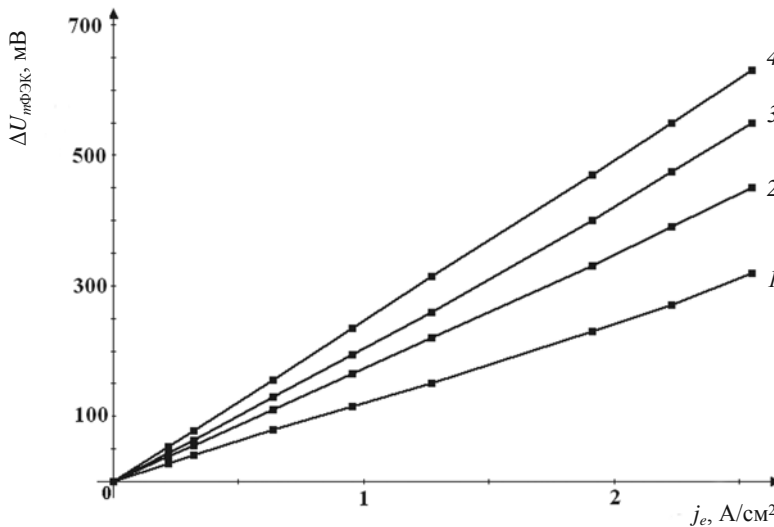


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного напряжения $\Delta U_{m\text{ФЭК}}$ для слоев n -CdSe при $T = 78$ К и $E_e = 40$ кэВ от плотности тока возбуждения (цифры 1–4 соответствуют номерам образцов в таблице)

n -CdSe электронно-дырочной плазмы [7]. Как следует из экспериментальных данных, такое изменение механизма излучательной рекомбинации в слоях n -CdSe сохраняет линейный характер зависимости роста $W_{\text{св}}$ от j_e .

Зависимость внешнего квантового выхода КЛ слоев n -CdSe от температурных условий эпитаксии и плотности тока возбуждения

На рис. 4 показаны зависимости величины внешнего квантового выхода при 78 К от плотности тока возбуждения и условий выращивания слоев CdSe. Для каждого из четырех образцов значение η_{ext} практически не зависит от j_e . Однако внешний квантовый выход существенно возрастает по мере повышения температуры зоны испарения при одновременном уменьшении значений $\Delta T = T_{\text{и}} - T_{\text{п}}$, т. е. при приближении эпитаксиальной технологии к равновесным условиям.

Опыт показывает, что структура поверхности слоев CdSe при их выращивании в квазизамкнутом объеме в условиях, близких к равновесным, практически не

зависит от температурных условий выращивания. Их поверхность, как правило, получается зеркально гладкой. Поэтому можно предположить, что оптическая активность поверхности образцов 1–4 остается постоянной. Следовательно, наблюдаемое повышение внешнего квантового выхода от образца 1 к образцу 4 происходит в результате увеличения внутреннего квантового выхода КЛ.

Считая оптическую активность поверхности исследованных слоев CdSe приблизительно равной теоретически полученной величине $\eta_{\text{opt}} = 2,95\%$ (7), мы рассчитали значения внутреннего квантового выхода η_{int} (1) для образцов 1–4 и получили 37, 56, 63 и 85 % соответственно. Отсюда видно, что слои n -CdSe с высоким внутренним квантовым выходом КЛ можно получать в квазизамкнутом объеме при достаточно высоких температурах, близких к равновесным условиям эпитаксии.

Для дальнейшего повышения внешнего квантового выхода необходимо увеличение оптической активности поверхности на границе слой CdSe – воздух.

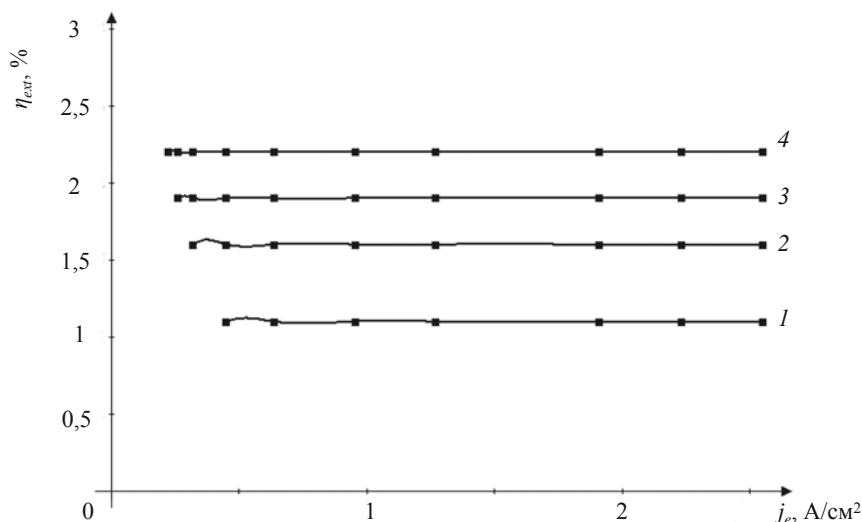


Рис. 4. Зависимость внешнего квантового выхода слоев n -CdSe от плотности тока возбуждения при $E_e = 40$ кэВ и $T = 78$ К (цифры 1–4 соответствуют номерам образцов в таблице)

Заключение

Основные результаты приведенных экспериментальных исследований внешнего квантового выхода слоев n -CdSe/слода сводятся к следующим обобщениям:

– В спектрах КЛ (78 К) эпитаксиальных слоев n -CdSe, выращенных в квази-замкнутом объеме при высоких температурах эпитаксии в условиях, близких к равновесным ($\gamma \leq 0,12$), присутствует только линия излучения свободных А-экситонов, что свидетельствует о высокой чистоте и кристаллическом совершенстве этих слоев.

– Для исследованных слоев n -CdSe мощность выходящего из образца светового потока КЛ линейно увеличивается с ростом плотности тока возбуждения.

– В диапазоне плотностей тока возбуждения от 0,50 до 2,55 А/см² значение внешнего квантового выхода для каждого из исследованных слоев n -CdSe является практически постоянной величиной.

– Максимальное значение внешнего квантового выхода КЛ (2,2 % при 78 К) при равных уровнях возбуждения наблюдается в слоях n -CdSe, выращенных в высокотемпературных условиях эпитаксии, близких к равновесным. Дальнейшее повышение внешнего квантового выхода может быть достигнуто за счет модифицирования структуры поверхности слоев n -CdSe, приводящей к увеличению коэффициента вывода света.

Цитированная литература

1. Юнович А.Э. Светодиоды как основа освещения будущего // Светотехника. – 2003. – № 3. – С. 2–7.
2. Павлюченко А.С., Рожанский И.В., Закейг Д.А. Проявление инжекционного ме-

ханизма падения эффективности светодиодов на основе AlInGaN в температурной зависимости внешнего квантового выхода // ФТП. – 2009. – Т. 43. – № 10. – С. 1391–1395.

3. Schubert E. Light-Emitting Diodes. Cambridge University Press. 2006. 422 с.

4. Емельянов А.М., Соболев Н.А., Мельникова Т.М. и др. Эффективный кремниевый светодиод с температурно-стабильными характеристиками // ФТП. – 2003. – Т. 37. – № 6. – С. 756–761.

5. Батырев А.С., Калмыкова И.П., Чердниченко А.Е. Широкие полосы излучения при лазерном возбуждении кристаллов CdSe // ФТТ. – 1990. – Т. 32. – № 2. – С. 598–602.

6. Оптические свойства полупроводников / В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк, В.Г. Литовченко. – Киев: Наукова думка, 1987. – 607 с.

7. Особенности перестройки с ростом уровня возбуждения спектров экситонной катодолюминесценции эпитаксиальных слоев CdSe / Э.А. Сенокосов, В.И. Чукиита, И.Н. Один, М.В. Чукичев // ФТП. – 2014. – Т. 48. – № 2. – С. 203–206.

8. Катодолюминесценция фоточувствительных слоев CdSe, выращенных в квази-замкнутом объеме / Э.А. Сенокосов, В.И. Чукиита, И.Н. Один, М.В. Чукичев, А.А. Абрамова // Неорганические материалы. – 2012. – Т. 48. – № 12. – С. 1299–1302.

9. Вавилов В.С. Особенности физики широкозонных полупроводников и их практических применений // УФН. – 1994. – Т. 164. – № 3. – С. 287–296.

10. Богданкевич О.В. Полупроводниковые лазеры с накачкой электронным пучком // Квантовая электроника. – 1994. – Т. 21. – № 12. – С. 1113–1136.

11. Корницкий А.Г., Киреев П.С., Кондауров Н.М. Фотоэлектрические явления и фотолюминесценция в тонких эпитаксиальных слоях селенида кадмия // Изв. вузов. Физика. – 1975. – № 3. – С. 61–66.

УДК 512.548.7

И.А. Флоря, канд. физ.-мат. наук, доц.
Н.Н. Дидурик, ст. преп.

КВАЗИГРУППЫ ШРЕДЕРА

Изучаются все изотопы квазигруппы Шредера. Построен пример квазигруппы Шредера из восьми элементов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Квазигруппу $K(\cdot)$ назовем квазигруппой Шредера, если в $K(\cdot)$ выполняется тождество

$$(xy \cdot yz)x = z, \quad \forall x, y, z \in K \quad (1)$$

Примеры квазигрупп Шредера.

1. Любая абелева группа $K(\cdot)$, в которой $x^2 = e$, где e – единица группы, $\forall x \in K$, является квазигруппой Шредера.

2. Пусть $K(\cdot)$ – абелева группа, в которой $x^2 = e$, $\forall x \in K$, где e – единица группы, α – автоморфизм группы $K(\cdot)$, где $\alpha^7 = \varepsilon$, ε – тождественный автоморфизм, $\alpha \neq \varepsilon$. Тогда квазигруппа $K(\circ)$, где $x \circ y = \alpha x \cdot \alpha^3 y$, $\forall x, y \in K$, является квазигруппой Шредера, медиальной и с непустым дистрибутантом [1]. В частности, единица группы принадлежит дистрибутанту.

3. Пусть $P(+, \cdot)$ – поле, где $x + x = 0$, $\forall x \in P$, a – фиксированный элемент из P , где $a^7 = e$, e – единица поля, $a \neq e$. Тогда $P(\circ)$, где $x \circ y = ax + a^3 y$, $\forall x, y \in P$, является квазигруппой Шредера, медиальной и дистрибутант $D \neq \emptyset$.

4. Пусть $P(+, \cdot)$ – поле, где $x + x = 0$, $\forall x \in P$, и пусть элемент $a \in P$ удовлетворяет равенству $a^3 + a + 1 = 0$, тогда $P(\circ)$, где $x \circ y = ax + a^3 y$, $\forall x, y \in P$, является квазигруппой Шредера, медиальной и дистрибутивной.

ТЕОРЕМА 1. Если квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ имеет одностороннюю единицу, то $K(\cdot)$ – абелева группа, в которой $x^2 = e$, $\forall x \in K$, e – единица группы $K(\cdot)$.

Доказательство. Пусть квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ имеет правую единицу e , т. е. имеем $xe = x$, $\forall x \in K$. Из (1) при $y = z = e$ получаем

$$xx = x^2 = e, \quad \forall x \in K. \quad (2)$$

Снова из (1) при $z = e$ получаем $(xy \cdot y)x = e$ и на основании (2) получаем

$$xy \cdot y = x, \quad \forall x, y \in K. \quad (3)$$

Из (3) при $x = e$ имеем $ey \cdot y = e$ и на основании (2) получаем $ey \cdot y$, $\forall y \in K$.

Получили, что $K(\cdot)$ – лупа.

Пусть теперь квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ имеет левую единицу f , т. е. имеем $\forall x \in K$. Из (1) при $x = y = f$ получаем $zf = z$, $\forall z \in K$, т. е. $K(\cdot)$ – лупа. Из (1) при $x = e$ получаем

$$y \cdot yz = z, \quad \forall y, z \in K. \quad (4)$$

Из (2), (3), (4) следует, что $K(\cdot)$ – коммутативная IP -лупа, т. е. имеет место равенство

$$xy = yx, \quad \forall x, y \in K. \quad (5)$$

Из (1), (3), (5) получаем

$$(xy \cdot yz)x = z, \quad xy \cdot yz = zx,$$

$$yx \cdot yz = xz, \quad \forall x, y, z \in K. \quad (6)$$

Теперь докажем ассоциативность. Пусть $x \cdot yz = xy \cdot z'$. Нужно доказать, что $z = z'$.

Умножаем слева равенство $x \cdot yz = xy \cdot z'$ на xu и получаем $xu(x \cdot yz) = xu(xy \cdot z')$, откуда на основании (4) и (6) имеем $y \cdot yz = z'$, $z = z'$, $K(\cdot)$ – абелева группа. Что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА 2. Любая лупа $K(\circ)$, изотопная квазигруппе Шредера $K(\cdot)$, является абелевой группой, в которой $x \circ x = e$, $\forall x \in K$, где e – единица группы $K(\circ)$.

Доказательство. Как известно, достаточно рассмотреть главный изотоп $K(\circ)$ квазигруппы $K(\cdot)$, где изотопия имеет вид

$$x \circ y = R_a^{-1}x \cdot L_b^{-1}y, \quad \forall x, y \in K. \quad (7)$$

Получили лупу $K(\circ)$ с единицей $e = ba$. Из (1) имеем:

$$L_{xy}L_y = R_x^{-1}, \quad L_y = L_{xy}R_x^{-1},$$

$$L_y^{-1} = R_xL_{xy}, \quad R_x^{-1} = L_{xy}L_y, \quad \forall x, y \in K. \quad (8)$$

Тоже из (1) получаем

$$xy \cdot yz = R_x^{-1}z, \quad \forall x, y, z \in K. \quad (9)$$

Сначала докажем тождество

$$x \circ x = e = ba, \quad \forall x \in K. \quad (10)$$

Из (7), (8) и (9) получаем

$$\begin{aligned} x \circ x &= R_a^{-1}x \cdot L_b^{-1}x = \\ &= L_{au}L_u^{-1} \cdot R_vL_{vb}x, \quad \forall x, u, v \in K, \end{aligned}$$

$$x \circ x = (au \cdot ux) \cdot (vb \cdot x)v.$$

Пусть $u = vb$, тогда

$$\begin{aligned} ((a \cdot vb)(vb \cdot x)) \cdot (vb \cdot x)v &= \\ &= R_{a \cdot vb}^{-1}v = x \circ x. \end{aligned}$$

Пусть $R_{a \cdot vb}^{-1}v = t$, тогда

$$v = t(a \cdot vb) \quad (11)$$

С другой стороны, имеем

$$\begin{aligned} e(a \cdot vb) &= (ba)(a \cdot vb) = \\ &= R_b^{-1}(vb) = v. \end{aligned}$$

Получили

$$(ba)(a \cdot vb) = v \quad (12)$$

Из (11) и (12) получили $x \circ x = e$, т. е. (10). Теперь докажем ассоциативность

$$(x \circ y) \circ z = x \circ (y \circ z). \quad (13)$$

Из (1), (7) и (10) получаем

$$\begin{aligned} xy \cdot (y \cdot zx) &= z, \\ R(xy) \circ L(y \cdot zx) &= z, \end{aligned}$$

где $R = R_a$, $L = L_b$.

Если $z = e$, получаем

$$\begin{aligned} R(xy) &= L(y \cdot ex), \\ L(y \cdot ex) \circ L(y \cdot zx) &= z, \\ L(Ry \circ L(ex)) \circ L(Ry \circ L(zx)) &= z. \end{aligned}$$

Пусть $Ry = e$, тогда получаем

$$\begin{aligned} L^2(ex) \circ L^2(zx) &= z, \\ L(Ry \circ L(ex)) \circ L(Ry \circ L(zx)) &= \\ &= L^2(ex) \circ L^2(zx) = z. \end{aligned}$$

Совершаем подстановки

$$y \rightarrow R^{-1}y, \quad L(ex) = u, \quad L(zx) = v$$

и получаем

$$\begin{aligned} L(y \circ u) \circ L(y \circ v) &= Lu \circ Lv, \\ \forall y, u, v \in K. \end{aligned} \quad (14)$$

Если $Lu = e$, $u = L^{-1}e = L^{-1}(ba) = a$, получаем $L(y \circ a) \circ L(y \circ v) = Lv$, $L(y \circ u) \circ L(y \circ v) = Lu \circ (\varphi y \circ L(y \circ v))$, где $L(y \circ a) = \varphi y$. Пусть $L(y \circ v) = t$, тогда имеем $L(y \circ u) \circ t = Lu \circ (\varphi y \circ t)$, $\forall y, u, t \in K$. Если $t = e$, получаем $(Lu \circ \varphi y) \circ t = Lu \circ (\varphi y \circ t)$, $(u \circ y) \circ t = u \circ (y \circ t)$, $\forall u, y, t \in K$. Получили (13). Что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА 3. Любая квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ является медиальной.

Доказательство. Из $(xy \cdot yz)x = z$ следует:

$$(xy)(y \cdot zx) = z, R(xy) \circ L(y \cdot zx) = z,$$

$$R(xy) = L(y \cdot ex),$$

$$L(y \cdot L_e x) \circ L(y \cdot zx) = z,$$

$$L(y \cdot zx) = z \circ L(y \cdot L_e x), x = c,$$

$$L(yz) = R_c^{-1}z \circ \varphi y = \varphi y \circ \psi z,$$

где $\varphi y = L(y \cdot L_e c)$, $\psi = R_c^{-1}$.

Получили

$$L(yz) = \varphi y \circ \psi z,$$

$$R(xy) = \varphi y \circ \psi(ex) = \psi_1 x \circ \varphi y,$$

где $\psi_1 = \psi L_e$.

Пусть $xy \cdot uv = xu \cdot yv' \Rightarrow$

$$\Rightarrow R(xy) \circ L(uv) = R(xu) \circ L(yv'),$$

$$\psi_1 x \circ \varphi y \circ \varphi u \circ \psi v =$$

$$= \psi_1 x \circ \varphi u \circ \varphi y \circ \psi v', v = v'.$$

Что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА 4. Если в квазигруппе Шредера имеется идемпотентный элемент a , то a принадлежит дистрибутанту квазигруппы, т. е. имеет место

$$a \cdot xy = ax \cdot ay, xy \cdot a = xa \cdot ya, \forall x, y \in K.$$

Доказательство. Из $(xy \cdot yz)x = z$ получаем

$$(aa \cdot az)a = z, (a \cdot az)a = z,$$

$$R_a L_a^2 z = z, R_a^{-1} = L_a^2, R_a^{-1} L_a^{-1} = L_a,$$

$$L_a^{-1} R_a^{-1} = L_a, L_a R_a = R_a L_a. \quad (15)$$

Далее изучаем лупу $K(\circ)$, где

$$x \circ y = R_a^{-1} x \cdot L_a^{-1} y,$$

$$xy = R_a x \circ L_a y, \forall x, y \in K. \quad (16)$$

Для упрощения записи будем писать $R_a = R$, $L_a = L$. На основании теоремы 2 лупа $K(\circ)$ является абелевой группой, в которой $x \circ x = e = a$, где e – единица группы $K(\circ)$. В равенстве $xy \cdot y(zx) = z$ переходим от операции (\cdot) к операции (\circ) , используя (16):

$$R(Rx \circ Ly) \circ L(Ry \circ L(Rz \circ Lx)) = z.$$

Пусть $z = e$, тогда, так как $x \circ x = e$, получаем

$$R(Rx \circ Ly) = L(Ry \circ L^2 x),$$

$$L^{-1} R(x \circ y) = RL^{-1} y \circ L^2 R^{-1} x,$$

$$L^{-3}(x \circ y) = L^{-3} y \circ L^4 x.$$

Если $y = e = a$, то получаем

$$L^{-3} = L^4, L^{-3}(x \circ y) = L^{-3} y \circ L^{-3} x,$$

$$L^4(L^{-3}(x \circ y)) = Ly \circ Lx,$$

$$L(x \circ y) = Lx \circ Ly,$$

где L, R – автоморфизмы группы $K(\circ)$.

Теперь докажем, что L, R – автоморфизмы и квазигруппы Шредера $K(\cdot)$. Из $L(x \circ y) = Lx \circ Ly$ и (16) получаем $L(x \circ y) = L(R^{-1}x \cdot L^{-1}y) = R^{-1}Lx \cdot y$, $L(xy) = R^{-1}LRx \cdot Ly = Lx \cdot Ly$. Таким образом, $L, R = L^{-2}$ – автоморфизмы и квазигруппы $K(\cdot)$, т. е. имеет место $L_a(xy) = L_a x \cdot L_a y$, $R_a(xy) = R_a x \cdot R_a y$, $a \cdot xy = zx \cdot ay, xy \cdot a = xa \cdot ya, a \in D$, где D – дистрибутант квазигруппы $K(\cdot)$. Что и требовалось доказать.

СЛЕДСТВИЕ. Если каждый элемент квазигруппы Шредера $K(\cdot)$ идемпотентный, то $K(\cdot)$ – дистрибутивная квазигруппа.

ТЕОРЕМА 5. Квазигруппа Шредера $K(\cdot)$, в которой выполняется эластичный закон $(xy \cdot x = x \cdot yx)$, дистрибутант D квазигруппы $K(\cdot)$ состоит из всех локальных единиц, а квазигруппа $K(\cdot)$ является левой и правой специальной квазигруппой.

Доказательство. Пусть в квазигруппе Шредера $K(\cdot)$ выполняется эластичный закон $xy \cdot x = x \cdot yx$, $\forall x, y \in K$. Тогда имеем $xe_x \cdot x = x \cdot e_x x$, $xx = x \cdot e_x x$, $x = e_x x$, $e_x = f_x$, $\forall x \in K$. Теперь используем тождество Шредера $f_a f_a \cdot f_a (af_a) = a$, $f_a^2 \cdot a = a$, $f_a^2 = f_a$. Получили, что квазигруппа Шредера имеет идемпотентные элементы $f_x^2 = f_x$, $\forall x \in K$, и на основании теоремы 4 получили, что дистрибутант D содержит все локальные единицы $f_x = e_x$. Убедимся, что если $a \in D$, то $a = e_a$. Действительно, пусть $a \in D$, тогда $a \cdot aa = aa \cdot aa$, $a = aa$, $a = e_a$. Итак, $D = \{f_x = e_x, \forall x \in K\}$. Используем, что $K(\cdot)$ – медиальная квазигруппа. Далее имеем $xy \cdot e_x z = xe_x \cdot yz = x \cdot yz$, $xy \cdot z = x(y \cdot L_{e_x}^{-1} z)$, где $L_{e_x}^{-1}$ – автоморфизм квазигруппы. Получили, что $K(\cdot)$ – левая специальная квазигруппа.

Теперь убедимся, что $K(\cdot)$ – правая специальная квазигруппа. Из $zf_x \cdot yx = zy \cdot f_x x = zy \cdot x$ получаем $z \cdot yx = (R_{f_x}^{-1} z \cdot y)x$, где $R_{f_x}^{-1}$ – автоморфизм квазигруппы $K(\cdot)$. Получили, что $K(\cdot)$ является правой специальной квазигруппой. Что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА 6. Если в квазигруппе Шредера $K(\cdot)$ выполняются левый или правый альтернативные законы, то $K(\cdot)$ – абелева группа.

Доказательство. Пусть в $K(\cdot)$ имеет место левый альтернативный закон

$x \cdot xy = xx \cdot y$, $\forall x, y \in K$. Тогда получаем $x \cdot xy = xe_x \cdot xy = xx \cdot e_x y = xx \cdot y$, $e_x y = y$. Таким образом, $K(\cdot)$ имеет левую единицу $f = e_x$. На основании теоремы 1 заключаем, что $K(\cdot)$ – абелева группа. Аналогично доказывается, когда в квазигруппе Шредера имеет место правый альтернативный закон $yx \cdot x = y \cdot x^2$. Что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА 7. Если квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ является левой специальной, то дистрибутант состоит из всех локальных единиц, а если является правой специальной, то D состоит из всех левых локальных единиц.

Доказательство. Пусть $K(\cdot)$ – левая специальная квазигруппа, т. е. в $K(\cdot)$ имеет место равенство $xy \cdot z = x(y \cdot S_{x,y} z)$, $\forall x, y, z \in K$, где $S_{x,y}$ – автоморфизм квазигруппы, зависящий от x и y . В частности, имеем $xe_x \cdot z = x(e_x \cdot S_{x,e_x} z)$, $z = L_{e_x} S_{x,e_x} z$, $L_{e_x}^{-1} = S_{x,e_x}$ – автоморфизм квазигруппы $K(\cdot)$, но тогда и L_{e_x} – автоморфизм, т. е. имеет место $L_{e_x}(yz) = L_{e_x} y \cdot L_{e_x} z$, $e_x(yz) = (e_x y)(e_x z)$, $e_x(e_x e_x) = (e_x e_x) \cdot (e_x e_x)$, $e_x^2 = e_x$, $\forall x \in K$. На основании теоремы 4 $e_x \in D$.

Теперь убедимся, что любой элемент $a \in D$ есть правая локальная единица. Действительно, если $a \in D$, то $a^2 = a \cdot a = a$, откуда $a = e_a$. Аналогично доказывается, если $K(\cdot)$ является правой специальной квазигруппой, т. е. в $K(\cdot)$ имеет место равенство $z(yx) = (S_{x,y} z \cdot y)x$, $\forall x, y, z \in K$, где $S_{x,y}$ – автоморфизм квазигруппы. Теорема доказана.

ТЕОРЕМА 8. Если квазигруппа Шредера $K(\cdot)$ обратима справа или слева, то $K(\cdot)$ – абелева группа, в которой $x^2 = e$, $\forall x \in K$, e – единица группы.

С помощью таблицы Кэли приводим два примера квазигрупп с тождеством Шредера из восьми элементов. Сначала-

ла строим пример поля $P(+, \cdot)$ из восьми элементов, где $\exists a \in P, a \neq 1, a^7 = 1, x + x = 0, \forall x \in P$. Изучаем кольцо многочленов $Z_2[x]$ над полем классов вычетов по модулю 2, где $Z_2 = \{\bar{0}, \bar{1}\}$. Над полем $Z_2(+, \cdot)$ имеет место $x^7 + 1 = (x + 1)(x^3 + x + 1)(x^3 + x^2 + 1)$. Многочлены $p_1(x) = x^3 + x + 1$ и $p_2(x) = x^3 + x^2 + 1$ неприводимы над полем $Z_2(+, \cdot)$.

Сначала строим классы вычетов по модулю $p_1(x) = x^3 + x + 1$. Имеем $\forall f(x) \in Z_2[x], f(x) = (x^3 + x + 1)q(x) + ax^2 + bx + c$, где $a, b, c \in Z_2$. Получаем следующие остатки $0; 1; x; x^2; x + 1; x^2 + 1; x^2 + x; x^2 + x + 1$. Учитываем условие $x^3 = x + 1$. Для упрощения записи принимаем обозначения: $x = 2, x^2 = 3, x + 1 = 5, x^2 + x = 6, x^2 + x + 1 = 7$. Получаем множество $P = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ и поле $P(\oplus, \otimes)$. В этом поле $a = 2, 2^7 = 1, 2^3 \oplus 2 \oplus 1 = 0$.

Теперь строим квазигруппу Шредера $P(\circ)$, которая является и дистрибутивной: $x \circ y = (2 \otimes x) \oplus (2^3 \otimes y) = (2 \otimes x) \oplus (4 \otimes y)$.

Аналогично поступаем с неприводимым многочленом над полем $Z_2(+, \cdot)$, $p_2(x) = x^3 + x^2 + 1$ и получаем квазигруппу Шредера с дистрибутантом $D = \{0\}$.

Цитированная литература

1. **Флоря И.А.** Квазигруппа с непустым дистрибутантом // Исследования по общей алгебре. – 1968. – Вып. 1. – С. 88–101.
2. **Гварамия А.А., Глухов М.М.** Решение основных алгоритмических проблем в некоторых классах квазигрупп с тождествами // Сибирский математический журнал. – 1969. – Т. X.

УДК 538.8

К.Д. Ляхомская, канд. физ.-мат. наук, доц.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В «ДВУМЕРНОМ» МАССИВЕ СВЕТОВОДОВ

Рассмотрены особенности распространения света в массиве световодов, состоящем из полубесконечного числа полубесконечных цепочек световодов. Найдены аналитические решения для пространственного профиля интенсивности света в произвольном световоде массива.

Введение

Одним из стремительно развивающихся направлений в современной радиофизике, оптоэлектронике, нелинейной динамике является разработка искусственных полупроводниковых структур с заданными функциональными характеристиками, предназначенных для хранения, передачи и обработки оптической информации. Особое место среди них занимают прост-

ранственно-периодические структуры, такие как туннельно-связанные световоды, фотонные кристаллы разной размерности, массивы полупроводниковых квантовых точек и др. Принципиальным условием их функционирования является возможность управления свойствами распространяющегося излучения.

Ранее в ряде работ теоретически изучались закономерности распространения света в направленных ответвителях, пред-

ставляющих собой массивы световодов [1–5]. Массивы нелинейных световодов могут проявлять эффекты переключения, локализации излучения в нескольких световодах, а также управления эффектами распространения, изменением интенсивности и фазы на входе при больших уровнях возбуждения [6–10].

Дальнейшее исследование функциональных возможностей массивов световодов представляется актуальной задачей. В связи с этим отметим, что особенности распространения света в ответвителях являются различными для полубесконечных, бесконечных и конечных массивов.

Постановка задачи. Основные уравнения

Рассмотрим массив световодов, состоящий из полубесконечного числа полубесконечных цепочек световодов (рис. 1). Он является двумерным в сечении, перпендикулярном направлению световодов. Массив занимает первую четверть плоскости nk ($n \geq 0$ и $k \geq 0$).

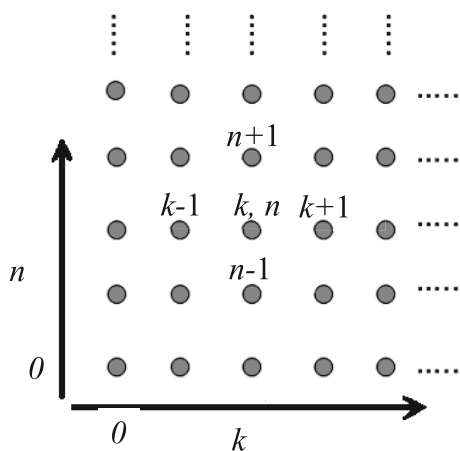


Рис. 1. Полубесконечный массив полубесконечных массивов световодов

Предположим, что постоянная распространения β линейно зависит от положения световода в массиве в виде

$$\begin{cases} \beta_n = \beta_0 + \alpha n, \\ \beta_k = \beta_0 + \beta k. \end{cases} \quad (1)$$

Система дифференциально-разностных уравнений первого порядка, описывающих амплитуду поля распространяющегося излучения в n, k -м световоде массива, имеет вид

$$\begin{aligned} if'_{n,k} + (\alpha n + \beta k)f_{n,k} + f_{n-1,k} + \\ + f_{n+1,k} + \gamma(f_{n,k-1} + f_{n,k+1}) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $f_{n,k}$ – амплитуда поля распространяющегося излучения в n, k -м световоде; α и β – константы распространения в горизонтальном и вертикальном направлениях массива соответственно; γ – постоянная распространения диагональных световодов массива [5–13].

Решение системы (2) ищем в виде

$$f_{n,k} = b_{n,k} e^{i(\alpha n + \beta k)x}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получаем

$$\begin{aligned} ib'_{n,k} + b_{n-1,k} e^{-i\alpha x} + b_{n+1,k} e^{i\alpha x} + \\ + \gamma b_{n,k-1} e^{-i\beta x} + \gamma b_{n,k+1} e^{i\beta x} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Решения для амплитуды поля распространяющегося излучения представим с помощью интеграла Фурье:

$$\begin{aligned} b_{n,k}(x) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\theta \times \\ \times \int_{-\pi}^{\pi} d\varphi b(x, \theta, \varphi) e^{-in\theta - ik\varphi}. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) и проводя необходимые алгебраические преобразования, получаем

$$\begin{aligned} ib'(x, \theta, \varphi) + 2b(x, \theta, \varphi) \times \\ \times (\cos(\theta - \alpha x) + \gamma \cos(\varphi - \beta x)) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Интегрируя (6), находим выражение для амплитуды поля распространяющегося излучения в n, k -м световоде массива $b(x, \theta, \varphi)$:

$$b(x, \theta, \varphi) = Ce^{-2i\left(\frac{\sin(\theta-\alpha x)}{\alpha} + \gamma \frac{\sin(\varphi-\beta x)}{\beta}\right)}. \quad (7)$$

Используя начальные условия для накачки световода с $n = 0$ и $k = 0$:

$$b_{n,k}|_{x=0} = \delta_{n,0}\delta_{k,0}, \quad b(x, \theta, \varphi)|_{x=0} = 1,$$

легко найти константу

$$C = e^{-2i\left(\frac{\sin\theta}{\alpha} + \gamma \frac{\sin\varphi}{\beta}\right)}$$

и получить

$$b(x, \theta, \varphi) = e^{4i\left(\frac{\sin\frac{\alpha x}{2}\cos(\theta-\frac{\alpha x}{2}) + \gamma \frac{\sin\frac{\beta x}{2}\cos(\varphi-\frac{\beta x}{2})}{\beta}\right)}.$$

Тогда $b_{n,k}(x)$ с использованием разложения $e^{iz\cos\varphi} = \sum_{s=-\infty}^{+\infty} i^s J_s(z) e^{is\varphi}$ [14] приобретает следующий вид:

$$b_{n,k}(x) = i^{n+k} J_n\left(\frac{4}{\alpha} \sin\frac{\alpha x}{2}\right) \times J_k\left(4\frac{\gamma}{\beta} \sin\frac{\beta x}{2}\right) e^{-\frac{i}{2}(\alpha n + \beta k)x},$$

где $J_n(x)$ и $J_k(x)$ – функция Бесселя n -, k -го порядка.

Поле распространяющегося излучения в n, k -м световоде:

$$f_{n,k}(x) = i^{n+k} J_n\left(\frac{4}{\alpha} \sin\frac{\alpha x}{2}\right) \times J_k\left(4\frac{\gamma}{\beta} \sin\frac{\beta x}{2}\right) e^{\frac{i}{2}(\alpha n + \beta k)x}. \quad (8)$$

Определим нормированную интенсивность распространяющегося излучения в n, k -м световоде в виде

$$I_{n,k} = |f_{n,k}|^2 = J_n^2\left(\frac{4}{\alpha} \sin\frac{\alpha x}{2}\right) J_k^2\left(4\frac{\gamma}{\beta} \sin\frac{\beta x}{2}\right). \quad (9)$$

Обсуждение полученных результатов

Обсудим результаты численного расчета нормированных интенсивностей распространяющегося излучения в n, k -м световоде массива, определяемых с помощью выражения (9).

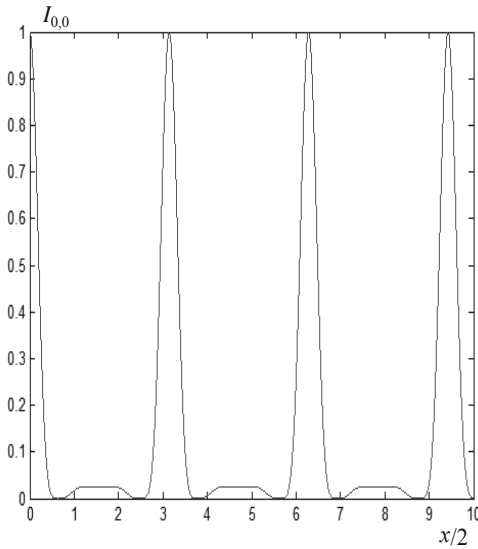
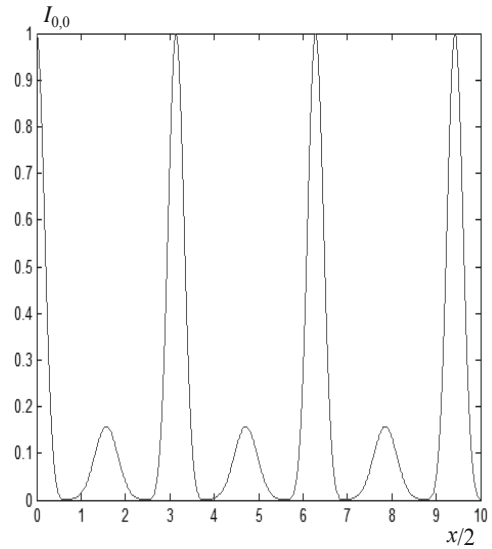
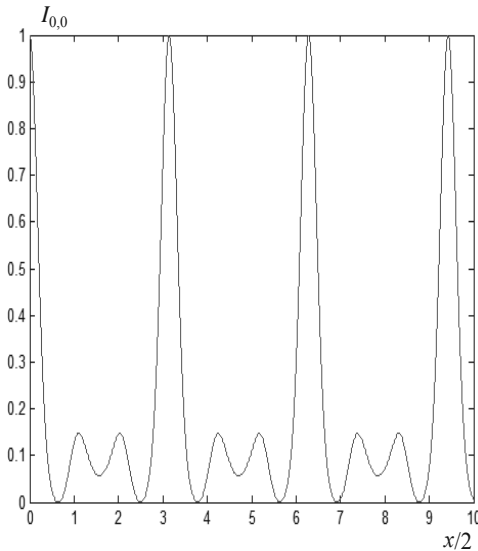
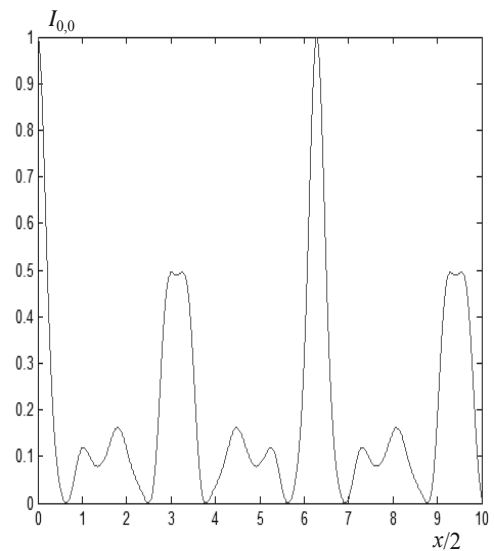
На рис. 2 представлена зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{n,k}$ от нормированной координаты x в накачиваемом световоде ($n = 0, k = 0$) для ряда значений параметров α, β и γ . Как видно из рис. 2, а, при $\alpha = \beta = \gamma = 1$ интенсивность излучения $I_{0,0}(x)$ является колебательной функцией, период колебаний $T = 2\pi$, амплитуда максимумов равна 1. Минимумы колебаний функции обращаются в 0, что соответствует режиму полной перекачки энергии из нулевого накачиваемого световода в другие световоды массива. При данных значениях параметров полная перекачка энергии происходит на расстоянии $x \approx 1,2$.

На рис. 2, б представлена зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{0,0}(x)$ при $\alpha = 2, \beta = \gamma = 1$. Видно, что с ростом значения константы связи α происходит увеличение амплитуды вторичных максимумов нормированной интенсивности примерно в шесть раз.

При дальнейшем увеличении параметра α ($\alpha = 3$) пространственный профиль нормированной интенсивности распространяющегося излучения в нулевом накачиваемом световоде характеризуется появлением дублетов вторичных максимумов одинаковой амплитуды (см. рис. 2, в).

На рис. 2, *г* представлена зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{0,0}(x)$ при $\alpha = 3,5$ и $\beta = \gamma = 1$. Отметим, что при данных значениях параметров характер профиля интенсивности нулевого световода существенно меняется. Главные максимумы функции $I_{0,0}(x)$ можно разделить на нечет-

ные, амплитуда которых равна единице, и четные, амплитуда которых в два раза меньше, а верхушка представляет собой слабо выраженный дублет. Кроме того, дублеты вторичных максимумов различны по амплитуде, но симметрия их положения относительно главных максимумов нормированной интенсивности сохраняется.

а***б******в******г***

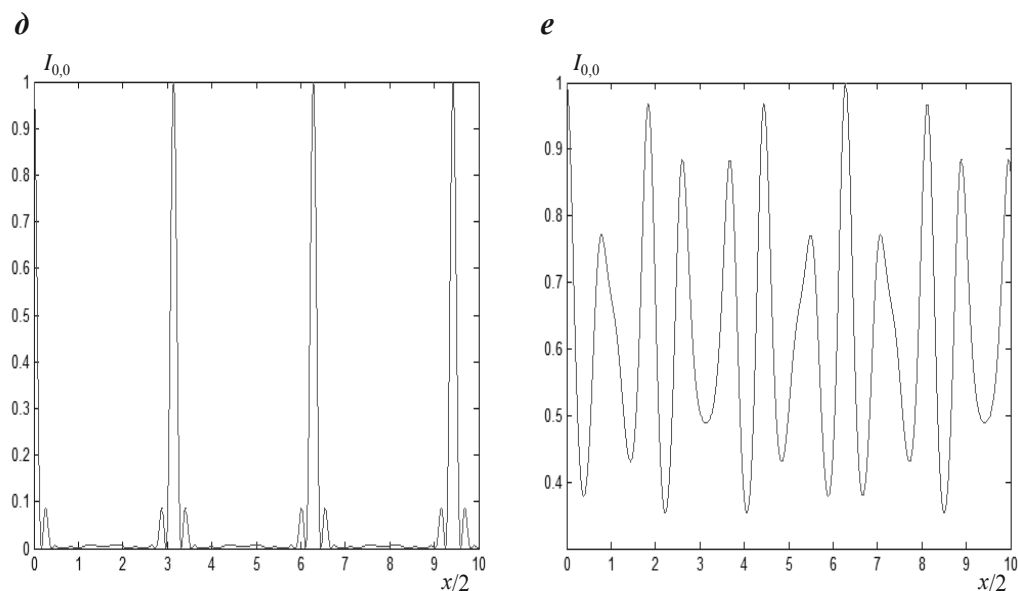


Рис. 2. Пространственный профиль нормированной интенсивности излучения $I_{0,0}(x)$ для следующих значений параметров: а) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$; б) $\alpha = 2, \beta = 1, \gamma = 1$; в) $\alpha = 3, \beta = 1, \gamma = 1$; г) $\alpha = 3,5, \beta = 1, \gamma = 1$; д) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 3,5$; е) $\alpha = 3,5, \beta = 5, \gamma = 1$

Если исследовать поведение функции $I_{0,0}(x)$ при фиксированных значениях $\alpha = \gamma = 1$ и различных значениях β , например равных 1, 2, 3 и 3,5, то из выражения (9) в силу симметрии замены α на β в аргументе функции Бесселя мы получим поведение пространственного профиля интенсивности, представленное на рис. 2, а–г.

На рис. 2, д изображена зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{0,0}(x)$ при $\gamma = 3,5$ и $\alpha = \beta = 1$. Видно, что при данных значениях параметров качественно поведение пространственного профиля нормированной интенсивности не меняется. Отмечается лишь уменьшение толщины главных максимумов функции $I_{0,0}(x)$ и рост амплитуд вторичных максимумов.

На рис. 3, а показана зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{0,1}(x)$ при следующих значениях параметров:

$\alpha = \beta = \gamma = 1$. Видно, что пространственный профиль интенсивности поля представляет собой колебательную функцию, характеризующуюся наличием главных и вторичных максимумов, амплитуда которых в 10 раз меньше. На торце световода $I_{0,1}(x) = 0$, что согласуется с начальными условиями задачи. За исключением первого главного максимума, другие максимумы являются дублетами, расположенными симметрично относительно $x = m\pi$, где m – целое число.

Рис. 3, б изображает зависимость нормированной интенсивности распространяющегося излучения $I_{1,1}(x)$ при следующих значениях параметров: $\alpha = \beta = \gamma = 1$. Пространственный профиль интенсивности поля при данных значениях параметров представляет собой колебательную функцию, характеризующуюся дублетами максимумов, за исключением первого, амплитуда которых равна значению главных максимумов функции $I_{0,1}(x)$. Отметим, что

Заключение

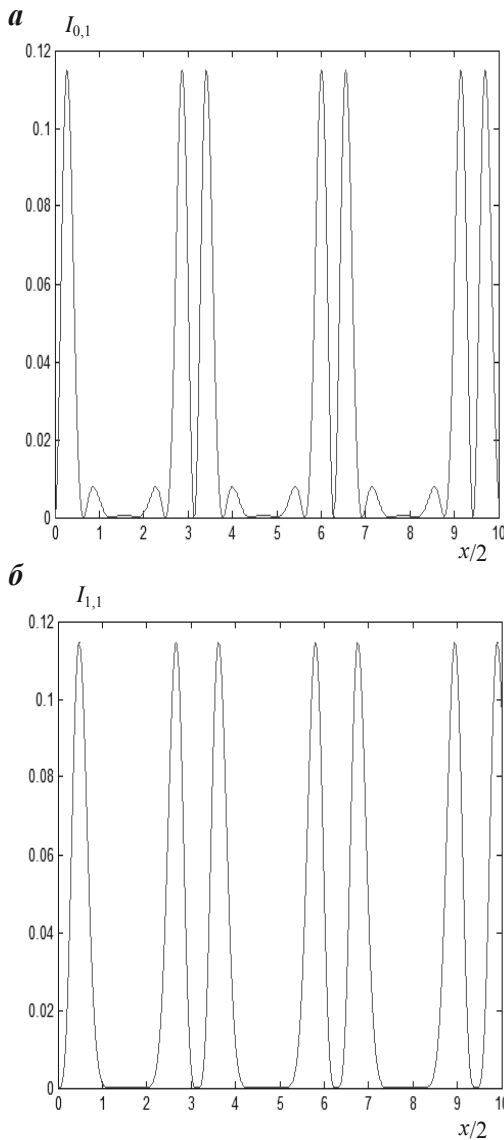


Рис. 3. Пространственный профиль нормированной интенсивности излучения $I_{0,1}(x)$ (а) и $I_{1,1}(x)$ (б) для следующих значений параметров: $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$

минимумы обеих функций $I_{0,1}(x)$ и $I_{1,1}(x)$ обращаются в ноль. Это свидетельствует о режиме полной перекачки энергии из данных световодов в другие световоды рассматриваемого массива.

Исследовано распространение излучения в массиве световодов, состоящем из полубесконечного числа полубесконечных цепочек световодов.

Найдены аналитические решения системы дифференциально-разностных уравнений, описывающих распространение поля в n, k -м световоде массива, с учетом взаимодействия между ближайшими световодами.

Изучен колебательный характер поведения пространственного профиля интенсивности распространяющегося излучения в произвольном n, k -м световоде массива, особенности которого обусловлены игрой констант распространения α, β, γ и номером световода в массиве.

Предсказано существование режимов полной и неполной перекачки энергии распространяющегося излучения.

Цитированная литература

1. Scifres D.R., Burnham R.D., Streifer W. // Appl. Phys. Lett. – 1978. – Vol. 33. – P. 1015–1017; IEEE J. Quant. Electron. – 1979. – Vol. 15. – P. 917–922.
2. Kuznetsov M. // IEEE J. Quant. Electron. – 1985. – Vol. 21. – P. 1893–1898.
3. Molten-Orr L., Haus H.A. // Opt. Lett. – 1984. – Vol. 9. – P. 466–467; Appl. Opt. – 1985. – Vol. 24. – P. 1260–1264.
4. Syms R.A. // Appl. Opt. – 1985. – Vol. 25. – P. 724; IEEE J. Quant. Electron. – 1987. – Vol. 23. – P.525.
5. Eyges L., Wintersteiner P. // J. Opt. Soc. Amer. – 1981. – Vol. 71. – P. 1351–1360.
6. Christodoulides D.N., Joseph R.I. // Opt. Lett. – 1988. – Vol. 13. – P. 794–796.
7. Peschel U., Pertsch T., Lederer F. // Opt. Lett. – 1998. – Vol. 23. – P. 1701–1703.
8. Aceves A.B., De Angelis C., Peschel T. et al. // Phys. Rev. – 1996. – Vol. E53. – P. 1172–1189.

9. **Darmanyan S., Kobyakov A., Schmidt E., Lederer F.** // Phys. Rev. – 1998. – Vol. E57. – P. 3520–3530.
10. **Eisenberg H.S., Silberg Y., Morandotti R. et al.** // Phys. Rev. Lett. – 1998. – Vol. 81. – P. 3383.
11. **Хаджи П.И., Ляхомская К.Д., Орлов О.К.** Особенности распространения света в полубесконечных массивах световодов // Квантовая электроника. – 2006. – Т. 36, № 10. – С. 791–797.
12. **Ярив А.** Квантовая электроника. – М.: Сов. радио, 1980.
13. **Хаджи П.И., Ляхомская К.Д.** Некоторые особенности распространения света в бесконечных массивах световодов // Вестник Приднестр. ун-та. Сер.: Физ.-мат. и техн. науки. – 2009. – № 3. – С. 16–21.
14. **Градштейн И.С., Рыжик И.М.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1971.

УДК 621.396

М.С. Токарь, аспирант

А.Л. Макаревич, канд. техн. наук, доц.

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МНОГОАНТЕННЫХ РАДИОСИСТЕМ

Рассмотрены основные методы передачи данных в современных стационарных и подвижных системах радиосвязи, использующих многоантенную технику, применение которой позволяет добиться повышения спектральной эффективности и достоверности передачи информации. Проведено моделирование рассмотренных методов в системе MATLAB и представлены его результаты, а также предложены сравнительные оценки и выводы.

Введение

В современных системах радиосвязи отмечается значительный рост потребляемого пользователями объема информации, связанный с внедрением мультисервисных сетей с пакетной коммутацией на основе IP-протоколов, что, в свою очередь, требует повышения качества передачи информации.

Для реализации этой тенденции системы радиосвязи остро нуждаются в увеличении пропускной способности каналов связи, представляющемся актуальной научной и технической задачей. Пропускная способность канала может быть увеличена за счет расширения используемой полосы радиочастот или повышения эффективной излучаемой мощности передающих трак-

тов канала [1]. Данные меры имеют ограничения из-за требований биологической защиты, энергопотребления абонентскими станциями (АС) и электромагнитной совместимости применяемых радиоизлучающих средств [2, 3].

Однако существуют более эффективные способы повышения пропускной способности канала связи за счет использования некоррелированных пространственных каналов связи в одной полосе радиочастот. Системы связи, работающие по этому принципу, получили название MIMO-систем (*Multiple Input Multiple Output*) [4, 5]. Актуальность систем MIMO подтверждает их внедрение в перспективные системы подвижной связи поколения 4G: *LTE-Advanced*, *WIMAX-Advanced*, портативного телевизионного приема *DVB-*

NGH, когнитивного радио (*CRS*) и интеллектуальных антенн (*AAS*).

Так, в [6] указывается, что для увеличения пиковой скорости передачи данных для пользователя и соответствия требованиям МСЭ-Р по спектральной эффективности *LTE-Advanced* на стороне АС предусматривает наличие восьми приемников, допуская возможность пространственного мультиплексирования 8×8 в нисходящем канале, и четырех передатчиков, позволяющих осуществить передачу 4×4 в восходящем канале.

А.Е. Крупнов, в свою очередь, в [7] отмечает, что «технология *LTE*, вобравшая в себя многочисленные стандарты, которые так динамично развивались в начале 90-х годов (*CDMA*, *GSM*, *UMTS*, *WIMAX* и др.), обеспечила выполнение комплекса задач, которые раньше решить было просто невозможно: развитие телевидения высокой четкости и реализация преимуществ современных информационных технологий, основанных уже на новых философских взглядах».

В системах *MIMO* применяются различные методы и алгоритмы, действующие по принципу пространственно-временного кодирования, которые необходимо сравнить между собой путем моделирования и затем целенаправленно исследовать наиболее эффективные из них с целью усовершенствования либо разработки новых.

Основные принципы пространственно-временного кодирования

Основной идеей *MIMO* является формирование параллельных потоков данных из общего поступающего потока и их подача на независимые приемопередатчики, которые обеспечивают параллельную передачу данных в полосе радиочастот, ис-

пользуемой в полной мере одновременно (в один и тот же момент) каждым приемопередатчиком. В этом случае пропускная способность может быть увеличена без дополнительного расширения полосы радиочастот либо повышения эффективной излучаемой мощности передающих трактов канала. Так как для передачи потоков данных используется одна и та же полоса радиочастот, потоки необходимо декоррелировать, т. е. обеспечить их взаимную независимость.

Декорреляция осуществляется за счет организации параллельных некоррелированных подканалов при помощи пространственного разнесения элементов передающей и приемной антенных решеток на расстояние порядка нескольких длин волн несущей частоты, что легко может быть реализовано в основных используемых в настоящее время и перспективных стандартах беспроводной связи. Соответственно для реализации метода требуется наличие более одного приемопередающего тракта (обычно двух и более) в составе АС и/или базовой станции (БС).

Кратко изложим суть рассматриваемых методов передачи информации.

Метод

Maximal Ratio Combining (MRC)

Данный метод является одним из алгоритмов, ставших основой пространственно-временного блочного кодирования [4, 8, 9]. Следует отметить, что использование разнесенного приема на АС увеличивает их сложность, поэтому методы разнесенного приема целесообразнее применять на стороне БС.

Рассмотрим систему из одной передающей и двух приемных антенн (система 1×2) (рис. 1).

В некоторый момент времени передается сигнал x , который проходит по двум пространственным радиоканалам с коэффициентами передачи h_1 и h_2 , образуя матрицу комплексных канальных коэффи-

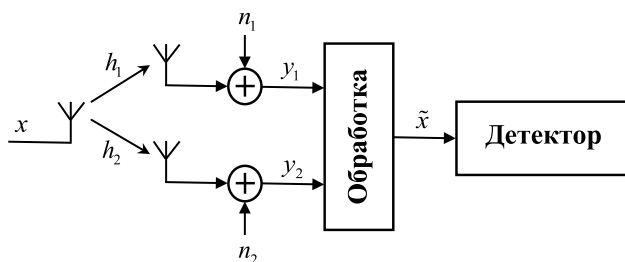


Рис. 1. Система приемо-передающего тракта 1×2

циентов H . Для простоты предположим наличие точной канальной информации. Радиоканалы являются однопутевыми и могут моделироваться как комплексное мультипликативное искажение, характеризуемое модулями $|h_1|$ и $|h_2|$ и фазами θ_1 или θ_2 : $h_1 = |h_1|e^{j\theta_1}$, $h_2 = |h_2|e^{j\theta_2}$. Шум добавляется каждым приемником в виде комплексных отсчетов n_1 и n_2 , образуя матрицу отсчетов N .

Принятые сигналы можно записать в виде

$$\begin{cases} y_1 = h_1x + n_1, \\ y_2 = h_2x + n_2, \end{cases} \Rightarrow \Rightarrow \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \Rightarrow Y = Hx + N.$$

Восстановленное значение переданного символа \tilde{x} определяется по формуле

$$\tilde{x} = \frac{h_1^H y_1 + h_2^H y_2 - h_1^H n_1 - h_2^H n_2}{h_1^H h_1 + h_2^H h_2}.$$

После этого значение \tilde{x} подается на детектор максимального правдоподобия, в котором на основе евклидова расстояния между \tilde{x} и множеством возможных для передачи сигналов определяется наиболее правдоподобный переданный сигнал. Упрощенное правило решения основано на выборе x_i , если и только если соблюдается условие

$$dist(\tilde{x}, x_i) \leq dist(\tilde{x}, x_j), \text{ при } i \neq j,$$

где $dist(A, B)$ – евклидово расстояние между сигналами A и B ; j охватывает все возможные передаваемые сигналы.

Вероятно, переданным сигналом является сигнал, имеющий минимальное евклидово расстояние от сигнала \tilde{x} .

Предположим, что передается число символов k за l моментов времени. Следовательно, скорость пространственно-временного кода определяется как $R = k/l$. В данном случае передаются сигналы x_1, x_2, \dots, x_k в моменты времени l_1, l_2, \dots, l_k . Получим, что $k = l$, из этого $R = 1$, т. е. за один момент времени восстанавливается один переданный символ.

Метод Alamouti 2×1

Простейшая форма пространственно-временного блочного кода была предложена Аламоути [4, 9, 10]. Она представляет собой систему, основанную на двух передатчиках и одном приемнике (система 2×1) (рис. 2). Матрица передачи определена как

$$G_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix}, \text{ являясь обобщенной}$$

ортогональной формой. Процесс кодирования и передачи происходит в соответствии с таблицей.

Временной слот	Антенна 1	Антенна 2
1	x_1	x_2
2	$-x_2^*$	x_1^*

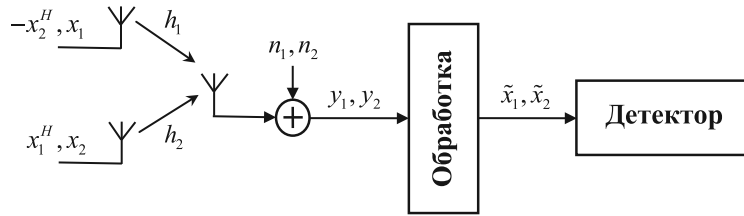


Рис. 2. Система прямо-передающего тракта 2×1 , $R = 1$

Значения коэффициентов h_1 и h_2 предполагаются быть постоянными в течение двух последовательных временных слотов.

Принятые сигналы можно записать в виде

$$\begin{cases} y_1 = h_1 x_1 + h_2 x_2 + n_1, \\ y_2 = -h_1 x_2^H + h_2 x_1^H + n_2, \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^H & -h_1^H \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}.$$

Восстановленные значения переданных символов \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 :

$$\tilde{x}_1 = \frac{h_1^H y_1 + h_2 y_2^H - h_1^H n_1 - h_2 n_2^H}{h_1^H h_1 + h_2^H h_2},$$

$$\tilde{x}_2 = \frac{h_2^H y_1 - h_1 y_2^H - h_2^H n_1 + h_1 n_2^H}{h_1^H h_1 + h_2^H h_2}.$$

Затем значения \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 подаются на детектор максимального правдоподобия.

Получим, что в соответствии со схемой, используемой в данном методе, $k = l$, следовательно, скорость пространственно-временного кода (метод *Alamouti* 2×1) составит $R = 1$.

Метод *Alamouti* 2×2

В этом методе предполагается, что кодирование и декодирование осуществляются пространственно-временным кодом

$G_{2 \times 2}$ [9, 10, 11] с использованием двух передатчиков и приемников (система 2×2) (рис. 3).

Принятые сигналы:

$$\begin{cases} y_{11} = h_{11} x_1 + h_{12} x_2 + n_{11}, \\ y_{12} = -h_{11} x_2^H + h_{12} x_1^H + n_{12}, \\ y_{21} = h_{21} x_1 + h_{22} x_2 + n_{21}, \\ y_{22} = -h_{21} x_2^H + h_{22} x_1^H + n_{22}, \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{12}^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{12}^H & -h_{11}^H \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} \\ n_{12} \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} y_{21} \\ y_{22}^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{21} & h_{22} \\ h_{22}^H & -h_{21}^H \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{21} \\ n_{22} \end{bmatrix}$$

Восстановленные значения переданных символов \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 :

$$\tilde{x}_1 = \left(h_{11}^H y_{11} + h_{12} y_{12}^H + h_{21}^H y_{21} + h_{22} y_{22}^H - h_{11}^H n_{11} - h_{12} n_{12}^H - h_{21}^H n_{21} - h_{22} n_{22}^H \right) \times \left(h_{11}^H h_{11} + h_{12}^H h_{12} + h_{21}^H h_{21} + h_{22}^H h_{22} \right)^{-1};$$

$$\tilde{x}_2 = \left(h_{12}^H y_{11} - h_{11} y_{12}^H + h_{22}^H y_{21} - h_{21} y_{22}^H - h_{12}^H n_{11} + h_{11} n_{12}^H - h_{22}^H n_{21} + h_{21} n_{22}^H \right) \times \left(h_{11}^H h_{11} + h_{12}^H h_{12} + h_{21}^H h_{21} + h_{22}^H h_{22} \right)^{-1}.$$

Скорость пространственно-временного кода (*Alamouti* 2×2) составляет $R = 1$.

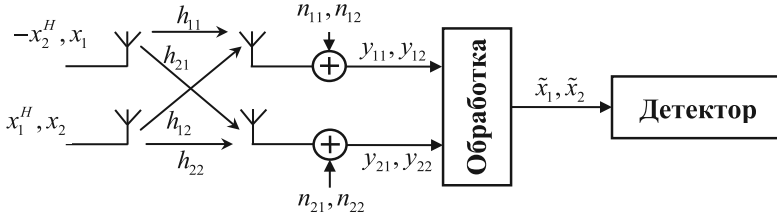


Рис. 3. Система приемо-передающего тракта 2×2 , $R = 1$

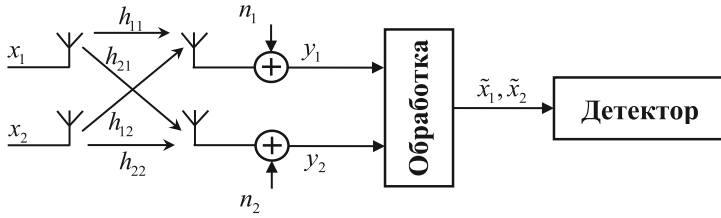


Рис. 4. Система приемо-передающего тракта 2×2 , $R = 2$

Метод Zero forcing (ZF)

Рассмотрим метод ZF для системы 2×2 (рис. 4) [5]. Для восстановления переданных символов x_1 и x_2 необходимо найти матрицу W , которая удовлетворяет условию $WH = I$ (I – единичная матрица размером 2×2). Матрица W называется псевдоинверсной матрицей для матрицы размером 2×2 и определяется по формуле $W = (H^H H)^{-1} H^H$.

Принимаемые первой и второй антеннами сигналы:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \Rightarrow Y = HX + N.$$

Восстановленные значения переданных символов \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 :

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}.$$

Скорость кода (ZF) $R = 2$, т. е. за один момент времени восстанавливается два переданных символа. При этом скорость передачи данных соответственно возрастает

в два раза, что является существенным, но сделать вывод об эффективности метода можно будет только после рассмотрения результатов моделирования.

Метод Zero Forcing with Successive Interference Cancellation (ZF-SIC)

В основе данного метода [5, 11] лежит метод ZF. Используя метод ZF и рассматриваемую для него систему передачи (см. рис. 4), описанные выше, восстановим один переданный символ (например \tilde{x}_2) и вычтем его влияние из принятых в каждом канале сигналов y_1 и y_2 :

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 - h_{12} \cdot \tilde{x}_2 \\ y_2 - h_{22} \cdot \tilde{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} \cdot x_1 + n_1 \\ h_{21} \cdot x_1 + n_2 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{21} \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \Rightarrow R = H_1 x_1 + N.$$

Восстановленное значение переданного символа $\tilde{x}_1 = \frac{H_1^H R}{H_1^H H_1}$.

Скорость кода (ZF-SIC) также составляет величину $R = 2$.

Скорость кода (ZF-SIC) также составляет величину $R = 2$.

Оптимизированный метод ZF-SIC

В классическом методе *SIC* приемник произвольно выбирает один информационный символ для восстановления и вычитает влияние остальных символов из полученного сигнала. Оптимизация метода *ZF-SIC* [5, 10] заключается в том, что для восстановления выбирается сигнал с более высокой мощностью. Полученная мощность в обеих антеннах, соответствующая переданным символам x_1 и x_2 :

$$P_{x_1} = |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2, \quad P_{x_2} = |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2.$$

Если $P_{x_1} > P_{x_2}$, то приемник принимает решение вычесть влияние \tilde{x}_1 из полученных векторов y_1 и y_2 и тем самым восстановить \tilde{x}_2 :

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 - h_{11} \cdot \tilde{x}_1 \\ y_2 - h_{21} \cdot \tilde{x}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{12} \cdot x_2 + n_1 \\ h_{22} \cdot x_2 + n_2 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{12} \\ h_{22} \end{bmatrix} \cdot x_2 + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = H_2 x_2 + N.$$

Переоцененный сигнал: $\tilde{x}_2 = \frac{H_2^H R}{H_2^H H_2}.$

Если $P_{x_1} \leq P_{x_2}$, то приемник принимает решение вычесть влияние \tilde{x}_2 из полученных векторов y_1 и y_2 и тем самым восстановить \tilde{x}_1 :

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 - h_{12} \cdot \tilde{x}_2 \\ y_2 - h_{22} \cdot \tilde{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} \cdot x_1 + n_1 \\ h_{21} \cdot x_1 + n_2 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{21} \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \Rightarrow R = H_1 x_1 + N.$$

Переоцененный сигнал: $\tilde{x}_1 = \frac{H_1^H R}{H_1^H H_1}.$

Скорость кода (*ZF-SIC optim*) $R = 2.$

Метод минимума среднего квадрата ошибки (MMSE)

Метод [11, 12] обеспечивает восстановление переданных символов за счет обеспечения минимума среднеквадратичного функционала ошибки $J_{MMSE} = \left\{ \left| \tilde{X} - X \right|^2 \right\}$ и реализуется путем нахождения коэффициентов матрицы V .

Решение методом *MMSE*:

$$V = \left[H^H H + \alpha I_{N_t \times N_t} \right]^{-1} H^H,$$

где α – действительный параметр регуляции, равный $\alpha = Nt \frac{\sigma_n^2}{P} = \frac{Nt}{SNR}$; Nt – количество потоков информации на передаче (количество передающих антенн); σ_n^2 – дисперсия шума; P – средняя мощность; $SNR = \frac{P}{\sigma_n^2}$ – отношение средней мощности к дисперсии шума.

Метод *MMSE* отличается от метода *ZF* только слагаемым $\alpha I_{N_t \times N_t}$. Когда плотность шума равна нулю, метод *MMSE* сводится к методу *ZF*.

Восстановленные значения переданных символов \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 :

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} = \left[H^H H + \alpha I_{N_t \times N_t} \right]^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}.$$

Скорость кода (*MMSE*) $R = 2.$

Метод V-Blast

Существуют модификации *D-Blast* и *V-Blast*. *D-Blast* позволяет получать более высокие скорости передачи информации, но его труднее реализовать. Так как потери в скорости при переходе от *D-Blast* к менее сложному методу *V-Blast* невелики, то предпочтение отдается второму.

В методе *V-Blast* [11, 12] на каждой итерации выполняются два шага:

1. Восстановление переданных символов x_1 и x_2 с использованием метода *MMSE* или *ZF*.

2. Вычитание влияния того восстановленного символа (\tilde{x}_1 или \tilde{x}_2) из полученных векторов y_1 и y_2 , у которого выше мощность, и затем переоценка второго принятого символа (\tilde{x}_2 или \tilde{x}_1). Второй шаг, по сути, является оптимизированным методом *ZF-SIC*.

Скорость кода (*V-Blast*) $R = 2$.

Моделирование

Моделирование было выполнено в пакете программ *MATLAB* и для однозначности восприятия разделено на два этапа. На первом этапе использовались

методы *SISO* (общепринятая система 1×1), *MRC* (1×2 , 1×4) и *Alamouti* (2×1 , 4×1 , 2×2) (рис. 5), на втором – *SISO*, *ZF*, *MMSE*, *ZF-SIC*, *ZF-SIC optim* и *V-Blast* (2×2) (рис. 6). Результаты моделирования представляют собой зависимость вероятности ошибки принятых символов от отношения сигнал/шум в системе (*SNR*) и приводятся для модуляции *BPSK* и скорости кодирования $R = 2$. Эффективность рассматриваемых методов определяется исходя из величины их помехоустойчивости. В каждом случае применялся рэлеевский канал замираний. Для всех значений *SNR* использовалось 10^6 независимых равновероятных информацион-

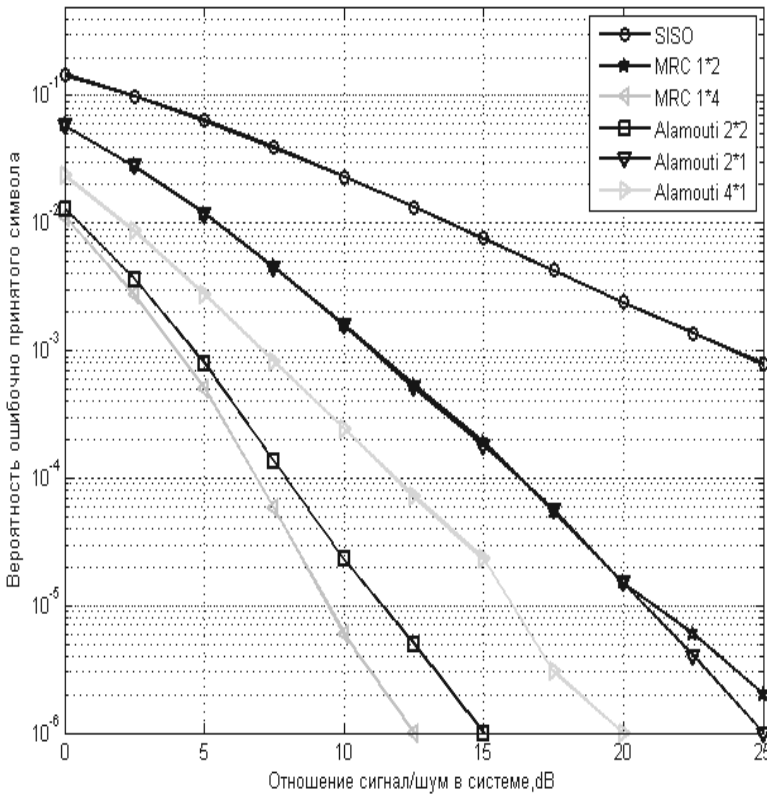


Рис. 5. Зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум для методов кодирования *SISO*, *MRC* и *Alamouti* с разным числом антенн

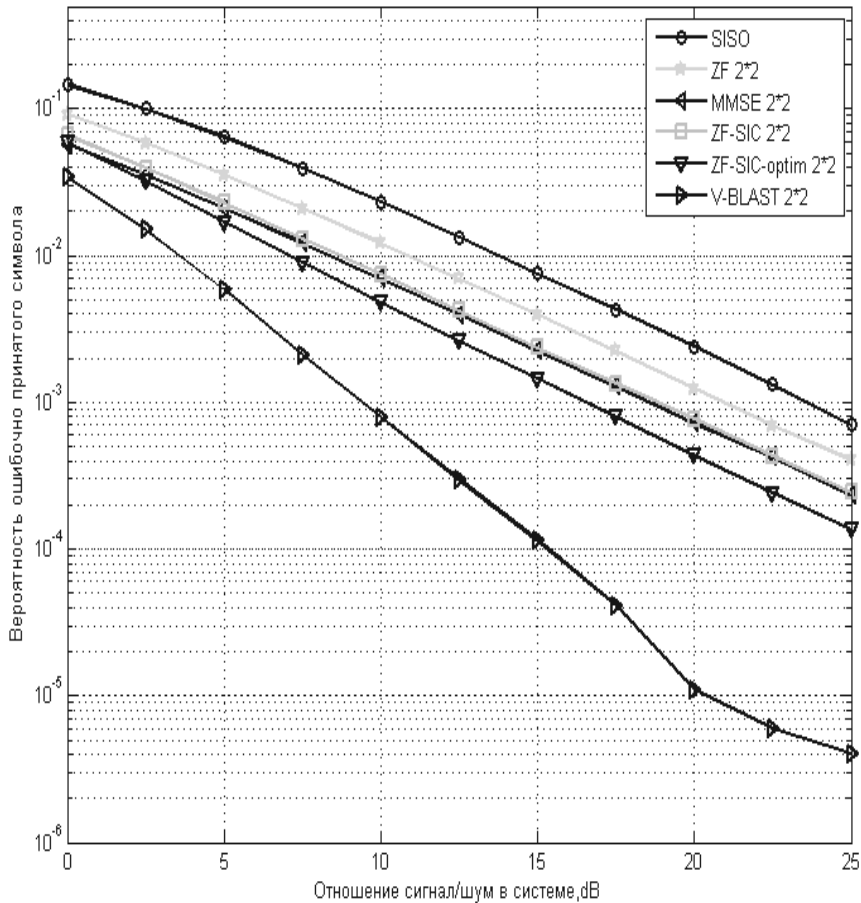


Рис. 6. Зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум для методов кодирования *SISO*, *ZF*, *MMSE*, *ZF-SIC*, *ZF-SIC optim* и *V-Blast*

ных символов, пропущенных через канал связи, в каждом из перечисленных выше методов.

Из результатов моделирования на первом этапе следует:

1. Эффективность рассмотренных методов значительно превосходит эффективность *SISO*, что является, несомненно, положительным моментом. Этому способствует увеличение количества пространственных каналов, определенным образом используемых тем или иным методом.

В дальнейших исследованиях целесообразно поставить вопрос об эффективности использования данных каналов.

2. Помехоустойчивости методов *MRC 1×2* и *Alamouti 2×1* являются сравнимыми благодаря количественному равенству используемых пространственных каналов и эффективности их использования. Однако при рассмотрении кривых для методов *MRC 1×4* и *Alamouti 2×2* видно, что первый более эффективен примерно на 2 дБ при вероятности ошибки 10⁻⁶.

3. Эффективность *Alamouti* 4×1 по причине несовершенности применяемых обобщенных вещественных форм отстает от количественного эквивалента *MRC* 1×4 и *Alamouti* 2×2 .

Из результатов моделирования на втором этапе следует:

1. Метод *MMSE* превосходит метод *ZF* в среднем на 2,5 дБ благодаря введению параметра регуляции $\alpha I_{N_t \times N_t}$, что демонстрирует эффективность его применения и возможность усовершенствования.

2. Эффективности методов *MMSE* и *ZF-SIC* оказались сравнимыми, но достигаются различными принципами, заложенными в данных методах. В то же время *ZF-SIC optim* за счет применяемого адаптивного механизма восстановления сигналов с учетом их «мощности» уступает упомянутым методам примерно на 2,5 дБ.

3. Наиболее эффективным методом, исходя из результатов исследований на втором этапе, является метод *V-Blast*, так как он совмещает в себе принципы методов *MMSE* и *ZF-SIC optim*.

Выводы

1. Каждый из рассмотренных методов передачи информации характеризуется своими показателями эффективности, в том числе мерой использования пространственных каналов, которые зависят индивидуально от применяемых принципов кодирования (методов и алгоритмов).

2. Сравнение полученных результатов моделирования показало, что наиболее эффективными методами являются *MRC* (1×4), *Alamouti* (2×2 , 4×1), а также *V-Blast* (2×2), принципы которых и должны стать предметом дальнейшего детального рассмотрения и усовершенствования. Необходимо отметить, что количество простран-

ственных каналов у выделенных методов сравнимо и равно 4.

3. Эффективность *MIMO*-систем повышается с ростом числа передающих и приемных антенн, а следовательно, с увеличением числа пространственных каналов. Для оптимального распределения мощности по различным пространственным каналам с параллельной передачей данных *SNR* в системе должно быть достаточно высоким. Пространственные размеры системы не должны быть слишком малы, иначе разнесение антенн и оптимальное распределение пространственных лучей станет невозможным.

4. В системах *MIMO* возможно использование одной и той же полосы радиочастот одновременно несколькими пространственными каналами системы, что актуально как для наземных, так и для спутниковых станций служб радиосвязи в силу дефицита наземного и частотно-орбитального ресурса, который в соответствии с Уставом Международного союза электросвязи является «ограниченным естественным ресурсом, который надлежит использовать рационально, эффективно и экономно...» [13]. В свою очередь, применение систем *MIMO* и станет одним из основных методов повышения эффективности использования наземного и частотно-орбитального радиочастотного ресурса.

5. После выбора наиболее оптимальных алгоритмов для систем *MIMO* возможна их реализация в виде специализированных КМОП БИС, предназначенных для работы в составе микросистемных устройств наземных и космических аппаратов, что позволит использовать системы *MIMO* в военно-космической и других специальных отраслях [14].

Направления

дальнейших исследований

1. Дополнить проведенные исследования результатами эффективности

использования пространственно-временных решетчатых кодов (*STTC*), линейных дисперсных кодов (*LD*), многократных турбо-кодов (*MTC*), методов оценки канальной матрицы и других, применяющихся в системах *MIMO*, путем проведения моделирования в пакете программ *MATLAB*.

2. На основании проведенных и обобщенных исследований предложить оптимальный метод кодирования для систем *MIMO*, позволяющий добиться повышения спектральной эффективности и достоверности передачи данных.

Цитированная литература

1. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Иностранная литература, 1963. – 830 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. –2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2007. – 1104 с.
3. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / Пер. с англ. Н.Л. Бирюкова, Н.Р. Триски; под ред. В.А. Березовского. – М.: Техносфера, 2011. – 903 с.
4. Alamouti S.M. Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1998. – Vol. 16. – P. 1451–1458.
5. Karen Su Efficient maximum likelihood detection for communication over multiple input multiple output channels. Cambridge University Engineering Department, University of Cambridge, February 2005.
6. Moray Rumney Введение в LTE-Advanced / Беспроводные технологии. – 2011. – № 5. – С. 80–84.
7. Крупнов А.Е. От 2 G до 5 G / Электросвязь. – 2014. – № 3. – С. 4–5.
8. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
9. Шлома А.М., Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б. и др. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи / Под ред. проф. А.М. Шломы. – М.: Горячая линия; Телеком, 2008. – 344 с.
10. Tarokh V., Jafarkhani H., Calderbank A. Space-time block codes from orthogonal designs // IEEE Transaction on Information Theory. – 1999. – Vol. 45. – P. 1456–1467.
11. Clerckx B., Oestges C. MIMO Wireless Networks, 2nd Edition, Academic Press (Elsevier), Oxford, UK, Jan 2013.
12. Paylraj A., Nabar R., Gore D. Introduction to Space-Time Wireless Communications // Cambridge University Press, 2003.
13. Устав Международного союза электросвязи от 22 декабря 1992 года в текущей редакции.
14. Аджемов А.С., Мишенков С.Н., Смирнов Н.И. и др. О необходимости использования авиационно-космической системы для многофункциональной навигационно-информационной обслуживаемой системы ГЛОНАС // Электросвязь. – 2015. – № 1. – С. 7–10.

УДК 621.38

А.Л. Макаревич, канд. техн. наук, доц.*С.М. Соковнич*, канд. физ.-мат. наук, доц.*М.С. Токарь*, аспирант

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В МИКРОСХЕМАХ НА КМОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Перечислены возможности SPICE-моделирования радиационных эффектов в микросхемах на КМОП-транзисторах и показано, что полученные результаты хорошо совпадают с данными испытаний микросхем с проектными нормами в единицы микрон на экспериментальных установках. Основное направление исследований – прогнозирование реакции микросхем на воздействие импульсного гамма-излучения и одиночных ядерных частиц, которые имеют общий физический механизм, определяющийся реакцией взаимодействия паразитных биполярных структур в подложках микросхем.

SPICE-моделирование является стандартной процедурой при разработке цифровых и аналоговых устройств, а сам пакет встраивается в системы сквозного проектирования аппаратуры OrCAD, Altium, Cadence и др. Начиная с версий 90-х годов, пакет SPICE предлагает возможность моделирования эффектов, связанных с воздействием ионизирующих излучений [1, 2, 3]. Однако использование программы SPICE для моделирования радиационных эффектов, с нашей точки зрения, на сегодняшний день не находит достаточного количества сторонников. Вероятно, это обусловлено отсутствием информации для корректной настройки моделей рабочих транзисторов и особенно паразитных структур: биполярных транзисторов, тиристорных структур, емкостей линий связи между логическими элементами, а также сопротивлений шин разводки «питания» и «земли».

Суть метода моделирования заключается в дополнении реальной электрической схемы на КМОП транзисторах элементами, учитывающими реакцию на воздействие импульсного гамма-излучения: обратно-смещенными стоковыми p - n -переходами, паразитными биполярны-

ми транзисторами, а также сопротивлениями шин разводки «питания» и «земли» [1].

Накопленный на данный момент обширный экспериментальный материал по исследованиям воздействия импульсного гамма-излучения на моделирующих установках и возможность моделирования в программе SPICE как работы самих логических элементов, так и генерации первичных и вторичных фототоков в структурах микросхем позволяют получить результаты моделирования, хорошо согласующиеся с многократно проверенными экспериментальными данными.

Нами была использована стандартная модель программы (Level = 3 и Level = 4) с параметрами, настроенными на известный технологический процесс изготовления КМОП БИС с двумя уровнями металлизации (БМК серии «М» или 1537). Геометрические размеры рабочих транзисторов и паразитных структур, определяющих генерацию фототоков и реакцию исследуемых фрагментов на воздействие импульсного ионизирующего излучения (ИИ), взяты из конструкторско-технологической документации реально разработанных микросхем, которые прошли ис-

питания на установках, моделирующих воздействие «фактора И2». Исследована реакция таких логических элементов, как инвертор, двунаправленный ключ и D-триггер типа «защелка».

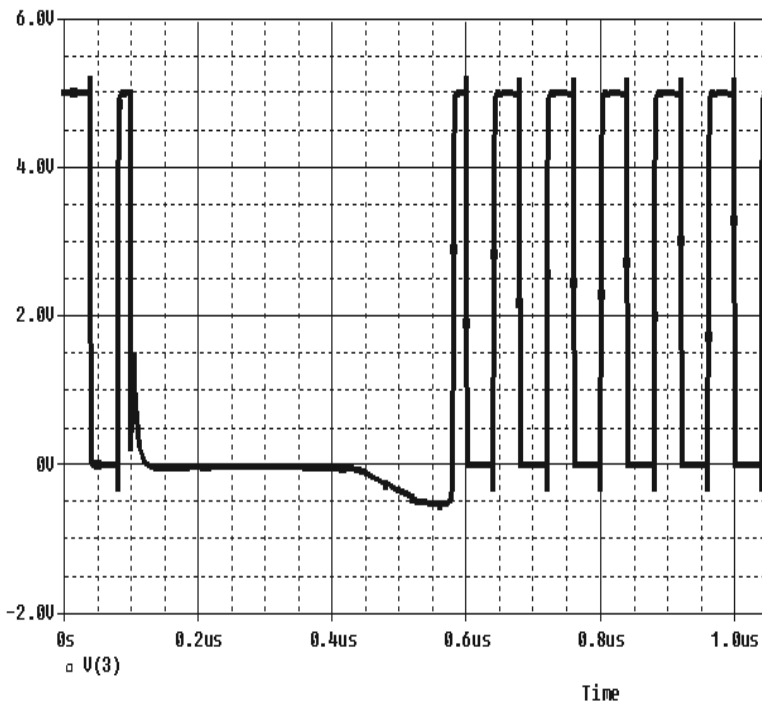
Были получены следующие результаты:

1. До включения паразитных биполярных транзисторов реакция на воздействие определяется первичными фототоками переходов карман–подложка (линейная модель) [4]. Такая реакция наблюдалась на практике при мощностях дозы порядка 10^7 – 10^8 Р/с.

2. Включение биполярных транзисторов сопровождается генерацией вторичных фототоков, и, как следствие, наблюдается существенное отклонение от линейного закона в зависимости реакции тока потребления от мощности дозы. При этом на реакции выходного напряжения

высокого уровня появляется характерная ступенька (см. рисунок). На практике это наблюдалось при мощностях дозы вплоть до 10^{10} Р/с. Для оценки усилительных свойств паразитных биполярных транзисторов были использованы конструктивно-технологические ограничения на проектирование КМОП БИС на основе БМК серии «М».

3. Насыщение в зависимости тока потребления от мощности дозы обусловлено падением напряжения («просадкой») [4, 5] на шинах разводки «питания» и «земли». На практике такое обычно наблюдалось при мощностях дозы 10^8 – 10^{10} Р/с, в зависимости от топологического исполнения БИС. Причем наибольшая чувствительность к воздействию импульсного ИИ проявлялась у БИС с «регулярными структурами»: память, БМК, цифровые линии задержки.



Потеря работоспособности инвертора после воздействия импульсного ИИ ($P_\gamma = 10^9$ Р/с)

4. Взаимодействие паразитных элементарных биполярных транзисторов приводит к наступлению эффекта «защелкивания» (тиристорного эффекта) в структурах микросхем [6]. Уровень воздействия, вызывающего защелкивание, составляет 10^9 – 10^{11} Р/с и сильно зависит от конструктивно-технологического и топологического исполнения микросхем.

Несмотря на хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментальными данными, SPICE-моделирование требует от пользователя определенной подготовки как в области понимания физических процессов, происходящих в структурах микросхем, так и при применении предлагаемых в программе средств имитации воздействия при построении эквивалентных схем. Наличие паразитных элементов в структурах и возможность их взаимодействия через общую подложку в монолитных (bulk) КМОП БИС создают существенные проблемы при использовании и настройке соответствующих моделей. Очевидно, что SPICE-моделирование не способно заменить испытаний микросхем на моделирующих установках, но на этапе их разработки может быть полезным и при выборе схемотехнического решения, и при проектировании топологии.

Предлагаемая модель и эквивалентная схема могут быть использованы для оценки эффективности воздействия одиночных ядерных частиц. Это обусловлено тем, что доминирующим физическим эффектом в случае наступления сбоев и защелкивания является генерация вторичных фототоков в структурах микросхем, в результате которой и может наступать защелкивание. Сам процесс воздействия частиц носит случайный характер как во времени, так и в пространстве. Простота получения результатов моделирования в отличие от экспериментов может позволить даже оценивать влияние различных законов распределения этих случайных процессов и

выбирать методы помехоустойчивого кодирования при обращениях к памяти [7].

В системе SPICE при разработке цифровых и аналоговых устройств используются модели простейших элементов (диодов, транзисторов и т. д.), полученные на основе приближенных решений уравнений электродинамики для таких систем. Для того чтобы модель как можно точнее воспроизводила работу реального элемента, вводится большое число различных поправочных коэффициентов.

Прямое численное решение системы дифференциальных уравнений электродинамики с различного рода граничными условиями сопряжено с большими трудностями. Во-первых, приходится решать трехмерные уравнения, а значит, если использовать наиболее распространенные для таких систем разностные, сеточные методы, то и сетки должны быть трехмерными. Во-вторых, число ячеек в трехмерном случае (при этом следует использовать очень мелкие сетки ввиду того, что в небольших объемах полупроводника протекают разнообразные процессы, плотность тока и заряда различна в разных точках) должно быть очень большим. В-третьих, из-за быстрого протекания процессов в исследуемых устройствах временной шаг также должен быть достаточно мал. И, наконец, в-четвертых, уравнения, описывающие процессы в полупроводниковых устройствах, являются нестационарными. В работе устройства возможны большие градиенты физических величин.

Все перечисленное накладывает серьезные ограничения на используемые численные методы. Но в настоящее время разработаны методы численного интегрирования трехмерных уравнений электродинамики, дающие достаточно хорошее согласование с экспериментальными данными.

По причине первых трех из перечисленных трудностей время расчета стано-

вится неоправданно большим. Так было до сих пор, несмотря на увеличение быстродействия современных компьютеров. Например, для решения одного из основных уравнений электродинамики – уравнения Пуассона, трехмерного уравнения в частных производных второго порядка, по самым скромным подсчетам нужна сетка $500 \times 500 \times 500$, т. е. на каждом временном шаге необходимо решать соответствующие разностные уравнения и определять потенциал в 125 млн ячеек. Для более детального исследования требуются еще более мелкие сетки.

В последние десять лет бурно разрабатываются прикладные методы, связанные с распараллеливанием программ на графических процессорах (англ. Graphics Processing Unit, GPU). Дело в том, что при разработке видеокарт (что, по сути, и есть GPU) для компьютерных игр основная задача заключается в повышении их быстродействия. Компьютерные игры, особенно их графика, становятся все сложнее, поэтому в современных видеокартах большое число процессорных ядер с архитектурой RISK, что позволяет распараллеливать графические вычисления. Оказалось, что такие GPU очень выгодны и для научных расчетов. Так, на современных суперкомпьютерах большая часть расчетов проводится на GPU. Появились специальные технологии для программирования на GPU. Одной из наиболее используемых является технология CUDA [8].

Применение технологии CUDA позволяет существенно дополнить технологии распараллеливания на GPU. Повышение производительности графических процессоров привело к тому, что сегодня количество ядер, например в технологии Kepler фирмы NVIDIA, достигает 3 тыс. На этих ядрах можно использовать несколько тысяч параллельных нитей. Использование GPU дает возможность разрабатывать новые алгоритмы

для проведения сложных математических расчетов. Алгоритмы, которые разрабатываются для графических процессоров, требуют специального подхода. Это связано с тем, что моделирование сложных динамических процессов предъявляет повышенные требования к применяемым разностным схемам. Такие схемы должны максимально точно воспроизводить поведение среды в областях разрывов, резких скачков функций, для чего необходимы схемы высокого разрешения. В тех областях, где функции ведут себя достаточно гладко, применяются более экономичные разностные схемы.

В работе [9] представлены результаты применения параллельных вычислений на графических процессорах при решении задачи переноса носителей заряда в полупроводниковых приборах с учетом радиационного воздействия. На примере решения тестовой задачи показана эффективность рассмотренных алгоритмов. Указана возможность использования параллельных вычислений для количественной оценки радиационных эффектов в КМОП СБИС, что представляет, на наш взгляд, особый интерес, поскольку позволяют оценить многомерные связи между множеством паразитных элементов через общую подложку.

Нами была написана программа на языке «Фортран» с использованием технологии CUDA 6.5 для исследования паразитных биполярных транзисторов. Результаты расчетов качественно совпадают с результатами SPICE-моделирования. К сожалению, ввиду слабой компьютерной базы пришлось использовать очень грубые сетки, поэтому в некоторых расчетах наблюдались большие отклонения от модельных. В дальнейшем планируется улучшить используемые методы и создать программу, позволяющую и количественно оценивать эффекты радиационного воздействия на микросхемы.

Цитированная литература

1. <http://holbert.faculty.asu.edu/eee560/PSpiceRadEffectsModel.pdf>
2. **Никифоров А.Ю., Телец В.А., Чумаков А.И.** Радиационные эффекты в КМОП ИС. – М.: Радио и связь, 1994. – 164 с.
3. **Чумаков А.И.** Действие космической радиации на интегральные схемы. – М.: Радио и связь, 2004. – 320 с.
4. **Чумаков А.И.** Моделирование эффекта «просадки» питания в ИС при воздействии импульса ионизирующего излучения // Микроэлектроника. – 2006. – Т. 35, № 3. – С. 184–190.
5. **Massengil T.L., Diehl S.E.** Transient Radiation Upset Simulation of CMOS Memory Circuits // IEEE trans. on Nuclear Science. – 1984. – Vol. 31, № 6. – P. 1337–1343.
6. **Lou L., Liou J.J.** An Improved Compact Model of Silicon-Controlled Rectifier (SCR) for Electrostatic Discharge Application // IEEE trans. on El. Dev. – 2008. – Vol. 55, № 12. – P. 3517–3524
7. **Краснюк А.А., Петров К.А.** Особенности применения помехоустойчивого кодирования в суб-100 нм микросхемах памяти для космических систем // Микроэлектроника. – 2012. – Т. 41, № 6. – С. 450–456.
8. NVIDIA CUDA. Programming Guide. <http://developer.nvidia.com/cuda-toolkit-40>.
9. Параллельные вычисления в задачах физико-топологического моделирования физических процессов в перспективных полупроводниковых приборах с учетом радиационного воздействия // В.К. Киселев, С.В. Оболенский, А.С. Пузанов, А.В. Скупов // Журнал радиоэлектроники. – 2014. – № 2.

УДК 372.851

Е.Г. Шинкаренко, канд. пед. наук, доц.*Г.Х. Гайдаржи*, канд. пед. наук, проф.**ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ –
ОСНОВА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ**

Рассматривается организация процесса обучения математике в школе в соответствии с государственными стандартами образования и Концепцией математического образования ПМР. Отмечается, что одним из приемов достижения цели обучения является выполнение заданий исследовательского характера.

Современная Концепция математического образования Приднестровья ставит задачу развития личностных качеств школьника. Однако срезы знаний, осуществляемые на разных уровнях контроля, говорят о том, что обучение еще недостаточно ориентировано на решение этой задачи. Причин несколько. Основными можно назвать следующие: в современных учебных планах на математику вы-

деляется недостаточное количество часов; педагогам мало знакома сама методика обучения решению исследовательских заданий; формирование исследовательских умений явно не предусмотрено школьной программой.

Анализ многих учебников по математике показал, что задания на развитие исследовательских способностей практически отсутствуют в системе упражнений.

Поэтому необходимо изменять соотношение алгоритмически решаемых заданий и заданий, требующих исследований учащихся, в пользу вторых.

Такие задачи сначала можно позаимствовать из учебника под редакцией Г.В. Дорофеева и И.Ф. Шарыгина [1], в котором задания сформулированы так, что ученик вынужден самостоятельно искать направление действия, т. е. они дают толчок к поиску необходимых действий для «открытия» закономерности и обобщения результатов.

Не менее ценна работа А.А. Окунева [2], где даны методические рекомендации по построению «урока одной задачи».

Среди учебных заданий исследовательского плана особое место должны занимать параметрические задачи. Ознакомление с ними можно начинать в 5 классе, а после обучения решению уравнений и неравенств их долю нужно увеличить.

Приведем примеры таких заданий:

Задание 1. Докажите, что $(3n + 1)^2 - (2n - 1)^2$ делится на 5 при любом натуральном значении n .

Задание 2. При каких положительных значениях параметра a уравнение $4ax^2 - 4x + a = 0$ не имеет решений?

В исследованиях многих методистов ощущается тревога по поводу заметного снижения качества геометрических знаний, хотя именно задачи по геометрии почти сплошь исследовательские. Для подбора проблемных заданий более высокого уровня, чем в базовом учебнике, можно рекомендовать учебник по геометрии под редакцией Л.С. Атанасяна [3]. Чтобы создать на уроке атмосферу исследования, помимо весьма полезных задач из указанного учебника нужны и задания, провоцирующие ученика на допуск неправильных действий, например:

Задание 3. Найдите периметр треугольника со сторонами $2/3$, $2/7$ и $22/23$.

Задание 4. Вычислите площадь треугольника со сторонами 15, 9, 6.

Задание 5. Определите скорость моторной лодки при движении в стоячей воде и по реке.

На наш взгляд, на занятиях по математике должна быть задействована важнейшая составляющая развития мышления – организация поисково-исследовательской деятельности самих учеников. С этой целью можно рекомендовать решение «открытых задач» и исследование их «окрестностей». В ходе такой работы формируются важные умения: ставить цель; анализировать ситуации задач; выдвигать гипотезы; планировать ход исследования; проверять правильность своих действий; прогнозировать дальнейшее применение полученных знаний.

Для обучения школьников указанным умениям используются следующие типы заданий:

I. Задания, формирующие умение ставить цель предстоящей поисковой деятельности:

Задание 6. Существует ли треугольник, стороны которого соответственно параллельны и равны медианам заданного треугольника?

Задание 7. Можно ли выразить величину любого угла с вершиной внутри окружности (или вне ее) через величины дуг этой же окружности?

II. Задания, формирующие умение анализировать описываемую ситуацию. В эту группу заданий желательно включать задачи с противоречивыми данными или с неопределенными условиями, усложненные задачи на построение фигур.

III. Задания, ориентированные на формирование умения выдвигать правдоподобные предположения. Выдвигать правдоподобные гипотезы позволяет точность построений. Доказанные гипотезы вселяют уверенность и улучшают эмоциональный настрой учащихся.

Задание 8. Дан прямоугольный $\triangle ABC$ ($\angle C = 90^\circ$), а острый $\angle B = 30^\circ$. Точки O и

P являются центрами описанной и вписанной окружностей. Определите вид $\triangle POC$ и величину $\angle POC$.

Для формирования исследовательских умений рекомендуем задачи с требованием обобщения.

Задание 9. Постройте параллелограмм, равновеликий данному треугольнику. Обоснуйте свой ответ.

Задание 10. Определите виды треугольников, у которых центр описанной окружности находится на одной из медиан.

Задание 11. Постройте несколько неравносторонних треугольников и проведите в них высоты, медианы и биссектрисы, исходящие из одной вершины. Попробуйте обосновать вывод о расположении биссектрисы между медианой и высотой.

Особую значимость приобретает проблема выявления задач, которые более всего способствуют формированию нужных умений. Практика доказала, что если все предложенные задания – проблемные, то и действия учащихся в процессе их решения аналогичны действиям исследователя, решающего научные проблемы. Только важно, чтобы учитель смог привлечь учащихся к постановке задачи и к активному участию в ее решении.

Развитие мышления многократно ускоряется и усиливается, если педагогу удастся научить школьника применению различных мыслительных приемов. Так, например, если ученик впервые слышит какое-то утверждение, учитель обязан напомнить ему о приеме соотнесения. Этот прием должен сопровождаться вопросами «Почему?», «На каком основании?», «Существует ли...?» и т. п.

В учебно-исследовательской деятельности широко используются приемы преобразования и сравнения (и конкретизации), которые создают основу саморазвития.

Для поддержания активности поисковых действий необходим прием стимулирования. По завершении учебных

действий учитель использует приемы анализа результатов и их обобщения (классификации), прием варьирования исходных и требуемых данных. Базой для преобразований служат ключевые задачи.

Задание 12. В прямоугольнике $ABCD$ (рис. 1) точки M и K – середины сторон AB и AD . В каком отношении отрезок MK делит диагональ AC ?

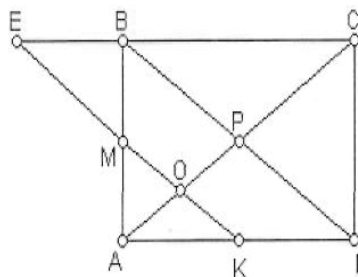


Рис. 1

Заменяя прямоугольник на параллелограмм и изменив данные о точках M и K , получаем новое задание.

Задание 13. В параллелограмме $ABCD$ (рис. 2) точки M и K делят смежные стороны в неодинаковом отношении: $AM = 1/3AB$; $AK = 1/4AD$. В каком отношении отрезок MK делит диагональ AC ?

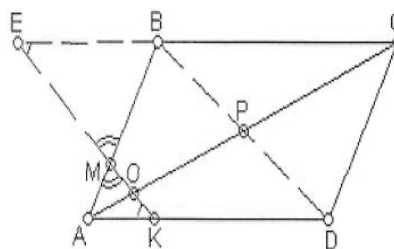


Рис. 2

В этом случае очевидно, что отрезок MK не параллелен BD , следовательно, прежний способ (использование параллельности MK и BD) непригоден. Ясно, что равенство $\triangle AMK$ и $\triangle MEB$ (см. рис. 1) надо заменить подобием (см. рис. 2).

Задание 14. В равнобедренной трапеции $ABCD$ (рис. 3) с верхним основанием, равным боковой стороне, и острым углом в 60° точка M делит боковую сторону AB в отношении $2 : 3$, а точка K делит AD в отношении $1 : 4$. В каком отношении отрезок MK делит диагональ AC трапеции $ABCD$?

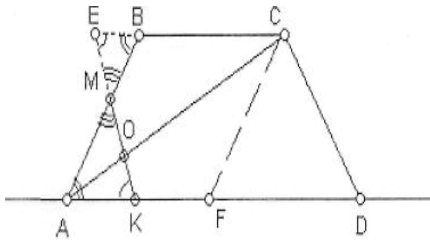


Рис. 3

Как видим, во всех трех случаях задачи решаются методом подобия. Но достаточно ли рассмотренных примеров, чтобы сделать вывод?

Как правило, у учащихся возникает соблазн принять данный метод подобия как общий метод решения цепочки задач. Поэтому на основе задания 14 учитель подводит учащихся к обобщенным способам действий, т. е. к учебно-исследовательской задаче 15.

Задание 15. Пусть в равнобедренной трапеции $ABCD$ (см. рис. 3) с верхним основанием, равным боковой стороне, и острым углом в 60° взяты точки M и K . Эти точки делят стороны трапеции так, что $AM = k_1 \cdot AB$, $AK = k_2 \cdot AD$ и $AO = k_3 \cdot AC$. Найдите общую формулу, выражающую зависимость k_3 от k_1 и k_2 .

Дальнейшее исследование цепочки задач можно выполнять рассматривая предельные положения M и K либо исследуя случаи расположения точек M и K на продолжении сторон. Можно изменять требование «в каком отношении отрезок MK делит площадь базовой фигуры (прямоугольника, параллелограмма, трапеции)» и т. п. Прием варьирования позволяет индивидуализировать задания.

Для пополнения системы учебных заданий проблемно-исследовательского характера и организации практической реализации идеи развивающего обучения на уроках математики можно воспользоваться некоторыми результатами наших многолетних исследований [4–8]. Часть из них проведена НИИ «Дидактика математики» в 2009–2014 годах.

В заключение заметим, что методика работы учителя с учащимися в процессе решения учебно-исследовательских математических задач имеет следующие особенности:

1. Отбор исследовательских задач в основном связан с использованием ключевых задач.
2. Система учебно-исследовательских заданий, объединенных общей идеей, позволяет дифференцировать группы учеников-исследователей.
3. Особое место среди методических приемов занимают прием усиления мотивации, прием оценки, прием стимулирования инициативы, прием контроля и оценки своей учебно-поисковой деятельности.
4. Накапливаемый опыт исследований формирует у школьников компетенции, используемые на уроках по другим предметам, т. е. способствует достижению метапредметных результатов.

Цитированная литература

1. Дорощев Г.В., Бунимович Е.А., Шарыгин И.Ф. и др. Математика. 6 класс: Учебник для общеобразовательных учебных заведений. – М.: Дрофа, 1999. – 416 с.
2. Окунев А.А. Спасибо, дети, за урок!: О развитии творческих способностей учащихся: Книга для учителя: из опыта работы. – М.: Просвещение, 1988. – 128 с.
3. Атанасян Л.С., Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б. и др. Геометрия: Учебник для 7–9 классов. – М.: Просвещение, 2000. – 335 с.

4. **Гайдаржи Г.Х., Русаков А.А., Шинкаренко Е.Г.** Дифференцированное обучение как средство его гуманизации: Материалы VIII Международного конгресса, 22–27 августа 2011 г. – Т. III. – М.: РУДН, 2012.

5. **Гайдаржи Г.Х.** Некоторые аспекты дополнительной профессиональной подготовки учителей математики: Материалы Международной научной конференции «67-е Герценовские чтения». – СПб.: Изд-во РГПУ, 2014.

6. **Шинкаренко Е.Г.** Развивающие задачи в обучении математике одаренных детей: Материалы международного научно-практического конгресса. – М.: Изд-во МГУ, 2006.

7. **Гайдаржи Г.Х., Шинкаренко Е.Г.** V Международная научно-методическая конференция // Математика в школе. – М., 2008. – № 6. – С. 78–79.

8. **Шинкаренко Е.Г.** К вопросу о формировании исследовательских умений у учащихся основной школы // Наука и школа. – 2008. – № 4. – С. 48–49.

УДК 541.13

В.М. Ишимов, канд. физ.-мат. наук, доц.

Ф.И. Карабаджак, канд. хим. наук, доц.

И.В. Демиденко, аспирант

А.В. Вербина, аспирантка

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Разработана технология электрохимического синтеза тонких пленок CdS из водных растворов электролитов на стеклянных подложках, покрытых проводящим слоем SnO₂. Полученные пленки CdS обладают хорошими адгезионными свойствами. Исследованы их оптические и фотоэлектрические свойства.

Введение

Соединения A^{II}B^{VI}, а также твердые растворы на их основе представляют научно-технологический интерес благодаря своим уникальным электрофизическим, фотоэлектрическим и оптическим свойствам. Они, в частности, находят применение в изготовлении акустоэлектрических приборов, оптоэлектронных устройств, солнечных ячеек, инфракрасных (ИК) датчиков, лазеров. Практическое применение данных полупроводниковых материалов в качестве фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии требует разработки новых методов получения их тонких слоев с широким диапазоном

электрофизических, оптических и фотоэлектрических свойств.

В настоящее время для получения тонких слоев соединений A^{II}B^{VI} многие исследователи используют методы химического и электрохимического их осаждения из водных растворов [1, 2]. Дальнейшее совершенствование и оптимизация таких методов изготовления пленок A^{II}B^{VI} остается весьма актуальной технологической задачей.

Соединение CdS на нынешнем этапе исследований рассматривается как компонент в структуре многих дешевых солнечных преобразователей. Кроме того, наноразмерные порошки CdS нашли применение в цитологических исследованиях

в качестве биологических меток [3]. Ведутся также работы по изучению каталитических свойств порошков данного соединения [4].

Целью настоящего исследования является разработка технологии электрохимического синтеза тонких пленок CdS на поверхности стеклянных подложек с проводящим слоем SnO₂.

1. Условия синтеза тонких пленок CdS

Синтез CdS проводился при температуре 70–90 °С. Данный процесс не требует дорогостоящего вакуумного оборудования и прост в исполнении. Длительность одного цикла осаждения ограничивалась в зависимости от необходимой толщины

пленки промежутком времени от 10 мин до нескольких часов. Для электропитания электролитической ванны использовался генератор прямоугольных импульсов, управляемый персональным компьютером (рис. 1).

Синтез CdS проводился на частоте следования импульсов $\nu = 1$ кГц. Необходимо было поддерживать pH электролита в области 2, поскольку его отклонение в щелочную сторону исключало возможность образования пленок CdS на поверхности катода. Используемая технология позволяла варьировать толщину осаждаемой пленки CdS путем многократного повторения процесса осаждения и выбора подходящей его длительности. Из фотографий поверхности пленок CdS (рис. 2) видно, что с увеличением длительности осаждения однородность слоя возрастает.



Рис. 1. Принципиальная схема установки

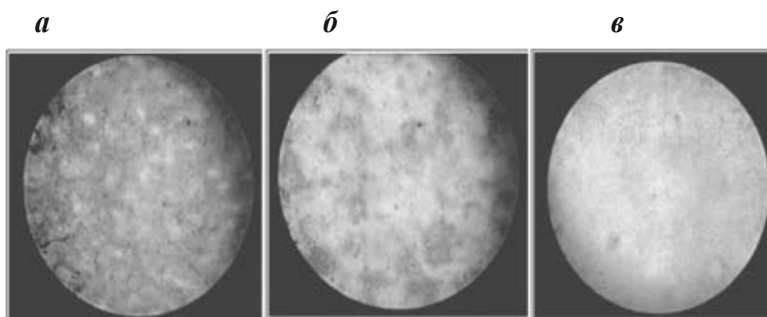


Рис. 2. Фотографии поверхности пленок CdS, полученных при длительности осаждения: а – 10 мин; б – 20 мин; в – 30 мин

2. Обсуждение результатов

Полученные электрохимическим методом пленки CdS обладают хорошими адгезионными свойствами. Они подвергались отжигу при атмосферном давлении на воздухе. Отжиг осуществлялся при температуре 450 °С в течение 3 ч. Он приводил к росту коэффициента пропускания пленок и некоторому увеличению их фоточувствительности.

Исследования спектров пропускания слоев CdS позволяют предположить, что в процессе отжига изучаемые пленки претерпевали структурные изменения. В частности, появление на кривой спектра пропускания резкого перегиба, отмеченного на рис. 3–4 стрелочками, свидетельствует о переходе пленок CdS из аморфного состояния в поликристаллическое. «Окно» прозрачности полученных образцов начинается с $\lambda = 500$ нм и простирается в ИК-область. Отожженные слои приобретали фоточувствительность (см. рис. 5), максимум которой соответствовал длине волны $\lambda = 520$ нм.

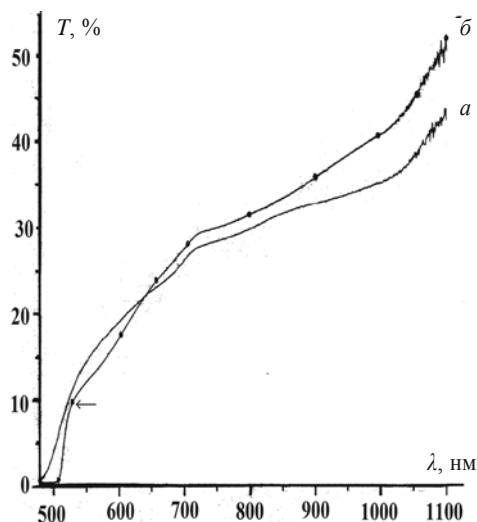


Рис. 3. Спектры пропускания пленки сульфида кадмия, снятые при 300 К: а – до отжига; б – после отжига

В процессе исследования спектров пропускания отожженных пленок CdS был обнаружен эффект голубого сдвига в соответствии с формулой

$$\alpha = \frac{h}{(8\mu\Delta E)^{1/2}}, \quad (1)$$

где α – линейный размер зерна; h – постоянная Планка; μ – энергия связи экситона; ΔE – разница между шириной запрещенной зоны монокристалла и шириной запрещенной зоны образца.

Размер зерен в поликристаллических пленках CdS, рассчитанный по формуле (1), составляет 6–7 нм.

Спектры люминесценции полученных пленок CdS исследовались в диапазоне длин волн от 500 до 950 нм (рис. 6). Образцы возбуждались с помощью УФ-источника излучения с длиной волны $\lambda = 405$ нм. Полоса люминесценции простиралась от 500 до 900 нм, захватывая зеленую область видимого света (≈ 520 нм), характерную для CdS. Максимум кривой соответствует длине волны $\lambda = 715$ нм.

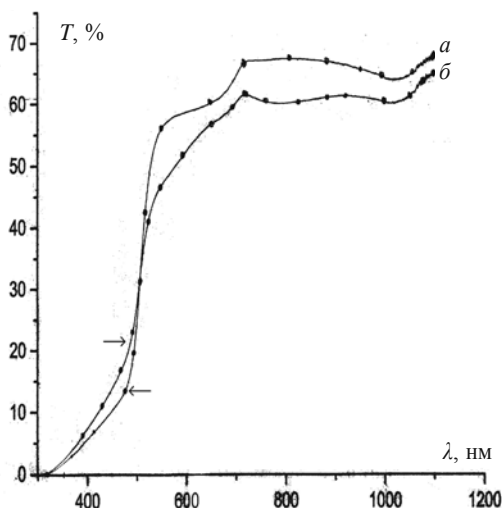


Рис. 4. Спектры пропускания при 300 К тонких пленок сульфида кадмия, отожженных при 450 °С: а – длительность осаждения 10 мин; б – длительность осаждения 20 мин

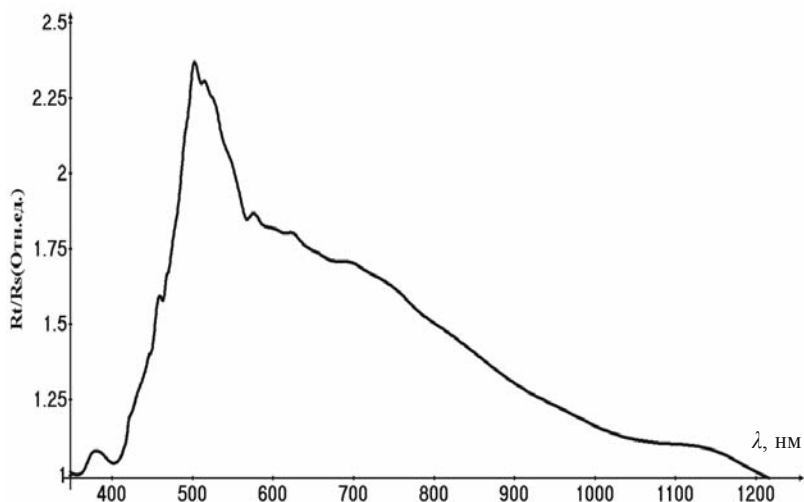


Рис. 5. Спектр фоточувствительности пленки CdS при 300 К

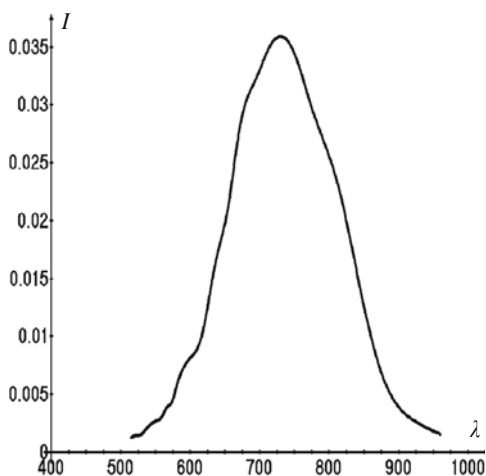


Рис. 6. Спектр люминесценции при 300 К пленки CdS, полученной на поверхности подложки, которая покрыта слоем SnO₂

На основании представленных выше экспериментальных результатов можно сделать вывод о том, что указанная технология позволяет получать тонкие пленки сульфида кадмия, обладающие полупроводниковыми свойствами. Наличие фоточувствительности дает возможность использовать данный материал для изготовления фоточувствительных датчиков и преобра-

зователей солнечного излучения. Простота исполнения и дешевизна необходимого оборудования делает этот метод целесообразным там, где нужны недорогие фотоэлементы в большом количестве и нет повышенного требования к их качеству.

Цитированная литература

1. **Fandyang L.** Characterization of chemical Bath deposited CdS thin films at different deposition temperature // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2010. – Vol. 493. – № 1–2. – P. 305–308.
2. **Mahdi M.A.** Structural and optical properties of chemical deposition CdS thin films // *Int.j.Nanoelectronics and Materials*. – 2009. – № 2. – P. 163–172.
3. **Ремпель С.В., Александрова Н.Н., Ремпель А.А.** Использование квантовых точек на основе CdS в цитологических исследованиях // *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. – 2012. – № 20. – С. 106–109.
4. **Кировская И.А., Федяева О.А., Тимошенко Т.О.** Каталитические свойства теллуридов и сульфидов кадмия по отношению к реакции окисления CO(II) // *Современные наукоемкие технологии*. – 2007. – № 2. – С. 84–86.

УДК 537.533.2+621.3.032.21

Ю.А. Баренгольц, канд. физ.-мат. наук

ТАБУЛИРУЕМЫЕ ФУНКЦИИ В УРАВНЕНИИ АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

Рассмотрены поправки, которые необходимо вносить в расчетную формулу для функции Нордгейма v , находящейся в показателе экспоненты уравнения плотности тока автоэлектронной эмиссии. Предложена более точная аппроксимация функции v , благодаря которой существенно уменьшается погрешность расчета плотности тока для области полей, используемых в пикосекундной электронике.

Плотность тока j_0 автоэлектронной эмиссии (АЭЭ) определяется классическим уравнением Фаулера–Нордгейма [1], которое в применении к чистым металлическим поверхностям имеет вид

$$j_0 = \frac{e^3 E^2}{8\pi h \varphi t^2} \exp\left(-\frac{8\pi}{3eh} \frac{\sqrt{2m\varphi^3}}{E} v_N\right). \quad (1)$$

Здесь e – элементарный заряд; E – напряженность электрического поля; h – постоянная Планка; φ – работа выхода катода; m – масса электрона; $t = t(y)$ и $v_N = v_N(y)$ – безразмерные табулируемые функции, аргумент которых находится из соотношения

$$y = \frac{e}{2\varphi} \sqrt{\frac{eE}{\pi\varepsilon_0}}, \quad (2)$$

где ε_0 – электрическая постоянная.

Функция $t(y)$ близка к единице (в расчетах обычно полагают $t^2(y) \approx 1,1$), а функция $v_N(y)$ (которую и называют функцией Нордгейма) выражается через эллиптические интегралы $K[k]$ и $E[k]$ соответственно первого и второго рода от аргумента k [2]:

$$k = \sqrt{\frac{1-y}{1+y}}; \quad (3)$$

$$K[k] = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \vartheta)^{-1/2} d\vartheta,$$

$$E[k] = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \vartheta)^{1/2} d\vartheta; \quad (4)$$

$$v_N(y) = \sqrt{1+y} \times \\ \times \left(E \left[\sqrt{\frac{1-y}{1+y}} \right] - yK \left[\sqrt{\frac{1-y}{1+y}} \right] \right). \quad (5)$$

В работах [3], [4], [5] и других выражение для $v(y)$ ставится в зависимость от величины y . Например, согласно [3]

$$v(y) = -\sqrt{\frac{y}{2}} \left(-2E \left[\sqrt{\frac{y-1}{2y}} \right] + \right. \\ \left. + (y+1)K \left[\sqrt{\frac{y-1}{2y}} \right] \right), \text{ если } y > 1. \quad (6)$$

Если $y < 1$, авторы [3] используют соотношение (5).

Оценим реальное значение параметра y . В приводимых далее расчетных формулах плотность тока измеряется в А/см², напряженность электрического поля – в МВ/см, работа выхода – в эВ. При этом

$$y = 0,379 \frac{\sqrt{E}}{\varphi}. \quad (7)$$

При напряженности поля в диапазоне 1–100 МВ/см и работе выхода более 3,8 эВ (что справедливо для большинства используемых материалов) значение y , как

видно из (7), не превышает единицы. Поэтому в дальнейшем мы будем пользоваться только соотношением (5).

Первую попытку аппроксимировать выражение (5) более простой формулой предпринял В.Н. Шредник [6]. Для области изменения y от 0,35 до 0,69 он получил соотношение

$$v(y) \approx 0,95 - 1,03y^2. \quad (8)$$

Аналогичное выражение для небольшой области полей от 20 до 50 МВ/см приводится в [7]:

$$v(y) \approx 0,956 - 1,062y^2. \quad (9)$$

В [5] предлагается для рассматриваемой области $y \leq 1$ более сложное соотношение:

$$v(y) = -1,3110y^{3/2} + 0,8986y^{1/2} + 0,4936y^{-1/2} - 0,0812y^{-3/2}. \quad (10)$$

Очевидно, что наличие в последнем выражении третьего и четвертого слагаемых делает невозможным его применение при малых значениях y .

Мы получили простую аппроксимационную формулу для функции $v_N(y)$ в применении ко всему интервалу изменения y :

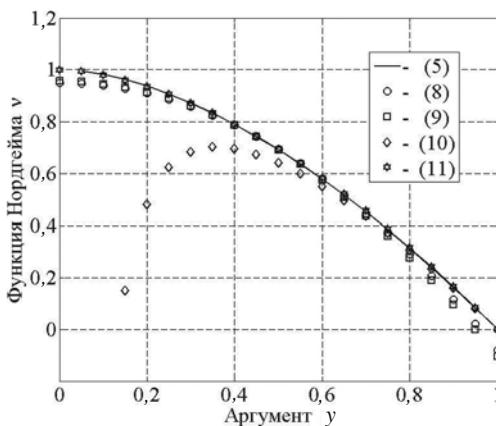
$$v(y) = 1 - y^{1,7}. \quad (11)$$

На рисунке представлены графики точного значения функции $v_N(y)$, используемых до настоящего времени аппроксимаций и полученной нами зависимости (11).

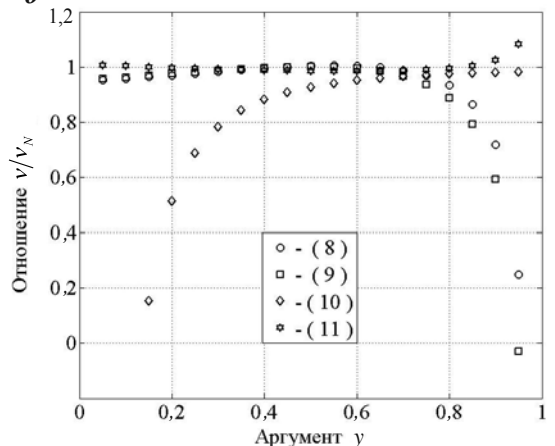
Во-первых, полученное нами соотношение (11) удовлетворяет граничным условиям для функции $v_N(y)$: $v_N(0) = 1$ и $v_N(1) = 0$. Во-вторых, как видно из рисунка, на всем промежутке рассматриваемых значений y именно (11) дает наиболее близкие к графику функции Нордгейма значения. С другой стороны, если речь идет об узком диапазоне полей вблизи 100 МВ/см, более точной оказывается аппроксимация (10).

Аппроксимация (11) позволяет получить расчетную формулу плотности тока АЭЭ. Подстановка в (1) численных значений универсальных постоянных при предположении, что $t^2(y) \approx 1,1$, приводит к выражению

а



б



Функция Нордгейма и ее аппроксимации (8)–(11): *а* – зависимость v от аргумента y ; *б* – отношение аппроксимационных значений к истинному значению (5) функции Нордгейма (v/v_N)

$$j_0 = 1,4 \cdot 10^6 \frac{E^2}{\varphi} \exp\left(-68,5 \frac{\varphi^{3/2}}{E} v_N\right). \quad (12)$$

Используя (7) и (11), получаем уравнение

$$j = 1,4 \cdot 10^6 \frac{E^2}{\varphi} \times \exp\left(-68,5 \frac{\varphi^{1,5}}{E} + \frac{13,16}{\varphi^{0,2} E^{0,15}}\right). \quad (13)$$

Данное выражение компактно, не содержит эллиптических интегралов и позволяет наглядно, без построения графиков анализировать зависимость плотности тока АЭЭ от работы выхода и напряженности приложенного электрического поля. Из (13), например, видно, что при больших полях следует ожидать отклонения вольтамперных характеристик от линейности в координатах Фаулера–Нордгейма $\left(\frac{j}{E^2}; \frac{1}{E}\right)$ благодаря второму слагаемому уравнения (13).

Цитированная литература

1. **Fowler R.H., Nordheim L.** Electron emission in intense electric fields // Proc. Roy. Soc. – 1928. – № A781. – P. 173–181.
2. **Nordheim L.** Die Theorie der Elektronenemission der Metalle // Physikalische Zeitschrift. – 1929. – № 7. – P. 117.
3. **Murphy E.L., Good R.H.** Thermionic emission, field emission, and the transition region // Physical Review. – 1956. – Vol. 102, № 6. – P. 1464.
4. **Модинос А.** Авто-, термо- и вторично-электронная эмиссионная спектроскопия. – М.: Наука, 1990. – 320 с.
5. **Anders A.** Cathodic Arts. 2008.
6. **Шредник В.Н.** Теория автоэлектронной эмиссии металлов // Ненакаливаемые катоды. – М.: Сов. радио, 1974. – С. 166.
7. **Латам Р.** Вакуумная изоляция установок высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 186 с.

УДК 517.518.1+514.757+510.54

С. Гроздев, профессор, доктор по математика, доктор на педагогическите науки

(Институт по математика и информатика, София)

В. Ненков, доцент (Технически колеж, Ловеч)

А.А. Русаков, канд. физ.-мат. наук, д-р пед. наук, проф. (МГУПИ, Москва)

ФОРМИРАНЕ НА ЗНАНИЯ ВЪРХУ КРИВИТЕ ОТ ВТОРА СТЕПЕН

1. Увод. Кривите от втора степен са същевременно едни от най-простите криви в равнината и такива, които притежават много интересни и забележителни свойства. Освен това участват в много ком-

бинации от по-сложни фигури. За това е добре да се намери подходящо въвеждане на тези криви като геометрични места на точки. Програмата GSP позволява да се извърши такова въвеждане, като се прослед-

ди естественото развитие на една идея, започваща от добре познатата геометрична представа за окръжност.

Всяка окръжност е множество от точки в равнината, които се намират на едно и също разстояние от дадена точка. По естествен начин отгук следва да се потърси множеството от точки, които са на едно и също разстояние от две дадени точки A и B . Добре известно е, че това множество е права, минаваща през средата на отсечката AB и перпендикулярна на правата AB . Тази права се нарича *симетрала* на отсечката AB . Симетралата на отсечката AB може да се разглежда и като множество от точки, разстоянията на които до точките A и B имат отношение равно на единица. Това води към следващо обобщаване на горната задача: да се намери множеството от точки, разстоянията на които до точките A и B имат отношение, равно на положителното число e .

В последната задача можем да се запитаме какво ще се получи, ако например точката B се замени с права b , т.е. да се намери множеството от точки, разстоянията на които до точката A и правата b имат отношение, равно на положителното число e . Интересно е да се установи какво ще се получи, ако и двете точки A и B се заменят съответно с прави a и b , т.е. да се намери множеството от точки, разстоянията на които до правите a и b имат отношение, равно на положителното число e .

Множество от точки, разстоянията на които до две дадени точки, две прави или точка и права имат постоянно отношение, ще наричаме множество от точки с постоянно отношение. По-нататък ще опишем поотделно всички споменати множества с постоянно отношение.

2. Множества от точки, разстоянията на които до две дадени точки е постоянно. Нека са дадени две различни точки A и B в равнината и реално положително число e . Избираме произволна координатна система Oxy , спрямо

която нека $A(a_1, a_2)$ и $B(b_1, b_2)$. Търсим множеството от точки $M(x, y)$, за които е изпълнено равенството $\frac{AM}{BM} = e$. От формулата за разстояние между две точки получаваме, че последното равенство е еквивалентно с $(x-a_1)^2 + (y-a_2)^2 = e^2((x-b_1)^2 + (y-b_2)^2)$. Отгук след преобразувания се получава, че координатите на точките от търсеното множество удовлетворяват уравнението

$$(1-e^2)x^2 + (1-e^2)y^2 - 2(a_1 - eb_1)x - 2(a_2 - eb_2)y + a_1^2 + a_2^2 - e^2(b_1^2 + b_2^2) = 0. \quad (1)$$

Ако $e = 1$, то от (1) се получава

$$s: 2(a_1 - b_1)x + 2(a_2 - b_2)y - a_1^2 - a_2^2 + b_1^2 + b_2^2 = 0, \quad (2)$$

което е уравнение на права (фиг. 1).

Това трябваше да се очаква, защото както беше отбелязано по-рано, s е симетралата на отсечката AB (фиг. 1).

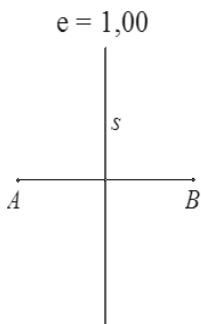
Ако $e \neq 1$, то от (1) се получава

$$\alpha: x^2 + y^2 - 2\frac{a_1 - eb_1}{1-e^2}x - 2\frac{a_2 - eb_2}{1-e^2}y + \frac{a_1^2 + a_2^2 - e^2(b_1^2 + b_2^2)}{1-e^2} = 0. \quad (3)$$

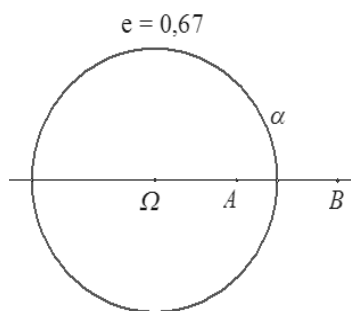
Нека $A_0 = \frac{a_1 - eb_1}{1-e^2}$, $B_0 = \frac{a_2 - eb_2}{1-e^2}$ и

$C_0 = \frac{a_1^2 + a_2^2 - e^2(b_1^2 + b_2^2)}{1-e^2}$. След стандартни пресмятания се получава, че $A_0^2 + B_0^2 - C_0 = \frac{e^2}{(1-e^2)^2} \cdot |AB|^2 > 0$. Следователно по

една известна теорема имаме, че (3) е уравнение на окръжност α с център в точката $\Omega\left(\frac{a_1 - eb_1}{1-e^2}, \frac{a_2 - eb_2}{1-e^2}\right)$ и радиус $\rho = \frac{e}{|1-e^2|} \cdot |AB|$ (фиг. 2).



Фиг. 1



Фиг. 2

Окръжността $\alpha(\Omega, \rho)$ се нарича *Аполониева окръжност* за отсечката при отношение e (фиг. 2).

3. Множества от точки, разстоянията на които до дадени точка и права е постоянно. Нека са дадени точка F , права d и реално положително число e . Според взаимното разположение на F и d са възможни два случая: 1) F не лежи на d и 2) F лежи на d . Разглеждаме всеки от тези случаи поотделно.

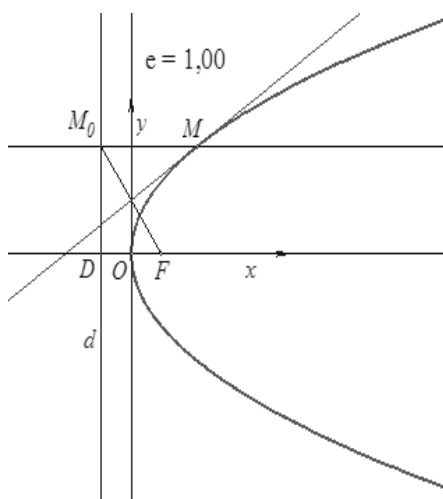
1. Нека F не лежи на d и разстоянието между F и d е равно на p . През F построяваме права x , перпендикулярна на d . Нека $x \cap d = D$ и $FD = p$. Нека M_0 е ортогоналната проекция на точката M върху правата d .

1.1. Нека $e = 1$ и O е средата на FD (фиг. 3).

Търсим множеството на точките, за които е изпълнено равенството $MF = MM_0$. Точката M лежи върху симетралата $s(M_0)$ на отсечката FM_0 . Избираме правоъгълна координатна система Oxy така, че ординатната ос Oy да е по симетралата $s(D)$ на отсечката FD (фиг. 3).

Спрямо така избраната координатна система имаме $D\left(-\frac{p}{2}, 0\right)$ и $F\left(\frac{p}{2}, 0\right)$.

Правата d има уравнение $x = -\frac{p}{2}$ и затова, ако $M(x, y)$, то $M_0\left(-\frac{p}{2}, y\right)$.



Фиг. 3

Когато точката M_0 се движи по правата d , симетралата $s(M_0)$ на отсечката FM_0 заема някакво положение в равнината (фиг. 3). При всяко фиксирано положение на точката M_0 правата $s(M_0)$ е фиксирана и според (2) се описва с уравнение от вида

$$s(M_0): \quad 2(a_1 - b_1)X + 2(a_2 - b_2)Y - a_1^2 - a_2^2 + b_1^2 + b_2^2 = 0. \quad (2')$$

В това уравнение (X, Y) са координатите на произволна точка от фиксираната права $s(M_0)$ и $a_1 = \frac{p}{2}$, $a_2 = 0$, $b_1 = -\frac{p}{2}$, $b_2 = y$, което следва от вида на координатите на точките F и M_0 . Следователно уравнението на симетралата $s(M_0)$ е

$$s(M_0): 2pX - 2yY + y^2 = 0. \quad (4)$$

Всяка права $s(M_0)$ пресича съответната права M_0M в точката $M(x, y)$ (фиг. 3). Затова всяка точка $M(x, y)$ от търсеното множество ще удовлетворява уравнението (4) и при $X = x$, $Y = y$ се получава

$$y^2 = 2px. \quad (5)$$

Следователно търсеното множество се описва с уравнението (5). Кривата с уравнение (5) се нарича *парабола* (фиг. 3).

1.2. Нека $e \neq 1$.

Търсим множеството на точките, за които е изпълнено равенството $\frac{MF}{MM_0} = e$.

Точката M лежи на Аполониевата окръжност $\alpha(M_0)$ за отсечката FM_0 при отношение e . Избираме правоъгълна координатна система Oxy така, че центърът ѝ да съвпада с центъра O на Аполониевата окръжност $\alpha(D)$ за отсечката FD при отношение e (фиг. 4, 5).

В означенията, при които е получено (3) за точките $F(a_1, a_2)$ и $D(b_1, b_2)$ спрямо тази координатна система, са изпълнени равенствата $a_2 = b_2 = 0$ и $a_1 - b_1 = p$. Освен това координатите на точката $O\left(\frac{a_1 - eb_1}{1 - e^2}, \frac{a_2 - eb_2}{1 - e^2}\right)$ трябва да са равни

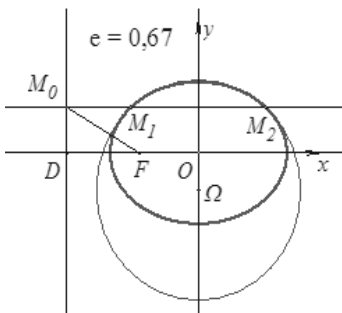
на нула. Следователно $a_1 - eb_1 = 0$ и затова $a_1 = -\frac{e^2 p}{1 - e^2}$ и $b_1 = -\frac{p}{1 - e^2}$. Така се получава, че $F\left(-\frac{e^2 p}{1 - e^2}, 0\right)$ и $D\left(-\frac{p}{1 - e^2}, 0\right)$.

Правата d има уравнение $x = -\frac{e^2 p}{1 - e^2}$ и затова, ако $M(x, y)$, то $M_0\left(-\frac{e^2 p}{1 - e^2}, y\right)$.

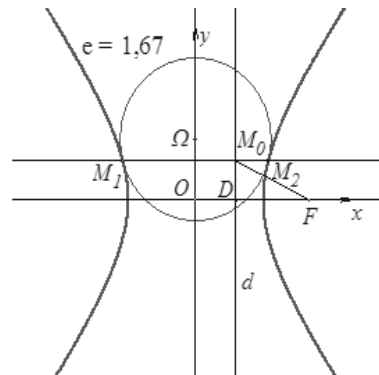
Когато точката M_0 се движи по правата d , Аполониевата окръжност $\alpha(M_0)$ за отсечката FM_0 при отношение e заема някакво положение в равнината (фиг. 4, 5). При всяко фиксирано положение на точката M_0 окръжността $\alpha(M_0)$ е фиксирана и според (3) се описва с уравнение от вида

$$\alpha(M_0): X^2 + Y^2 - 2\frac{a_1 - eb_1}{1 - e^2}X - 2\frac{a_2 - eb_2}{1 - e^2}Y + \frac{a_1^2 + a_2^2 - e^2(b_1^2 + b_2^2)}{1 - e^2} = 0. \quad (3')$$

В това уравнение (X, Y) са координатите на произволна точка от фиксираната окръжност $\alpha(M_0)$ и $a_1 = -\frac{e^2 p}{1 - e^2}$, $a_2 = 0$, $b_1 = -\frac{p}{1 - e^2}$, $b_2 = y$, което следва от вида на координатите на точките F и M_0 . Сле-



Фиг. 4



Фиг. 5

дователно уравнението на окръжността $\alpha(M_0)$ е

$$\alpha(M_0): X^2 + Y^2 + 2\frac{e^2}{1-e^2}yY - \frac{e^2}{1-e^2}y^2 - \frac{e^2p}{(1-e^2)^2} = 0. \quad (6)$$

Всяка окръжност $\alpha(M_0)$ пресича съответната права M_0M в точката $M(x, y)$ (фиг. 4, 5). Затова всяка точка $M(x, y)$ от търсеното множество ще удовлетворява уравнението (6) и при $X = x$ и $Y = y$ се получава

$$x^2 + \frac{y^2}{1-e^2} = \frac{e^2p^2}{(1-e^2)^2}. \quad (7)$$

Следователно търсеното множество се описва с уравнението (7).

Ако $e < 1$, полагаме $a = \frac{ep}{1-e^2}$ и $b = \frac{ep}{\sqrt{1-e^2}}$. Уравнението (7) се записва във вида

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (8)$$

Ако $e > 1$, полагаме $a = \frac{ep}{e^2-1}$ и $b = \frac{ep}{\sqrt{e^2-1}}$. Уравнението (7) се записва във вида

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (9)$$

Кривите с уравнения (8) и (9) се наричат съответно *елипса* (фиг. 4) и *хипербола* (фиг. 5).

2. Нека F лежи на d . През F построяваме права x , перпендикулярна на d . Избираме правоъгълна координатна система Fxy така, че центърът ѝ да съвпада с точката F , а ординатната ос да съвпада с правата d (фиг. 6, 7, 8).

Търсим множеството от точки $M(x, y)$, за които е изпълнено равенството $\frac{FM}{M_0M} = e$. Спрямо въведената координатна система имаме $F(0,0)$ и $M_0(0, y)$.

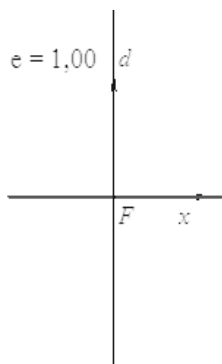
2.1. Нека $e = 1$. От (2') при $a_1 = a_2 = b_1 = 0$ и $b_2 = y$ се получава

$$s(M_0): 2yY - y^2 = 0. \quad (10)$$

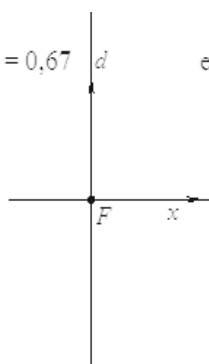
Всяка точка $M(x, y)$ от търсеното множество ще удовлетворява уравнението (10) и при $X = x, Y = y$ се получава

$$y^2 = 0. \quad (11)$$

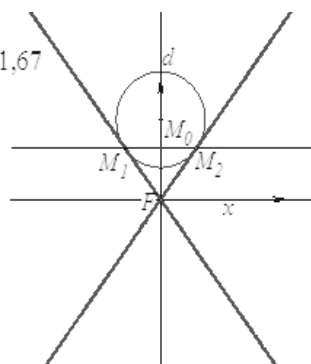
Следователно търсеното множество се описва с уравнението (11).



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

Уравнението (11) показва, че правата x се описва два пъти от точката M при движението на точката M_0 върху правата d . Затова кривата с уравнение (11) се нарича *двойна права* (фиг. 6).

2.2. Нека $e \neq 1$. От (3') при $a_1 = a_2 = b_1 = 0$ и $b_2 = y$ се получава

$$\alpha(M_0): X^2 + Y^2 + 2\frac{e^2}{1-e^2}yY - \frac{e^2}{1-e^2}y^2 = 0. \quad (12)$$

Всяка точка $M(x, y)$ от търсеното множество ще удовлетворява уравнението (12) и при $X = x$, $Y = y$ се получава

$$x^2 + \frac{y^2}{1-e^2} = 0. \quad (13)$$

Следователно търсеното множество се описва с уравнението (13).

Ако $e < 1$, полагаме $a = 1$ и $b = \frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$. Уравнението (13) се записва във вида

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0. \quad (14)$$

Уравнението (14) има само едно реално решение, което съответства на точката F .

Кривата с уравнение (14) се нарича *две комплексно спрегнати пресичащи се прави* (фиг. 7).

Ако $e > 1$, полагаме $a = 1$ и $b = \frac{1}{\sqrt{e^2-1}}$.

Уравнението (13) се записва във вида

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0. \quad (15)$$

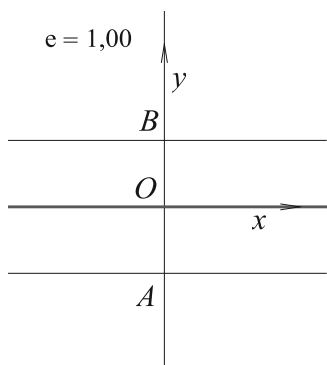
Уравнението (15) представя две прави пресичащи се в точката F . Кривата с уравнение (15) се нарича *две реални пресичащи се прави* (фиг. 8).

4. Множества от точки, разстоянията на които до две дадени прави е постоянно. Нека са дадени две различни прави d_1 и d_2 в равнината и реално положително число e . Според броя на общите точки на d_1 и d_2 са възможни два случая: 1) d_1 и d_2 са успоредни и 2) d_1 и d_2 се пресичат. Разглеждаме всеки от тези случаи поотделно.

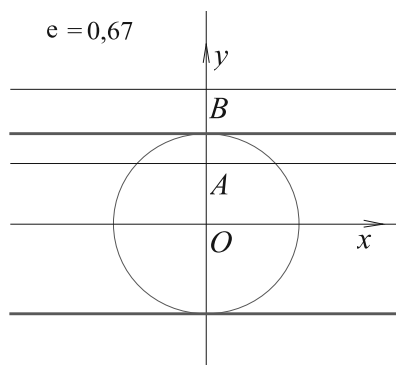
1. Нека $d_1 \parallel d_2$ и разстоянието между тях е равно на p (фиг. 9, 10).

Построяваме произволна права y , перпендикулярна на d_1 и d_2 . Нека $y \cap d_1 = A$ и $y \cap d_2 = B$ (фиг. 9, 10). Нека M_1 и M_2 са ортогоналните проекции на точката M съответно върху правите d_1 и d_2 .

1.1. Нека $e = 1$ и O е средата на AB . Разглеждаме ортогонална координатна



Фиг. 9



Фиг. 10

система Oxy така, че $A(0, -p)$ и $B(0, p)$. Ясно е, че в този случай търсеното множество е правата y (фиг. 9).

1.2. Нека $e \neq 1$.

Избираме правоъгълна координатна система Oxy така, че центърът ѝ да съвпада с центърът O на Аполониевата окръжност $\alpha(D)$ за отсечката AB при отношение e (фиг. 10). В означенията, при които е получено (3) за точките $A(a_1, a_2)$ и $B(b_1, b_2)$ спрямо тази координатна система, са изпълнени равенствата $a_1 = b_1 = 0$, $b_2 - a_2 = p$. Освен това координатите на точката $O\left(\frac{a_1 - eb_1}{1 - e^2}, \frac{a_2 - eb_2}{1 - e^2}\right)$ трябва да са равни на нула. Следователно $a_2 - eb_2 = 0$ и затова $a_2 = \frac{e^2 p}{1 - e^2}$ и

$b_2 = \frac{p}{1 - e^2}$. Следователно $A\left(0, \frac{e^2 p}{1 - e^2}\right)$ и $B\left(0, \frac{p}{1 - e^2}\right)$. Уравненията на правите d_1 и d_2 са съответно $y = \frac{e^2 p}{1 - e^2}$ и $y = \frac{p}{1 - e^2}$, затова, ако $M(x, y)$, то $M_1\left(x, \frac{e^2 p}{1 - e^2}\right)$ и $M_2\left(x, \frac{p}{1 - e^2}\right)$.

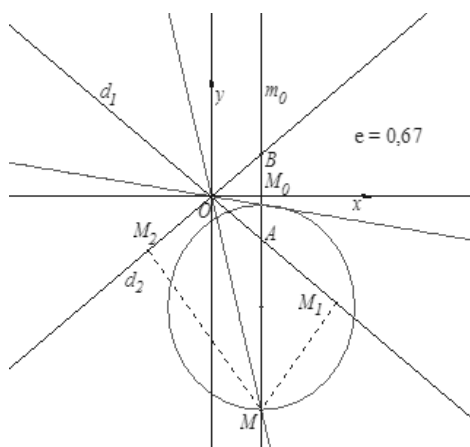
Сега от (3') при $a_1 = x$, $a_2 = \frac{e^2 p}{1 - e^2}$, $b_1 = x$, $b_2 = \frac{p}{1 - e^2}$ се получава уравнението

$$y^2 - \frac{e^2 p^2}{(1 - e^2)^2} = 0.$$

В последното уравнение полагаме $b = \frac{ep}{1 - e^2}$ и получаваме

$$y^2 - b^2 = 0. \quad (16)$$

Кривата с уравнение (16) се нарича *две реални успоредни прави* (фиг. 10).



Фиг. 11

2. Нека $d_1 \cap d_2 = O$ и нека ъглополовящите на ъглите, определени от правите d_1 и d_2 , са означени с x и y . По този начин определяме правоъгълна координатна система Oxy (фиг. 11). Спрямо разглежданата координатна система правите d_1 и d_2 имат уравнения от вида $d_1 : y = k.x$ и $d_2 : y = -k.x$.

Нека M_0 е произволна точка от оста Ox . През M_0 построяваме права m_0 , перпендикулярна на Ox (фиг. 11).

Нека $m_0 \cap d_1 = A$, $m_0 \cap d_2 = B$ и M е точка от търсеното множество върху правата m_0 . Ако M_1 и M_2 са ортогоналните проекции на M съответно върху d_1 и d_2 , то $\frac{MM_1}{MM_2} = e$ (фиг. 11).

Тъй като $\triangle AMM_1 \sim \triangle BMM_2$, то $\frac{AM}{BM} = \frac{MM_1}{MM_2} = e$. Следователно точката M ле-

жи върху Аполониевата окръжност на отсечката AB (или нейната симетрала, ако $e = 1$) при отношение e . Затова ще търсим множеството от точки M като пресечни точки на Аполониевите окръжности (симетрала) на отсечките AB с правата m_0 през тях, когато точката M_0 описва оста Ox (фиг. 11).

Ако $M(x, y)$, то $A(x, kx)$, $B(x, -kx)$, $a_1 = x$, $a_2 = -kx$, $b_1 = x$, $b_2 = -kx$ и следователно според (1) се получава

$$(1 - e^2)X^2 + (1 - e^2)Y^2 - 2(1 - e^2)X - 2k(1 + e^2)XY + (1 + k^2)X^2 = 0. \quad (17)$$

Всяка точка $M(x, y)$ от търсеното множество ще удовлетворява уравнението (17) и при $X = x$, $Y = y$ се получава

$$(1 - e^2)k^2x^2 - 2(1 + e^2)kxy + (1 - e^2)y^2 = 0. \quad (18)$$

Уравнението (18) се представя още във вида

$$\left[k(1 - e)x - (1 + e)y \right] \times \left[k(1 + e)x - (1 - e)y \right] = 0. \quad (18')$$

Уравнението (18') показва, че M описва две пресичащи се прави в точката O . Следователно кривата с уравнение (18') е две реални пресекателни прави (фиг. 11). При подходяща ротация на координатната система уравнението (18') може да се доведе до уравнение от вида (15).

5. Криви от втора степен. Уравненията (5), (8), (9), (11), (14), (15), (16) описват различни множества с постоянно отношение. По друг начин казано, координатите (x, y) на всяка точка от едно такова множество са едно реално решение на съответното уравнение. Освен тези уравнения съществуват и такива, които не притежават нито едно реално решение. Такива са уравненията:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = -1, \quad (19)$$

$$y^2 + b^2 = 0. \quad (20)$$

Уравнение (19) е подобно на (8) и затова се нарича уравнение на *имагинерна елипса*, а (20) е подобно на (16) и затова се нарича уравнение на *две комплексно спрегнати успоредни прави*. Всички тези уравнения (5), (8), (9), (11), (14), (15), (16), (19), (20) са частни случаи на общото уравнение от втора степен с две неизвестни

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad (21)$$

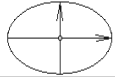
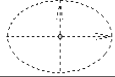
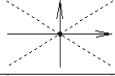
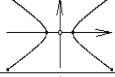

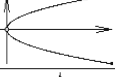

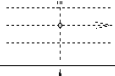

където $a_{ij} = a_{ji}$ ($1 \leq i, j \leq 3$) са реални числа.

Множеството на всички наредени двойки от комплексни числа (x, y) , които са решения на уравнение (21), се нарича *крива от втора степен*.

Досега бяха споменати девет различни вида криви от втора степен и затова възниква въпросът за съществуването на други видове, несъвпадащи с изброените. Оказва се, че с подходящи преобразувания уравнение (21) може да се сведе до някое от уравненията (5), (8), (9), (11), (14), (15), (16), (19), (20). Следователно кривите от втора степен са точно девет вида. Кратка обобщена информация за тях е представена на фиг. 12.

Геометричният смисъл на първите седем вида криви беше изяснен. Кривите (19) и (20) като непритежаващи реални точки нямат геометричен смисъл. Това обяснява факта, че от всички криви точно те не се получиха като множества с постоянно отношение.

Разгледаният начин за въведение в кривите от втора степен се различава съществено от приетия в основния курс по аналитична геометрия. Освен различния начин за получаване на каноничните уравнения на кривите от втора степен тук се забелязва и допълнителен геометричен смисъл, който липсва при чисто аналитич-

КЛАСИФИКАЦИЯ НА КРИВИТЕ ОТ ВТОРА СТЕПЕН		
КРИВА	КАНОНИЧНО УРАВНЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ
	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	ЕЛИПСА
	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = -1$	ИМАГИНЕРНА ЕЛИПСА
	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$	ДВЕ КОМПЛЕКСНО СПРЕГНАТИ ПРЕСИЧАЩИ СЕ ПРАВИ
	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	ХИПЕРБОЛА
	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0$	ДВЕ РЕАЛНИ ПРЕСИЧАЩИ СЕ ПРАВИ
	$y^2 = 2px$	ПАРАБОЛА
	$y^2 - a^2 = 0$	ДВЕ РЕАЛНИ УСПОРЕДНИ ПРАВИ
	$y^2 + a^2 = 0$	ДВЕ КОМПЛЕКСНО СПРЕГНАТИ УСПОРЕДНИ ПРАВИ
	$y^2 = 0$	ДВОЙНА ПРАВА

Фиг. 12

ното им извеждане. Този подход предлага възможност на GSP да представи кон-

структивно кривите от втора степен, които имат реален геометричен смисъл.

ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

УДК 519.24

Ю.А. Долгов, д-р техн. наук, проф.

А.Ю. Долгов, канд. техн. наук, доц.

Е.В. Терещенко, ст. преп.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ФЕХНЕРА КАК МЕРА ТЕСНОТЫ ЛИНЕЙНОЙ СВЯЗИ

Предлагаются результаты исследования различных методов для определения особенностей и ограничений мер тесноты линейной корреляционной связи для дихотомических выборок, необходимые на начальном этапе для определения связи между качественно варьирующимися признаками.

Введение

Для определения меры тесноты линейной корреляционной связи двух случайных величин (факторов, условно обозначаемых X и Y) в математической статистике обычно используется коэффициент корреляции, который обладает рядом достоинств, позволяющих широко применять его на практике [1, 2]. Эта мера предназначена для оценки тесноты связи только количественных факторов, измеряемых в некоторой системе единиц, очищенных от грубых промахов и распределенных по нормальному закону. При несоблюдении этих условий коэффициент корреляции либо вовсе не определяется, либо имеет существенное отклонение от своего истинного значения.

Однако в природе существуют факторы (признаки, симптомы), выраженные исключительно в качественной форме, частным случаем которых выступают факторы, проявляющиеся в дихотомическом

виде (т. е. в виде наличия или отсутствия данного фактора либо в виде двух возможных вариантов). Это может быть, например, пол человека, симптом болезни (есть или нет), социальное положение (работающий или безработный) и т. п.

1. Показатели ассоциации

Связи между качественно варьирующимися признаками могут играть большую роль (особенно в медицине). При наличии такой связи говорят об ассоциации, взаимосвязанности признаков, их корреляции. Ассоциация признаков изучается с помощью взаимоисключающих ответов типа «да-нет», «хорошо-плохо», «согласен-не согласен» и так далее. Обычно в таблице исходных данных такие факторы обозначаются цифрами 1 (есть признак) и 0 (нет признака) или знаками «+» и «-» соответственно.

Если признаки обладают альтернативной (дихотомической) вариацией, то результаты наблюдений можно представить в виде таблицы ассоциации, называемой также 2×2 -таблицей или четырехклеточной таблицей.

$x_2 \backslash x_1$	1	0	$\Sigma(\cdot)$
1	q_{11}	q_{12}	q_1
0	q_{21}	q_{22}	q_2
$\Sigma(\cdot)$	Q_1	Q_2	N

Для измерения связи между признаками можно воспользоваться **коэффициентом ассоциации Φ** , предложенным К. Пирсоном [2]:

$$\Phi = \frac{q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21}}{\sqrt{q_1q_2Q_1Q_2}}, \quad (1)$$

где q_{ij} – количество попаданий в i -ю строку и j -й столбец.

По своей конструкции коэффициент Φ соответствует коэффициенту корреляции, примененному к частотам появления отдельных значений признака. Коэффициент Φ принимает значения в интервале $-1 \leq \Phi \leq +1$. Для проверки правильности выводов можно применить критерий χ^2 , который с учетом неравномерности частот в клетках таблицы (поправка Йейтса на непрерывность) имеет вид

$$\chi^2 = \frac{N \left(q_{11}q_{22} - q_{12}q_{21} - \frac{N}{2} \right)^2}{q_1q_2Q_1Q_2}. \quad (2)$$

Величина χ^2 для четырехклеточной таблицы имеет одну степень свободы. С помощью критерия χ^2 можно непосредственно оценить, существует ли вообще связь между изучаемыми явлениями, однако критерий не позволяет сделать вывод о силе связи.

На базе той же альтернативной группировки числового материала – четырехклеточной

таблицы можно вычислить другой показатель ассоциации – **тетрафорический коэффициент $r_{тет}$** [3]. Предпосылкой его применения является нормальное распределение генеральной совокупности. Тетрафорический коэффициент вычисляется по формуле

$$\begin{aligned} r_{тет} &= \cos \left(\frac{180^\circ}{1 + \sqrt{\frac{q_{11}q_{22}}{q_{12}q_{21}}}} \right) = \\ &= \cos \left(\frac{180^\circ \sqrt{q_{12}q_{21}}}{\sqrt{q_{11}q_{12}} + \sqrt{q_{12}q_{21}}} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициент $r_{тет}$ может принимать значения в границах $-1 \leq r_{тет} \leq +1$. По своему смыслу он ближе всего стоит к коэффициенту корреляции, но если распределение частот по границам четырехклеточной таблицы сильно неравномерно или закон распределения значительно отличается от нормального, то величина $r_{тет}$ становится ненадежным показателем связи.

Метод К. Пирсона дает удовлетворительные результаты, если в каждой клетке четырехклеточной таблицы имеется не меньше 10 попаданий, а суммарный объем парной выборки N – не меньше 40. Однако на практике это требование не всегда выполняется и приходится прибегать к другим методам поиска меры тесноты связи.

Одним из них может стать частный случай **коэффициента контингентности $C_{исп}$** , приведенный к четырехклеточной таблице. С учетом всех поправок он имеет вид

$$C_{исп} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + N}}, \quad (4)$$

где

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{(q_{ij} - q'_{ij})^2}{q'_{ij}}; \quad (5)$$

$$q'_{ij} = \frac{q_i Q_j}{N}. \quad (6)$$

Значения $C_{\text{исп}}$ лежат в пределах от 0 до 1 и могут не только подтвердить или опровергнуть наличие связи (по критерию χ^2), но в какой-то мере дать представление о силе этой связи.

Существует еще один подход к вопросу о мере тесноты линейной корреляционной связи, основанный на вероятности совпадения двух дихотомических выборок: углового преобразования Фишера и точного метода Фишера [4].

Угловое преобразование Фишера (УПФ) φ состоит в том, что среднее арифметическое (частость) \bar{X} каждой дихотомической выборки, выраженной в виде единиц и нулей, преобразуется в величину угла (фазы) φ [радиан], распределение которого близко к нормальному

$$\varphi = 2 \arcsin \sqrt{\bar{X}}. \quad (7)$$

Зная разность двух величин φ_1 и φ_2 и объемы выборок n_1 и n_2 , можно вычислить соответствующую им квантиль нормального распределения

$$u_p = |\varphi_1 - \varphi_2| \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (8)$$

по которой определить статистическую значимость (вероятность) различимости (неразличимости) самих выборок.

В **точном методе Фишера** (ТМФ) вероятность совпадения (своеобразный аналог коэффициента ассоциации) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{ТМФ}} = \frac{Q_1! Q_2! q_1! q_2!}{N! q_{11}! q_{22}! q_{12}! q_{21}!} \quad (9)$$

или, если числа большие, по формуле

$$\ln P_{\text{ТМФ}} = L_1 + L_2 - L_3, \quad (10)$$

где

$$L_1 = \ln \left[\frac{Q_1!}{q_{11}! q_{22}!} \right];$$

$$L_2 = \ln \left[\frac{Q_2!}{q_{12}! q_{21}!} \right]; \quad L_3 = \ln \left[\frac{N!}{q_1! q_2!} \right].$$

Кроме того, точный метод Фишера можно использовать и в том случае, когда объемы двух выборок неодинаковы. При этом необходимо преобразовать исходную четырехклеточную таблицу к виду

Выборка	Число «1»	Число «0»	Сумма
I	a	c	$a + c$
II	b	d	$b + d$
Сумма	$a + b = n_1$	$c + d = n_2$	N

Тогда формула (9) преобразуется в формулу

$$P_{\text{ТМФ}} = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{N! a! b! c! d!} \quad (11)$$

или в формулу (10), в которой

$$L_1 = \ln \left[\frac{n_1!}{a! b!} \right]; \quad L_2 = \ln \left[\frac{n_2!}{c! d!} \right];$$

$$L_3 = \ln \left[\frac{N!}{(a+c)!(b+d)!} \right].$$

При больших объемах выборок можно вместо натуральных логарифмов применять десятичные, причем для облегчения расчетов использовать таблицу десятичных логарифмов факториалов из книги А.К. Митропольского [1].

Точный метод Фишера свободен от ограничений по объему выборок как снизу, так и сверху вплоть до тех случаев, когда в одной из выборок вообще нет ни одного попадания (так как факториал нуля равен единице).

Подводя итог анализа всех рассмотренных выше методов оценки тесноты линейной связи дихотомических выборок, следует констатировать, что ни один из них не дает информацию в таком объеме, как коэффициент корреляции, а только указывает на наличие (отсутствие) данной связи, не определяя не только ее силу, но даже знак.

2. Индекс Фехнера

Поиск меры тесноты линейной корреляционной связи, обладающей по возможности всеми достоинствами коэффициента корреляции и свободной от его недостатков, следует начать с мер непараметрической статистики, которые не зависят от вида закона распределения. Среди мер, рассмотренных в исследовании [2], обращает на себя внимание индекс Фехнера. Его суть состоит в том, что числовые значения каждого из двух параметров заполняют знаком «-», если они оказываются меньше своего среднего арифметического (\bar{X} или \bar{Y}), и знаком «+», если – больше, после чего подсчитывают количество одинаковых знаков у обоих параметров.

Обозначим количество совпадающих пар знаков через v , а количество несовпадающих пар – через w (половину отклонений, равных 0, относят к v , а другую – к w). Тогда индекс Фехнера найдем как отношение:

$$f = \frac{v - w}{v + w} = \frac{v - w}{N}, \quad (12)$$

где N – объем парной выборки.

Несомненным преимуществом индекса Фехнера является простота вычисления, а в силу того что он учитывает только количество совпадений и несовпадений знаков, он свободен от закона распределения. Авторы монографии [2] доказывают, что по своему численному значению индекс Фехнера близок к коэффициенту корреляции. Однако наши исследования подтверждают эту близость только при высокой степени тесноты связи $r = 0,8-1,0$ [4]. Уравнение регрессии между r и f может быть представлено в виде

$$f = 1,237r - 0,438 \quad (13)$$

с коридором существования $\Delta f = \pm 0,0702$ при доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,95$.

Это означает, что между выборочным коэффициентом r и индексом Фехнера f существует достаточно тесная связь. Но в то же время существует значительное смещение величин, т. е. индекс Фехнера не полностью совпадает с коэффициентом корреляции.

Исследование робастности индекса Фехнера к грубым промахам (до 5 % от объема выборки) показало существенно меньшее их влияние по сравнению с влиянием на коэффициент корреляции (в 2,0–2,5 раза). Аналогичные исследования робастности индекса Фехнера к изменениям закона распределения выборки каждого из двух параметров выявили незначительные дополнительные отклонения от результатов, полученных при их нормальном распределении.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: индекс Фехнера гораздо более устойчив к наличию в массиве двумерной выборки грубых промахов и любых отклонений от нормального закона распределения, однако величины f существенно меньше величин r , вычисленных по одним и тем же данным. По этой причине необходимо, основываясь на базовых принципах формирования индекса Фехнера, отыскать другую меру тесноты линейной корреляционной связи, которая количественно более полно будет совпадать с величинами коэффициентов корреляции.

Такая мера в виде *модифицированного индекса Фехнера* (МИФ) найдена [5]:

$$f^* = \pm 0,949 \sqrt{\frac{|v - w|}{v + w}} \pm 0,051, \quad (14)$$

где все знаки должны быть положительными при $v > w$ и отрицательными при $v < w$.

Таблица 1

Значения величин
коэффициента корреляции,
индекса Фехнера
и модифицированного индекса Фехнера

Коэффициент корреляции	Индекс Фехнера	МИФ
0,99	0,912	0,956
0,95	0,776	0,931
0,90	0,772	0,875
0,80	0,536	0,804
0,70	0,432	0,689
0,50	0,264	0,530
0,30	0,096	0,400

Примечание. Более подробно свойства коэффициента корреляции исследованы в работе [1].

Чтобы убедиться, что предложенная нами новая мера тесноты линейной связи МИФ действительно имеет приблизительно те же величины, что и коэффициент корреляции, был проведен машинный эксперимент с непрерывными парными выборками объемом $N = 250$ элементов. Усредненные результаты нескольких десятков вариантов представлены в табл. 1.

Выводы

Аналогичные машинные эксперименты были выполнены для выяснения допустимой нижней границы объема парной выборки, робастности МИФ к грубым промахам и к значительному искажению нормального закона распределения. Итак, исследование дало следующие результаты:

1. Предложен модифицированный индекс Фехнера [5], который является преобразованием индекса Фехнера (12) и при соблюдении классических предпосылок корреляционного анализа практически совпадает с коэффициентом корреляции в диапазоне 0,30–0,99.

2. Исследование МИФ на робастность к грубым промахам показало, что он является в 3–5 раз более устойчивым к ним по сравнению с коэффициентом корреляции при наличии грубых промахов (до 5 % от объема выборки).

3. Исследование МИФ на робастность по отношению к объему выборки выявило, что практически полное совпадение МИФ и коэффициента корреляции в диапазоне $r = 0,30–0,99$ сохраняется при $N \geq 130$, при меньших объемах нижняя граница диапазона сдвигается в сторону больших значений и при $N = 20$ диапазон составляет $r = 0,80–0,99$.

4. Исследование МИФ на робастность к виду закона распределения показало, что в силу своего непараметрического происхождения сильная асимметрия влево и вправо от нормального распределения не сказывается на совпадении с коэффициентом корреляции в пределах, указанных в п. 3.

5. Установлено, что предложенный модифицированный индекс Фехнера является мерой тесноты линейной корреляционной связи, робастной к виду закона распределения, наличию грубых промахов и объему выборки (в некоторых пределах), которая при существенно меньшей трудоемкости вычислений практически не отличается от коэффициента корреляции, вычисленного при соблюдении всех предпосылок корреляционного анализа.

Для наглядности приведем таблицу вычисленных мер тесноты линейной корреляционной связи двух парных дихотомических выборок объемом $N = 250$ при значимой и незначимой корреляционной связи (табл. 2).

В заключение в качестве вывода приведем сводную таблицу особенностей и ограничений мер тесноты линейной корреляционной связи для дихотомических выборок (табл. 3).

Таблица 2

Меры тесноты корреляционной связи дихотомических выборок

Связь	Метод расчета	Объем выборки N		
		< 40	40–100	> 100
Есть	Φ	–	0,650	0,694
	$r_{тет}$	–	0,941	0,901
	$C_{исп}$	–	0,771	0,823
	φ	0,006	$8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$
	ТМФ	0,006	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
	МИФ	0,914	0,868	0,888
Нет	Φ	–	0,083	0,010
	$r_{тет}$	–	0,195	0
	$C_{исп}$	–	0,117	0,014
	φ	0,227	0,138	0,451
	ТМФ	0,239	0,144	0,487
	МИФ	0,336	0,216	0,002

Таблица 3

Особенности и ограничения мер тесноты линейной корреляционной связи парных дихотомических выборок

Название метода	Особенности	Ограничения
Коэффициент ассоциации Φ	Устанавливает сам факт наличия (отсутствия) связи между факторами, но не позволяет оценить силу связи	В каждой клетке 2×2 -таблицы должно быть не меньше 10 пар элементов, а общий объем выборки – не менее 40 пар элементов
Тетрахорический коэффициент $r_{тет}$	Только для нормальных распределений	При сильной неравномерности заполнения 2×2 -таблицы $r_{тет}$ становится ненадежным показателем связи
Коэффициент контингентности $C_{исп}$	То же, что для коэффициента ассоциации	То же, что для коэффициента ассоциации
Угловое преобразование Фишера φ	1. Определяет вероятность наличия (отсутствия) связи между факторами: при $p < 0,05$ (для двухстороннего критерия) связь считается установленной, в противном случае – нет 2. Метод свободен от ограничений по объему выборки как снизу, так и сверху вплоть до тех случаев, когда в одной из выборок вообще нет ни одного попадания 3. Метод может быть использован и в случае, когда объемы выборок неодинаковы	
Точечный метод Фишера	1. Полностью совпадает с особенностями УПФ 2. Метод трудоемок	При больших объемах следует прибегать к логарифмированию формулы
Модифицированный индекс Фехнера	1. Не зависит от вида закона распределения 2. Достаточно устойчив при наличии в выборке грубых промахов (до 5 % от объема) 3. Легко считается даже вручную	При объемах выборки $N > 130$ совпадает с коэффициентом корреляции в диапазоне 0,30–0,99. По мере снижения объема выборки до $N = 20$ элементов нижняя граница совпадения с коэффициентом корреляции увеличивается и диапазон составляет 0,75–0,99

Цитированная литература

1. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
2. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов: Пер. с нем. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
4. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. – Л.: Медицина, 1978. – 296 с.
5. Долгов А.Ю. Повышение эффективности статистических методов контроля и управления технологическими процессами изготовления микросхем: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГАПИ, 2000. – 217 с.

УДК 378.146:681.3

О.М. Фурдуй, доц.
А.В. Деткова, ст. преп.

**РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОСНОВНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ»
НА ОСНОВЕ ГОС-3**

Исследовано применение структурных матриц оценочных средств для проведения текущего, промежуточного, рубежного контроля и выставления итоговой оценки. Рассмотрены инновационные методы оценки: модульно-рейтинговая система, кейс-метод, портфолио, метод проектов, экспертная оценка, метод Дельфи.

Государственные образовательные стандарты (ГОС) среднего профессионального образования (СПО) регламентируют оценивание качества подготовки обучающихся и выпускников в двух основных направлениях: оценка уровня освоения дисциплин, оценка компетенций. Реализация первого направления не вызывает особых трудностей и вопросов у педагогов-практиков, так как данный подход является традиционным. Сложнее дело обстоит с выбором адекватных методов оценки уровня компетентности обучающихся и выпускников. Это объясняется тем, что компетентность не сводится к набору компетенций и не является суммой знаний, умений и

навыков, поскольку включает в себя еще и мотивационную, социокультурную, поведенческую составляющие. Она характеризует интегрированные качества личности будущего специалиста и требует использования комплексных методов оценки [1].

Для того чтобы определить уровень компетентности студента, необходимо иметь сведения об успешности его деятельности в профессиональной и социальной сферах, о которой педагог практически ничего не может знать. Реально оценить состоятельность профессионала может только работодатель, поэтому компетентностный подход к формированию образа выпускника является шагом в сто-

Использование традиционных и инновационных форм контроля

Устные	Традиционные формы контроля		Инновационные методы оценки
	Письменные	Технические	
Собеседование Коллоквиум Зачет Экзамен Защита ВКР	Тест Контрольная работа Эссе Реферат Курсовая работа Анализ результатов работы Отчет ВКР, ИЭР	Компьютерная программа тестирования (обучающие и аттестующие тесты) Учебная задача Комплексная ситуационная задача Электронный практикум Виртуальная лабораторная работа	Модульно-рейтинговая система Кейс-метод Портфолио Метод развивающейся кооперации Метод проектов Экспертная оценка (результатов наблюдения, анализа продуктов деятельности, интервью, беседы, решения конкретных ситуаций и др.) Метод Дельфи Дидактическая (деловая и имитационная) игра

Рассмотрим подробнее инновационные методы оценки качества профессиональной подготовки обучающихся.

Модульно-рейтинговая система оценки знаний, умений и навыков, уровня владения компетенциями является эффективным средством контроля и оценки качества обучения в рамках компетентного подхода и представляет собой интегральную оценку результатов всех видов деятельности студента за семестровый период обучения по конкретной дисциплине [4].

Форма контроля учебной деятельности определяется преподавателем в зависимости от вида занятий, предусмотренных рабочей программой:

- для лабораторных занятий – традиционная проверка отчетов, оценка выполненных заданий и др.;
- для практических (семинарских) занятий – оценка выступления, решения задач, разработанных проектов, выполнения контрольных работ и др.;
- для лекций – тестовая оценка знаний (бланковое или компьютерное тестирование в установленное преподавателем время, письменный модульный контроль), экспресс-опрос и др.

Перечень подлежащих оценке видов деятельности и результатов самостоятель-

ной работы студентов проектируется в соответствии с учебным материалом, разбитым на модули, компетенциями, освоение которых дисциплина должна обеспечить, и содержанием реальной профессиональной деятельности. Перечень доводится до сведения обучающихся. Результаты деятельности студента (конкретные документы, разработки, рецензии и пр.) составляют содержание учебного портфолио по дисциплине.

К признакам рейтинговой системы можно отнести:

- наличие индивидуального числового показателя оценки овладения студентом необходимыми компетенциями и входящими в них знаниями, умениями и навыками по дисциплине;
- дробление процесса обучения по принципу блочно-модульной системы с четким фиксированием результатов (видов деятельности, самостоятельное выполнение которых демонстрирует уровень освоения компетенций);
- зависимость текущей и итоговой оценки студента от качества выполнения модулей дисциплины;
- использование индивидуального рейтинга как средства мотивации деятельности отдельных студентов и группы в целом.

Портфолио (от франц. *porter* – излагать, формулировать, нести и лат. *folio* – лист, страница) – досье, собрание достижений. В наиболее простом понимании это папка достижений как личных, так и групповых.

В широком смысле портфолио является не только папкой достижений, но и методом эффективного рационального продвижения будущих профессионалов на рынке труда, оценивания имеющихся у них ключевых компетенций, достижений в образовательной, научно-исследовательской, общественной деятельности, а также перспектив делового, профессионального и творческого роста [4].

Портфолио представляет собой модель аутентичного оценивания, которое нацелено на выявление:

- объективно существующего уровня знаний и умений;
- пробелов в подготовке;
- трудностей усвоения материала;
- уровня сформированности профессиональных компетенций и их совершенствования путем внесения коррекции в образовательный процесс;
- положительных мотивов учения;
- заинтересованности в выбранном виде деятельности;
- развития мыслительной деятельности;
- критического отношения к учебной деятельности;
- возможности для рефлексии студентами собственных изменений и работы для установления связи между предыдущим и настоящим уровнями компетентности.

Кроме того, аутентичное оценивание в большей степени способствует формированию адекватной профессиональной самооценки, культуры мышления, логики, умений анализировать, обобщать, систематизировать, классифицировать.

Создание портфолио – творческий процесс, позволяющий в течение обучения

учитывать результаты, достигаемые студентом в разнообразных видах деятельности: учебной, научно-практической, творческой, социальной, коммуникативной.

Вид портфолио может быть задан преподавателем или выбран по желанию студента.

В последнее время актуальность приобретает портфолио карьерного продвижения (ПКП), которое представляет собой пакет документов в бумажном и/или электронном варианте, отражающий все достижения студента. Портфолио составляется для обеспечения эффективного взаимодействия с преподавателями и кураторами в период обучения, а также с потенциальными работодателями после окончания учебного заведения.

ПКП в минимизированном варианте должно включать следующие пункты:

- профессионально составленное, отвечающее современным требованиям резюме;
- список пройденных учебных курсов основной области деятельности и связанных с ней областей знания, включая дополнительную специализацию, тренинги, специализированные семинары и мастер-классы ведущих преподавателей;
- список внеучебных мероприятий и любых занимаемых студентом должностей, где на практике применяются навыки лидерства (например, староста группы, руководитель научной студенческой группы и т. д.);
- описание карьерного потенциала и готовности к карьере с точки зрения приобретения навыков и опыта;
- рекомендации преподавателей, руководителей курсовых проектов, выпускных квалификационных работ, производственных практик;
- сведения об участии в олимпиадах, конкурсах, конференциях, учебных семинарах;
- спортивные и иные достижения.

Портфолио карьерного продвижения имеет двойное предназначение: с одной стороны, оценка учебных успехов и достижений, а с другой – оценка готовности к профессиональной карьере.

ПКП позволяет работодателю легко определить уровень подготовки и увидеть весь спектр умений и способностей кандидата и создает условия для принятия оптимального кадрового решения.

Метод проектов – совокупность учебно-познавательных приемов, которые позволяют решить ту или иную проблему в результате самостоятельных действий обучающихся с обязательной презентацией этих результатов [5].

В рамках компетентного подхода предпочтение отдается междисциплинарным проектам. Результаты выполненных проектов должны быть осязаемыми, т. е. если это теоретическая проблема, то необходимо разработать конкретное решение, если практическая – представить конкретный продукт, готовый к внедрению.

Метод Дельфи является разновидностью мозгового штурма, методом быстрого поиска решений, который основан на их генерации в процессе мозговой атаки, проводимой группой специалистов, и отборе лучшего решения исходя из экспертных оценок. Дельфийский метод используется для экспертного прогнозирования путем организации системы сбора и математической обработки экспертных оценок.

Экспертная оценка. Целесообразность использования экспертной оценки в организуемом процессе продиктована тем, что при оценке уровня профессиональной и личностной компетентности речь, прежде всего, идет о социальном результате, который способствует удовлетворению потребностей будущего специалиста и общества (рынка труда), не получающих, как правило, стоимостной оценки. Некоторые проявления социального эффекта компетентности будущего специалиста нельзя

измерить прямо или косвенно, здесь приходится ограничиваться лишь качественными показателями.

Термином «эксперт» обозначают в общем случае специалиста, компетентного в решении данной задачи.

Если экспертные суждения могут интерпретироваться как оценочные, то их относят к коллективным или индивидуальным экспертным оценкам.

Процесс выявления индивидуальных экспертных суждений (оценок) составляет суть экспертного опроса. Реализуемая при этом в научно-организованном виде совокупность стандартизированных процедур, необходимых для получения коллективного экспертного суждения, носит название экспертизы.

Полагаем, что в процессе профессиональной подготовки на основе компетентного подхода целесообразным является привлечение в качестве экспертов педагогов, специалистов-практиков, социальных партнеров факультета, работодателей и научно-педагогической общественности для оценки результатов учебной, профессиональной, исследовательской и творческой деятельности студентов и приобретенного ими личностного и профессионального опыта.

Кейс-измерители – специальные проблемные задачи, в которых студенту предлагается осмыслить жизненную или профессиональную ситуацию. При их решении он должен использовать понятия и методы из разных учебных дисциплин, переносить технологии из освоенной области в новую сферу, строить модели и оценивать их адекватность. В этом случае имитируется профессиональная ситуация. Совокупность таких ситуационных моделей называется кейсом. Работа над ним может осуществляться как в самостоятельном режиме, так и в сотрудничестве с другими студентами с привлечением научной литературы для обоснования своего выбора оптимального решения [4].

При разработке кейса важно подобрать ситуационные задания педагогической или предметной направленности и обеспечить надежность и сопоставимость результатов измерения. Целесообразно предлагать не только подробное описание ситуаций, но и перечень вопросов к ним. Выполнение задания предполагает демонстрацию способов решения задачи. Это может быть защита проекта, проведение эксперимента, его анализ и др. Результаты решения задачи оцениваются экспертами по предложенным критериям.

Таким образом, в реальных условиях реализации компетентного подхода в процессе подготовки специалистов методы его осуществления выступают в сложном и противоречивом единстве, гармоничной и организованной системе. Значимым является разумное сочетание описанных методов с традиционными. На различных этапах организуемого процесса тот или иной метод может применяться в более или менее изолированном виде.

Цитированная литература

1. Елагина Л.В. Формирование культуры профессиональной деятельности будущего специалиста на основе компетентного подхода: Монография. – М.: Спутник+, 2008. – 413 с.
2. Иванов Д.А. Компетенции и компетентный подход в современном образовании // Завуч. – 2008. – № 1. – С. 4–24.
3. Проектирование оценочных средств компетентно-ориентированных основных образовательных программ для реализации уровня профессионально-педагогического образования: Метод. пособие / Авт.-сост.: И.В. Осипова, О.В. Тарасюк, А.М. Старкова. – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО РГППУ, 2010. – 72 с.
4. От профессионального стандарта к содержанию и технологиям образования / Авт.-сост.: Л.В. Елагина, И.Г. Золкина, Н.А. Сергеева. – Оренбург, 2010. – 68 с.
5. Компетенции в образовании: опыт проектирования: Сб. науч. тр. / Под ред. А.В. Хуторского. – М.: ИНЭК, 2007. – 327 с.

УДК 621.785.52;621.785.533

Н.И. Корнейчук, канд. техн. наук, доц.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Изложены результаты экспериментальных исследований влияния режимов термообработки на микротвердость, вязкость, прочность сцепления, контактную усталостную прочность и износостойкость электролитических хромовых покрытий, осажденных из холодного саморегулирующегося и универсального электролитов. Установлены закономерности изменения механических свойств, корреляция между физико-механическими свойствами и структурой покрытий, а также оптимальные условия термообработки покрытий, обеспечивающие повышение физико-механических свойств исследуемых покрытий.

В результате ранее выполненных исследований установлено, что на изменение параметров микро- и субмикроструктуры хромовых покрытий влияют не только ре-

жимы электролиза, но и условия термообработки покрытий [1, 2]. В работах [3, 4, 5 и др.] подтверждается взаимосвязь между структурой и физико-механическими

свойствами (ФМС) хромовых покрытий. Знание закономерностей изменения ФМС в зависимости от условий электролиза и режимов термической обработки позволяет объективно оценить и выбрать способ и условия нанесения гальванических покрытий при решении инженерно-технологических задач. Немаловажную роль в выборе способа и условий восстановления играют конструктивно-технологические особенности сопрягаемых деталей.

Анализ работы механизмов и узлов машин показывает, что ресурсопределяющими являются те пары трения, которые работают в условиях граничного трения и подвергаются контактно-циклическому нагружению. Они составляют около 85 % от всех сопряжений машин. Такие детали изготавливают из малоуглеродистых легированных сталей и подвергают термической или химико-термической обработке. В этой связи возникает необходимость выявить степень влияния режимов термообработки гальванических хромовых покрытий на такие важные физико-механические свойства, как микротвердость, вязкость, прочность сцепления покрытий с основой, контактная усталостная прочность и износостойкость, с целью использования их для восстановления и упрочнения тяжело нагруженных деталей машин.

Методика исследований

Для оценки физико-механических свойств исследуемых покрытий в качестве объектов исследований использовали соответствующие образцы, которые изготавливали из стали 20Х, подвергали цементации в газовом карбюризаторе в шахтной печи Ц-35 при температуре 1203...1253 К в течение 7 ч. Затем их подстуживали до 1103...1113 К, закаливали в моторном масле (ГОСТ 10545-63) и подвергали низкотемпературному отпуску при температуре 473 К

с выдержкой в течение 2 ч. При этом глубина цементации составляла $1,1 \pm 0,1$ мм, а твердость *HRC* 58...62. Исследуемые образцы, подлежащие хромированию, шлифовали до $Ra = 0,32...0,63$ мкм. На них наносили хромовые покрытия, полученные при оптимальных режимах электролиза из электролитов [6], состав которых представлен в таблице. Эти электролиты получили наибольшее распространение в машиностроении и ремонтном производстве благодаря физико-химическим свойствам.

При исследовании влияния режимов термообработки на физико-механические свойства хромированные образцы нагревали до температуры в диапазоне 373...773 К с выдержкой установленной температуры в течение 2 ч.

Микротвердость покрытий определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с нагрузкой на индентор 100 г.

Прочность сцепления покрытий с основой (сталь 20Х) определяли методом отрыва штифтов [7] на разрывной машине РМ-05 при нормальном приложении к ним силы. Толщину покрытия выбирали с таким расчетом, чтобы исключить возможность его срезания по периметру.

Вязкость осадков хрома определяли по потере массы покрытия при сжатии испытуемого образца на 25 % от его первоначальной длины [5].

Для определения величины предела контактной усталостной прочности покрытий использовали полусферические образцы диаметром $22 \pm 0,01$ мм. Испытания проводили на трехконтактной четы-

Состав электролитов хромирования

№ электролита	Тип электролита	Состав электролита	
		Компоненты	Содержание, г/л
1	Универсальный	CrO ₃ H ₂ SO ₄	250 2,5
2	Холодный саморегулирующийся	CrO ₃ CaCO ₃ CoSO ₄	400 60 18...20

рехроликовой машине по разработанной нами методике [8].

За базу испытаний принимали $N = 5 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Предел контактной усталостной прочности определяли как величину напряжения, отличающую границу двух зон: зоны прогрессирующего усталостного выкрашивания и зоны отсутствия прогрессирующего выкрашивания. За начало зоны усталости принимали образование на поверхности образцов прогрессирующих микровыкрашиваний площадью более $0,5 \text{ мм}^2$.

Величину максимальных контактных напряжений, действующих в зоне локального контакта, определяли по формуле

$$\sigma_{max} = 0,795 \sqrt{\frac{P \cdot E_1 \cdot E_2}{d_{np} \cdot l_p (E_1 + E_2)}},$$

где σ_{max} – максимальное нормальное напряжение, действующее в зоне контакта, МПа; P – усилие, сжимающее цилиндры (испытуемый ролик, контртела), Н; E_1 , E_2 – модули упругости первого рода соответственно материала контртела и исследуемого покрытия, МПа; l_p – рабочая длина локального контакта, м; d_{np} – приведенный диаметр контактирующих тел.

$$d_{np} = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2},$$

где d_1 и d_2 – диаметры соответственно испытуемого и контактирующего контртела (ролика).

Износостойкость электролитических покрытий исследовали на машине трения СМЦ-2 в условиях граничного трения-скольжения по схеме ролик–колодка при скорости скольжения $0,925 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и внешней нагрузке $9,8 \text{ МПа}$. Контртело-колодка из стали 20ХНМ цементировано и закалено до $HRC 60...63$ с площадью контакта 100 мм^2 . Ролик изготовлен из стали 20Х диаметром $50 \pm 0,01 \text{ мм}$, на который наносили хромовые покрытия. Граничные трения обеспечивались равномерной по-

дачей к поверхности трения гипоидной смазки ТС-14,5 (одна капля через 7 мин.). Величину износа определяли гравиметрическим методом с точностью $0,0001 \text{ г}$ [9].

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что режимы термообработки оказывают влияние на микротвердость, вязкость, прочность сцепления, предел контактной усталостной прочности и износостойкость хромовых покрытий, осажденных из универсального и холодного саморегулирующегося электролита с ионами кобальта.

Так, изменение температуры нагрева образцов, хромированных в электролитах № 1 и 2 (см. таблицу), от 293 до 773 К приводит к снижению микротвердости покрытий (рис. 1). Установлено, что при их нагреве до 473 К более заметное уменьшение микротвердости ($H\mu$) происходит у покрытий, полученных из универсального электролита, – от 10800 до 8000 МПа (см. рис. 1, кривая 2), в то время как у покрытий, полученных из электролита № 2, $H\mu$ снижается только на 880 МПа (см. рис. 1, кривая 1).

Таким образом, проведенные исследования показали, что хромовые покрытия, полученные из электролита № 2, являются более стабильными по сравнению с осажденными в электролите № 1.

Снижение микротвердости с повышением температуры нагрева, вероятно, можно объяснить уменьшением плотности дислокации, микронапряжений и роста блоков мозаики [1]. Менее интенсивное снижение $H\mu$ покрытий, полученных из электролита № 2, по-видимому, связано с тем, что в них содержится большее количество гидроокиси, чем у осадков из универсального электролита, которое остается

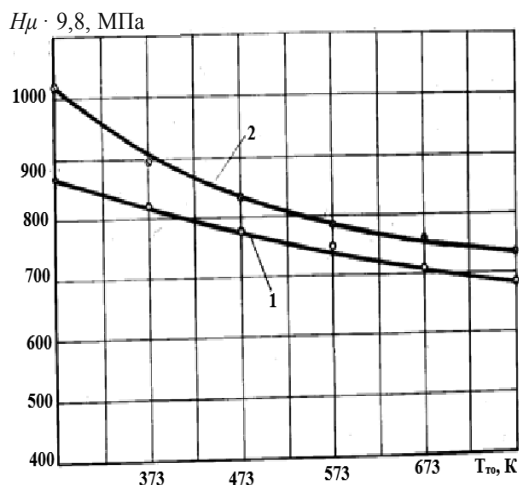


Рис. 1. Влияние температуры отпуска на микротвердость хромовых покрытий, полученных из холодного саморегулирующегося (1) и универсального (2) электролитов: 1 – Дк = 120 А/дм², T_{эл} = 295 К; 2 – Дк = 50 А/дм², T_{эл} = 328 К

в покрытиях и после нагрева, что тормозит дальнейшее развитие дислокаций.

Итак, из анализа полученных результатов следует, что варьируя параметры процесса электроосаждения и термообработки, можно изменять в широком диапазоне микротвердость покрытий, что увеличивает область их использования для восстановления деталей, работающих в различных условиях.

По итогам исследований также было установлено, что температура термообработки оказывает влияние на вязкость и прочность сцепления покрытий с основой (рис. 2). Так, нагрев до 323...523 К способствует повышению прочности сцепления на 10...12 % (см. рис. 2, кривая 1), что может быть вызвано диффузионными процессами на границе раздела сталь–хром.

Дальнейшее повышение температуры способствует понижению $\sigma_{сц}$, что, возможно, вызвано влиянием внутренних напряжений, а также структурными изменениями, происходящими при данных температурах. Выявлено, что повышение

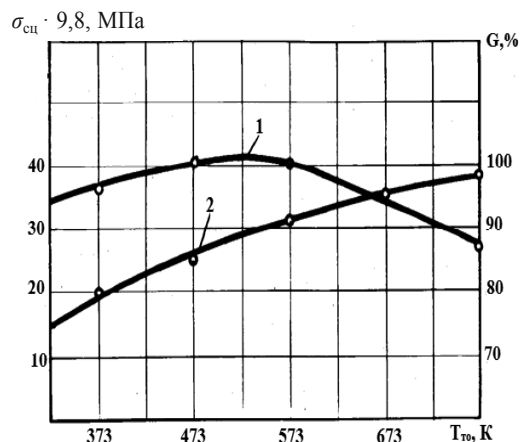


Рис. 2. Влияние на прочность сцепления (1) и вязкость (2) температуры нагрева хромовых покрытий, полученных из электролита № 2 при Дк = 120 А/дм² и T_{эл} = 295 К

температуры нагрева во всем исследуемом диапазоне способствует повышению пластичности (вязкости) хромовых покрытий. Это, вероятно, можно объяснить тем, что с повышением температуры нагрева происходит снижение микротвердости и увеличение размеров блоков мозаики покрытий.

Одной из важнейших характеристик машиностроительных материалов, которые определяют надежность и долговечность как новых, так и восстановленных деталей машин и конструкций, подвергающихся в процессе работы контактно-циклическому нагружению, выступает контактная усталостная прочность. При контактном циклическом нагружении усилия, прилагаемые к сопрягаемым деталям, распределяются на сравнительно малых (локальных) участках поверхности, вызывая разного рода явления, приводящие к существенным изменениям состояния их рабочих поверхностей. Анализ литературных данных [6, 10, 11 и др.] показал, что основной формой разрушения таких деталей является усталостное выкрашивание

рабочей поверхности (питтингообразование).

В результате исследований было обнаружено, что нагрев испытуемых образцов, хромированных в электролите № 2, до 473...523 К с выдержкой при данной температуре в течение 2 ч., а затем охлаждение в печи приводит к повышению предела контактной усталостной прочности покрытий на 8...10 %, а дальнейшее увеличение температуры нагрева до 673 К способствует снижению σ_k на 5 % (рис. 3, кривая 1).

Повышение σ_k с возрастанием температуры до 473 К, вероятно, связано с тем, что при данной температуре из покрытия удаляется около 99 % атомарного водорода [2], уменьшаются внутренние напряжения, повышается вязкость покрытия – все это в совокупности способствует более равномерному протеканию процесса пластической деформации покрытия. Снижение σ_k с дальнейшим повышением температуры, возможно, вызвано значительным ухудшением механических свойств покрытия.

Определенное влияние на величину предела контактной усталостной прочности оказывает толщина покрытия (см. рис. 3, кривая 2). Так, с увеличением толщины покрытия от 0,05 до 0,15 мм предел контактно-усталостной прочности у деталей, хромированных в электролите № 2, повышается и составляет соответственно от 1940 до 2140 МПа. Дальнейшее увеличение толщины покрытия до 0,4 мм не оказывает заметного влияния на значение σ_k . Такой характер изменения предела контактной усталостной прочности можно объяснить тем, что с повышением толщины покрытия меняется характер распределения как внутренних, так и касательных напряжений при действии контактных нагрузок.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что наибольшим пределом контактной усталостной прочности обладают детали, хромиро-

ванные в холодном саморегулирующемся электролите толщиной 0,15...0,4 мм, термически обработанные при 473...523 К.

В результате дальнейших исследований было выявлено, что среди хромовых покрытий, полученных из электролитов № 1 и 2 и не подвергнутых термообработке, несколько большей износостойкостью обладают осадки из универсального электролита (рис. 4).

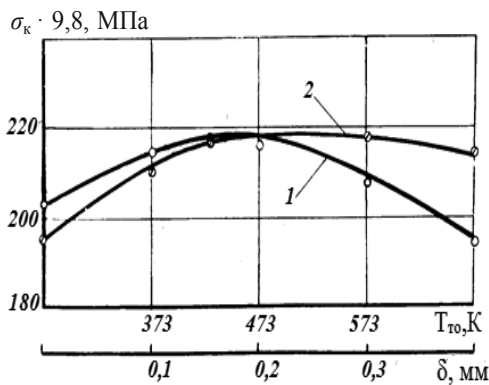


Рис. 3. Влияние температуры термообработки (1) и толщины покрытия (2) на величину пределов контактной усталостной прочности хромовых покрытий, полученных из электролита № 2 при $T_{эл} = 295$ К, $D_k = 120$ А/дм²

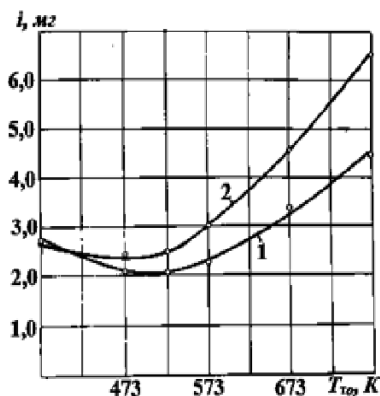


Рис. 4. Влияние температуры термообработки хромовых покрытий на величину их износа, полученных из электролитов № 2 (1) и № 1 (2) при: 1 – $D_k = 120$ А/дм², $T_{эл} = 293$ К; 2 – $D_k = 55$ А/дм², $T_{эл} = 333$ К

Однако проведение послеэлектролизного нагрева хромированных образцов от 373 до 773 К с выдержкой при данных температурах в течение 2 ч. позволило установить, что зависимость $i = f(T_{\text{то}})$ имеет нелинейный характер, а максимальная износостойкость в обоих случаях находится в диапазоне $T_{\text{то}} = 473...523$ К, что коррелирует с закономерностями изменения параметров тонкой структуры, указанными в работе [1]. При этом увеличение износостойкости более значительно у покрытий, полученных в холодном саморегулирующемся электролите. Кроме того, с повышением температуры нагрева (более 573 К) интенсивность их изнашивания возрастает в меньшей степени (см. рис. 4, кривая 1), чем у покрытий из универсального электролита (см. рис. 4, кривая 2).

Полученные данные позволяют заключить, что операция обезводороживания покрытий с нагревом их до температуры 523 К является целесообразной с точки зрения не только увеличения прочности сцепления, вязкости и контактной усталостной прочности, но и повышения ресурса при восстановлении одной из этих деталей сопряжения хромированием.

Заключение

Установлено влияние режимов послеэлектролизного нагрева хромовых покрытий на закономерности изменения физико-механических свойств (микротвердости, вязкости, прочности сцепления, контактной усталостной прочности и износостойкости) хромовых покрытий, осажденных из универсального и холодного саморегулирующегося электролитов.

Выявлено, что установленные закономерности изменения физико-механических свойств хромовых покрытий в зависимости от режимов термообработки коррелируют со структурными изменениями покрытий.

Определены оптимальные режимы термической обработки. Обнаружено, что нагрев хромированных деталей до 473...523 К способствует повышению прочности сцепления на 14...17 %, предела контактной усталостной прочности на 8...10 % и износостойкости на 16...30 %. При этом снижение микротвердости покрытий из универсального электролита составляет 25 %, а из холодного саморегулирующегося – 14 %.

Рекомендуется для восстановления и упрочнения тяжело нагруженных деталей машин использовать хромовые покрытия, осаждаемые из холодного саморегулирующегося электролита при катодной плотности тока 120 ± 10 А/дм², температуре электролита 294 ± 2 К и температуре термообработки 473...523 К.

Цитированная литература

1. **Корнейчук Н.И.** Влияние условий термообработки на структуру хромовых покрытий // Вестник Приднестр. ун-та. Сер.: Физ.-мат. и техн. науки. – 2013. – № 3. – С. 90–96.
2. **Ковбасюк А.И.** Выбор условий электролиза для ремонта изношенных автотракторных деталей хромированием в холодном саморегулирующемся электролите: Дис. ... канд. техн. наук. – Кишинев, 1975.
3. **Гамбург Ю.Д.** Электрохимическая кристаллизация материалов и сплавов. – М.: Янус-К, 1997. – 384 с.
4. **Вороницын И.С.** Исследование механических свойств хромовых покрытий, применяемых для упрочнения и восстановления деталей машин. – Л., 1963.
5. **Молчанов В.Ф.** Хромирование в саморегулирующихся электролитах. – Киев: Техника, 1972. – 155 с.
6. **Корнейчук Н.И.** Влияние условий нанесения хромовых покрытий на контактную усталостную прочность восстанавливаемых деталей // Вісник Харківського національного технічного університету. – 2009. – С. 75–82.

7. Ваграмян А.Т., Соловьева З.А. Методы исследования электроосаждения металлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 446 с.
8. Корнейчук Н.И. Экспериментальная машина для исследования контактной усталостной прочности // UASM. – 2010. – № 2. – С. 65–69.
9. Корнейчук Н.И. Приработка электролитических хромовых покрытий // Труды Всероссийского научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: ГОСНИТИ, 2010. – С. 170–175.
10. Пинегин С.В., Шевелев И.А., Гудченко В.М. и др. Влияние внешних факторов на контактную прочность при качении. – М.: Наука, 1972.
11. Какуевичкий В.А., Силкин А.С. Пути повышения долговечности карданных сочленений транспортных машин // Вестник машиностроения. – 1969. – № 3.

УДК 519.23:616-089

А.В. Курсанова, канд. пед. наук, доц.

А.И. Паламарчук, магистр техники и технологии

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАБОРОМ ПАРАМЕТРОВ ПАЦИЕНТА И СЛОЖНОСТЬЮ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Изложены результаты исследования применимости искусственных нейронных сетей как структур, позволяющих решать задачи аппроксимации и классификации наборов данных, на примере медицинских данных описания сложности проводимой врачом операции в зависимости от ранее полученных параметров пациента.

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой технологию, связанную с большим количеством дисциплин: нейрофизиологией, математикой, статистикой, физикой, компьютерными технологиями и техникой.

В статье представлены результаты исследования применимости нейронных сетей в качестве аналога математических моделей для прогнозирования результата некоторого процесса. Такой подход связан с тем, что структура ИНС, состоящей из набора входных параметров и зачастую меньшего набора выходных параметров, позволяет применять ее в моделировании, где само состояние нейронной сети не имеет никакого значения: важно лишь то, что подается на вход модели и что получается на ее выходе.

Результатом математического моделирования какого-либо процесса выступает некоторая математическая модель. Результатом построения ИНС, способной моделировать рассматриваемый процесс, является ее структура.

Тесная связь между методами математической статистики и нейросетевым программированием выражается в необходимости построения репрезентативного множества, которое используется для построения и анализа сети. Предполагается, что преимуществом ИНС перед математическими моделями должна стать общность методов построения самих сетей. Однако эта общность построения может быть потеряна при использовании различных методик обучения нейронной сети, которые могут варьироваться от задачи

к задаче. Анализируя результат работы нейронной сети, можно, так же как и при использовании математической модели, судить о законе распределения всех изучаемых объектов или явлений, основываясь на результатах исследования обучающего и пользовательского множеств.

Необходимым является изучение зависимости качества построенной структуры ИНС от наличия во входном наборе сильнокоррелированных параметров (входов), которые не допускаются при построении математической модели, описывающей функциональную либо регрессионную зависимость исследуемого параметра от входных факторов.

В анализе использовалось несколько наборов данных. Один из наборов был связан с медицинской сферой деятельности и описывал сложность проводимой врачом операции в зависимости от ранее полученных параметров пациента. В исходном наборе данных имеется 181 строка измерений, что является оптимальным при создании математической модели. Однако при обучении ИНС исходный набор данных необходимо разбивать на несколько множеств.

Для исключения возможности переобученности сети контрольная выборка должна быть разбита на несколько множеств, одно из которых используется для ее обучения, другое – для независимой проверки текущей ошибки ИНС. Если на обучающем множестве ошибка ИНС уменьшается, а на проверочном множестве – растет, значит, сеть стала переобучаться и процесс ее обучения следует остановить либо начать обучение с другой случайной точки поверхности ошибок, т. е. осуществить новую генерацию начальных варьируемых параметров ИНС [1].

В идеале разбиение исходного множества должно осуществляться на три подмножества в отношении 6-2-2. Самое большое обучающее множество занимает 60 % всех исходных строк. Множество проверки на переобученность и множество тестовых зна-

**Перечень кодированных факторов
при анализе сложности операции**

Y	Степень сложности ЛХЭ (1–4 ст.)
X ₁	Возраст
X ₂	Количество лет каменносительства
X ₃	Длина ЖП, мм (0 – невозможно определить)
X ₄	Ширина ЖП, мм (0 – невозможно определить)
X ₅	Толщина стенки, мм (0 – невозможно определить)
X ₆	Слоистая, нечеткая стенка, абсцессы до 10 мм (нет – 0 или есть – 1)
X ₇	Максимальный размер конкрементов (0 – нет камней или нельзя определить)
X ₈	Стенки нельзя увидеть – сплошная эхотень (нет – 0 или есть – 1)
X ₉	Желчный пузырь заполнен более чем на 1/2 (нет – 0 или есть – 1)
X ₁₀	Конкремент в шейке, мм (0 – нет)
X ₁₁	Время от начала приступа ОКХ, сутки (нет – 0 или есть – 1)
X ₁₂	Симптомы Мерфи, Грекова, Керра (нет – 0 или есть – 1)
X ₁₃	Местные перитонеальные симптомы (нет – 0 или есть – 1)
X ₁₄	Лейкоциты крови

чений одинаковы по своему объему и занимают по 20 % от исходного набора данных.

В результате анализа измеряемых в процессе исследования пациента факторов методом корреляционных плеяд был выделен ряд слабокоррелированных параметров. Полный перечень выделенных факторов, а также целевая классифицирующая переменная представлены в табл. 1.

Так как в одну из плеяд входило 11 факторов, выделить из которых один представитель оказалось невозможным, было принято решение о построении 11 моделей взаимодействия каждого из представителей оставшихся плеяд с каждым фактором из этой плеяды.

Для результирующего расчета значения класса сложности операции необходимо определить среднее значение результатов по 11 моделям, которые были получены при помощи модифицированного метода случайного баланса. Полученные модели представлены в системе уравнений:

$$\begin{cases} Y_3 = -0,41 + 0,008 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3, \\ Y_4 = -0,7 + 0,008 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_4, \\ Y_5 = 0,4 + 0,005 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_7 + 0,03 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_5, \\ Y_6 = 0,47 + 0,001 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 1,02 \cdot X_6, \\ Y_8 = 0,6 + 0,01 \cdot X_1 + 0,022 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,56 \cdot X_8, \\ Y_9 = 0,64 + 0,01 \cdot X_1 + 0,02 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,38 \cdot X_9, \\ Y_{10} = 0,79 + 0,007 \cdot X_1 + 0,008 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_{10}, \\ Y_{11} = 0,74 + 0,007 \cdot X_1 + 0,007 \cdot X_7 + 0,042 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_{11}, \\ Y_{12} = 0,79 + 0,006 \cdot X_1 + 0,007 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_{12}, \\ Y_{13} = 0,73 + 0,007 \cdot X_1 + 0,02 \cdot X_7 + 0,05 \cdot X_2 + 1,26 \cdot X_{13}, \\ Y_{14} = -0,065 + 0,008 \cdot X_1 + 0,014 \cdot X_7 + 0,04 \cdot X_2 + 0,14 \cdot X_{14}. \end{cases} \quad (1)$$

Из системы уравнений (1) видно, что обозначение модельного значения Y связано с тем параметром X , который на данном этапе перебора полученных моделей рассматривается.

Из плеяд факторов были выделены три параметра: X_1 , X_7 и X_2 . Так, например, Y_3 зависит от выделенных из плеяд параметров и параметра перебора X_3 . Для определения результирующего значения модели Y необходимо найти значения Y_n для каждого из факторов перебора, а затем вычислить среднее значение между данными значениями.

Определенное по представленным результатам среднее значение итоговой модельной функции отражено в табл. 2.

Для определения качества работы построенной модели было принято решение использовать индекс корреляции, который рассчитывается по формуле

$$i = \sqrt{1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)^2}}, \quad (2)$$

где n – число строк в таблице исходных данных; Y_t – исходное значение целевой функ-

ции; \hat{Y}_t – полученное модельное значение; Y_t – среднее значение целевой функции [2].

Для введения зависимости индекса корреляции от количества рассматриваемых параметров используется поправленный индекс корреляции, который рассчитывается по формуле

$$i' = \sqrt{1 - (1 - i^2) \frac{n-1}{n-m}}, \quad (3)$$

где i – рассчитанный по формуле (2) индекс корреляции; m – число рассматриваемых факторов [2].

При определении индекса корреляции для описанных выше моделей по формуле (2) было получено значение $i = 0,757071$. С учетом исследуемых 14 факторов и применением формулы (3) получено значение поправленного индекса корреляции $i' = 0,734799$.

При построении ИНС, описывающей рассмотренную зависимость между набором параметров пациента и сложностью проводимой операции, было решено исследовать качество работы сетей двух типов: многослойного персептрона (МСП) и сети радиальных базисных функций (РБФ). Применение сети РБФ в данном случае считается хорошим подходом, так

Рассчитанные средние значения итоговой модели

№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}	№	\bar{Y}
1	1	21	1	41	2	61	1	81	1	101	1	121	1	141	1	161	2
2	2	22	1	42	1	62	1	82	1	102	1	122	2	142	1	162	2
3	1	23	1	43	1	63	1	83	2	103	1	123	1	143	1	163	1
4	3	24	1	44	1	64	3	84	1	104	3	124	1	144	3	164	1
5	1	25	1	45	1	65	2	85	1	105	1	125	2	145	1	165	2
6	1	26	1	46	2	66	1	86	1	106	3	126	2	146	1	166	1
7	2	27	2	47	1	67	2	87	1	107	2	127	1	147	2	167	2
8	3	28	1	48	1	68	1	88	1	108	3	128	1	148	1	168	1
9	1	29	2	49	2	69	1	89	1	109	2	129	2	149	1	169	3
10	2	30	2	50	1	70	1	90	1	110	2	130	1	150	1	170	2
11	1	31	1	51	2	71	1	91	1	111	1	131	3	151	2	171	1
12	2	32	1	52	2	72	1	92	1	112	1	132	2	152	1	172	2
13	1	33	2	53	3	73	2	93	3	113	1	133	2	153	2	173	3
14	1	34	1	54	1	74	2	94	3	114	1	134	2	154	2	174	1
15	3	35	1	55	1	75	3	95	1	115	2	135	1	155	1	175	2
16	1	36	1	56	1	76	1	96	1	116	1	136	1	156	3	176	1
17	2	37	2	57	2	77	1	97	2	117	2	137	1	157	1	177	1
18	1	38	2	58	1	78	3	98	1	118	3	138	1	158	1	178	3
19	2	39	2	59	2	79	1	99	1	119	1	139	2	159	2	179	3
20	1	40	1	60	1	80	2	100	2	120	1	140	2	160	1	180	1
																181	1

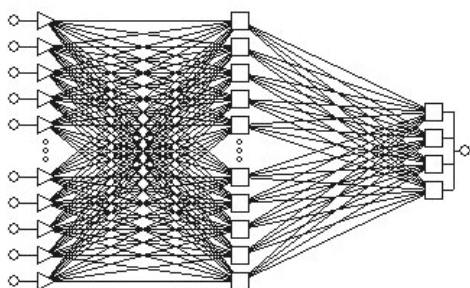


Рис. 1. Структура многослойного персептрона

как процесс ее обучения занимает намного меньше времени, чем ИНС типа МСП.

Разбиение исходного множества осуществлялось не на три подмножества, как требуется, а на два. Это связано с небольшим числом исходных наблюдений. Разбиение производилось на обучающее множество и множество проверки переобученности (тестовое множество).

Построенная сеть типа МСП (рис. 1) имеет один промежуточный слой, в котором расположены 13 нейронов. Стоит отметить, что фактор № 12 в табл. 1 в данной сети не вносит свой вклад в ее работу, т. е. является незначимым. Таким образом, представленная на рис. 1 сеть типа МСП имеет структуру 13-13-4-1, что означает наличие 13 входов и 13 нейронов, находящихся в промежуточном слое. Четыре нейрона выходного слоя используются для определения класса выходного образа, т. е. сложности операции. Порядок активного нейрона определяет искомый класс.

Алгоритмом обучения нейронной сети в данном случае выступил алгоритм обратного распространения ошибки, поскольку он наиболее часто применяется при обучении сетей типа многослойный персептрон [3].

Результаты работы сети типа РБФ на исходных данных

№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H	№	Y_H
1	1	21	1	41	1	61	1	81	1	101	1	121	1	141	1	161	3
2	2	22	1	42	1	62	1	82	1	102	1	122	2	142	1	162	2
3	1	23	1	43	1	63	1	83	3	103	1	123	1	143	1	163	1
4	3	24	1	44	1	64	2	84	3	104	3	124	1	144	2	164	3
5	1	25	1	45	1	65	2	85	1	105	1	125	2	145	1	165	2
6	1	26	1	46	2	66	1	86	1	106	3	126	1	146	1	166	1
7	2	27	2	47	1	67	3	87	1	107	3	127	1	147	3	167	3
8	3	28	1	48	1	68	1	88	1	108	2	128	1	148	1	168	2
9	1	29	2	49	2	69	1	89	1	109	3	129	1	149	1	169	2
10	2	30	3	50	1	70	1	90	1	110	3	130	1	150	1	170	1
11	1	31	1	51	1	71	1	91	1	111	1	131	2	151	3	171	1
12	1	32	1	52	2	72	1	92	1	112	1	132	2	152	1	172	1
13	1	33	2	53	2	73	1	93	2	113	1	133	2	153	1	173	3
14	1	34	1	54	1	74	1	94	3	114	1	134	1	154	2	174	1
15	3	35	1	55	1	75	2	95	2	115	2	135	1	155	1	175	2
16	1	36	1	56	3	76	1	96	1	116	1	136	1	156	2	176	1
17	1	37	2	57	2	77	1	97	2	117	2	137	1	157	1	177	1
18	1	38	1	58	1	78	2	98	1	118	2	138	1	158	1	178	2
19	2	39	2	59	1	79	1	99	1	119	1	139	3	159	2	179	2
20	1	40	1	60	1	80	2	100	3	120	1	140	2	160	1	180	1
																181	1

в трех опорных точках. Результаты работы построенной сети типа РБФ представлены в табл. 4.

Для сети РБФ индекс корреляции, рассчитанный по формуле (2), равен $i = 0,629962$, поправленный индекс корреляции с учетом количества рассматриваемых факторов принимает значение $i' = 0,591524$.

Из полученных результатов работы сети типа РБФ видно, что она показала себя хуже, чем ИНС типа МСП и математическая модель.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что на рассмотренном наборе данных лучше в применении показали себя ИНС типа МСП, нежели методы математического моделирования. Это связано с количеством варьируемых параметров и числом итераций обучения

сети. Однако ИНС не позволяют увидеть описание исследуемого процесса в каком-либо виде, что, несомненно, является преимуществом математического моделирования.

Цитированная литература

1. **Боровиков В.П.** Нейронные сети. *STATISTICA Neuralnetworks*: Методология и технологии современного анализа данных. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия; Телеком, 2008. – 392 с.
2. **Долгов Ю.А.** Статистическое моделирование: Учебник для вузов. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2010. – 346 с.
3. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

УДК 519.23:616-089

А.В. Курсанова, канд. пед. наук, доц.

А.И. Паламарчук, магистр техники и технологии

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Изложены результаты исследования возможности применения искусственных нейронных сетей как аналога математического моделирования при прогнозировании электропотребления.

Искусственные нейронные сети (ИНС) интересны тем, что они, как и биологические нейронные системы, обладают способностью обучаться на основе некоторого набора входных данных при участии учителя или без него. Благодаря этому свойству ИНС находят применение в самых различных областях: в моделировании, анализе временных рядов, распознавании (восстановлении) образов, обработке сигналов, управлении сложными технологическими процессами, классификации и т. д.

Основная цель исследования – выполнить сравнительный анализ возможности применения искусственных нейронных сетей, а также математического моделирования и математической статистики при решении задач классификации и аппроксимации. Конечная цель заключается в поиске способа построения регрессирующих структур с помощью построения ИНС.

Для определения возможности применения ИНС как аналога математического моделирования рассмотрены два пересекающихся набора исходных данных. По каждому из наборов построена описательная математическая модель, а также ряд нейронных сетей, из которого выбрана наилучшая сеть с точки зрения качества ее аппроксимации. Сравнение двух исследуемых структур произведено путем вычисления индекса корреляции и поправленного индекса корреляции.

Построение и обучение ИНС осуществлялось путем итеративного изменения большого количества варьируемых

параметров. Кроме того, проверялось качество решения, получаемое при использовании нейронной сети, в сравнении с результатом математической модели.

Анализ проводился на основе данных о почасовом энергопотреблении, включающих в себя строки исследований почасового энергопотребления пользователей электросети в зависимости от шести факторов: состояния атмосферы (X_1), максимальной температуры (X_2), минимальной температуры (X_3), дня недели (X_4), месяца (X_5), типа дня (рабочий, выходной, предпраздничный) (X_6). Уровень энергопотребления (Y) измерялся каждый час. Таким образом, было получено 24 столбца с выходной величиной.

Составление математических моделей осуществлялось методом модифицированного случайного баланса [1] для каждого часа суток. Так, было построено 24 модели, качество работы которых определялось при помощи индекса корреляции (i). Значения поправленных индексов корреляции (i') для каждой из 24 моделей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения
поправленных индексов корреляции

H	i'	H	i'	H	i'	H	i'
1	0,722	7	0,768	13	0,619	19	0,781
2	0,735	8	0,677	14	0,589	20	0,8
3	0,711	9	0,638	15	0,584	21	0,799
4	0,749	10	0,625	16	0,609	22	0,747
5	0,769	11	0,625	17	0,673	23	0,605
6	0,802	12	0,617	18	0,744	24	0,673

Для всех моделей было составлено по пять нейронных сетей (трех типов: линейная (Л), многослойный перцептрон (МСП) и радиальные базисные функции (РБФ)), и для каждой из них рассчитан индекс корреляции и поправленный индекс корреля-

ции [1]. В каждой пятерке была выбрана одна сеть-«победитель». Лучшая сеть определялась путем сравнения индексов корреляции. Полученные данные сведены в табл. 2. В последней колонке табл. 2 указана нейронная сеть-«победитель».

Таблица 2

Результаты работы ИНС

H	ИНС	$\sum_{i=1}^n (Y_H - Y_i)^2$	i	i'	H	ИНС	$\sum_{i=1}^n (Y_H - Y_i)^2$	i	i'	H	ИНС	$\sum_{i=1}^n (Y_H - Y_i)^2$	i	i'		
1	Л	69079,8			9	МСП	157809,0			17	МСП	189573,0	0,939	0,938		
	МСП	71469,8				Л	141180,0				МСП	203056,0				
	МСП	61819,3	0,917	0,916		МСП	128251,0	0,951	0,951		Л	201542,0				
	РБФ	137379,0				РБФ	317464,0				РБФ	559765,0				
	РБФ	90571,3				РБФ	216163,0				РБФ	272336,0				
2	Л	62746,0			10	МСП	465870,0			18	МСП	214097,0				
	МСП	56291,4				МСП	125419,0	0,950	0,950		МСП	199784,0	0,960	0,959		
	МСП	55686,6	0,921	0,920		Л	156223,0				Л	202751,0				
	РБФ	211042,0				РБФ	326216,0				РБФ	718795,0				
3	РБФ	80217,3			11	РБФ	229263,0			19	РБФ	607292,0				
	Л	108662,0				МСП	178118,0				МСП	309760,0				
	МСП	104751,0				Л	159171,0				МСП	213584,0				
	МСП	102976,0	0,859	0,856		МСП	138907,0	0,945	0,944		Л	209965,0	0,962	0,961		
	РБФ	203448,0				РБФ	294210,0				РБФ	1025403,0				
4	РБФ	116616,0			12	РБФ	241922,0			20	РБФ	766089,0				
	Л	55355,5				МСП	468624,0				МСП	168566,0				
	МСП	52912,9				МСП	181081,0				Л	157149,0				
	МСП	50297,3	0,925	0,923		Л	159867,0	0,931	0,930		МСП	150303,0	0,968	0,968		
	РБФ	102741,0				РБФ	436908,0				РБФ	701266,0				
5	РБФ	72457,6			13	РБФ	252837,0			21	РБФ	322400,0				
	Л	53958,0				Л	156257,0				МСП	140168,0				
	МСП	47476,7	0,933	0,932		МСП	148251,0				Л	144367,0				
	МСП	48441,7				МСП	135310,0	0,937	0,936		МСП	124543,0	0,956	0,955		
	РБФ	137128,0				РБФ	326777,0				РБФ	478209,0				
6	РБФ	104980,0			14	РБФ	289603,0			22	РБФ	227884,0				
	МСП	56889,2				МСП	173885,0				Л	94664,3				
	Л	49615,2				Л	166073,0				МСП	91875,6				
	МСП	46767,8	0,948	0,947		МСП	155311,0	0,928	0,927		МСП	88061,9	0,907	0,905		
	РБФ	141812,0				РБФ	326054,0				РБФ	151499,0				
7	РБФ	82982,4			15	РБФ	229683,0			23	РБФ	124306,0				
	МСП	71324,4				МСП	184903,0				МСП	85258,0				
	МСП	60484,6	0,958	0,957		Л	195847,0				МСП	90455,2				
	Л	61882,9				Л	172228,0	0,922	0,921		Л	82651,8	0,862	0,860		
	РБФ	159659,0				РБФ	477184,0				РБФ	173368,0				
8	РБФ	173902,0			16	РБФ	231798,0			24	РБФ	94974,5				
	МСП	151237,0				Л	203668,0				МСП	81899,7				
	Л	123982,0				МСП	169531,0	0,930	0,929		МСП	71304,8				
	МСП	102669,0	0,957	0,957		МСП	180534,0				Л	70199,2	0,897	0,896		
	РБФ	258105,0				РБФ	497918,0				РБФ	189658,0				
РБФ	168341,0			РБФ	294125,0			РБФ	115911,0							

Таблица 3

Архитектуры ИНС-«победителей»

Н	ИНС	Архитектура
1	МСП	4:25 – 11 – 1 – 1:1
2	МСП	6:29 – 5 – 1 – 1:1
3	МСП	3:18 – 1 – 1:1
4	МСП	2:19 – 8 – 4 – 1:1
5	МСП	3:14 – 6 – 3 – 1:1
6	МСП	4:27 – 1 – 1:1
7	МСП	4:27 – 2 – 1:1
8	МСП	4:27 – 9 – 1 – 1:1
9	МСП	4:27 – 9 – 1 – 1:1
10	МСП	5:28 – 9 – 3 – 1:1
11	МСП	6:29 – 10 – 2 – 1:1
12	Л	5:28 – 1:1
13	МСП	6:29 – 10 – 1 – 1:1
14	МСП	5:28 – 7 – 2 – 1:1
15	МСП	6:29 – 1:1
16	МСП	5:28 – 1 – 1:1
17	МСП	3:22 – 1 – 1:1
18	МСП	4:21 – 8 – 3 – 1:1
19	Л	5:28 – 1:1
20	МСП	5:28 – 1 – 1:1
21	МСП	5:28 – 10 – 4 – 1:1
22	МСП	5:28 – 4 – 1:1
23	Л	5:28 – 1:1
24	Л	5:28 – 1:1

Из табл. 2 видно, что практически в любом исследовании почасового энергопотребления наиболее удачной оказывается ИНС типа МСП и в каждом случае использование нейронной сети дает более качественный результат, чем математическая модель. Вместе с тем практически во всех 24 вариантах нейронные сети со структурой РБФ уступают сетям остальных двух типов. Однако, основываясь на полученных данных, некорректно говорить о низкой производительности РБФ-сетей или об их полной непригодности, поскольку в других случаях, при других исследованиях применение РБФ-сети более приемлемо. Опытным путем было доказано, что качество ее работы зависит только от набора исходных данных. Нельзя утверждать, что МСП-сети однозначно лучше РБФ-сетей, и наоборот.

Архитектуры ИНС-«победителей» для каждого часа исследования энергопотребления представлены в табл. 3. Описываемая архитектура указывает количество используемых входов нейронной сети, количество нейронов на каждом промежуточном слое и количество выходных нейронов.

Наиболее интересными являются ИНС, у которых между входными и выходными нейронами присутствует более чем один слой промежуточных нейронов. Примером такой сети служит сеть, полученная при обучении на данных энергопотребления 21-го часа суток. Она обладает архитектурой 5:28-10-4-1:1 (рис. 1).

Представленная архитектура показывает, как при помощи нейрона описывается классифицирующая переменная. В данном случае, например, первый фактор может принимать пять классифицирующих значений. При таком факторе сразу за входным слоем следует подслой, который содержит количество нейронов, равное количеству моделируемых классов фактора.

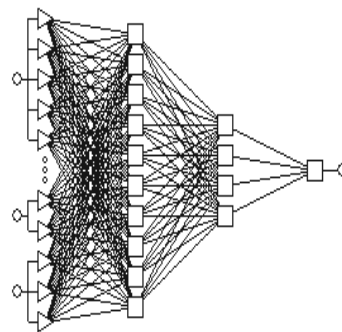


Рис. 1. Архитектура МСП-сети с двумя промежуточными слоями

Активируемый нейрон в описываемом подслое отвечает за необходимый в данном случае класс входного фактора [2]. В будущем этот нейрон будет влиять на активацию связанных с ним нейронов промежуточного слоя.

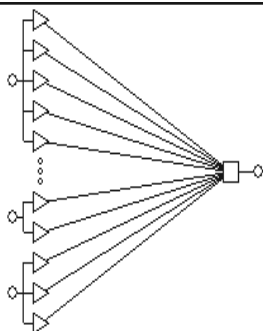


Рис. 2. Архитектура линейной нейронной сети

Интересным фактом является редкое преимущество линейных нейронных сетей над сетями типа МСП и РБФ. Пример архитектуры линейной сети-«победителя» на 19-м часу суток представлен на рис. 2. Видно, что в сети количество варьируемых параметров равно количеству связей между начальным слоем и выходным нейроном, к которому прибавлена единица, описывающая пороговое значение активационного нейрона.

В перечне ИНС-«победителей» присутствуют сети, которые не используют один или несколько исходных факторов. Это связано с незначительным влиянием данных факторов на выход нейронной сети при ее описанной структуре. Однако такие сети все равно были выбраны как приемлемые на основании получаемой при их использовании ошибки и индекса корреляции с исходными данными.

Искусственная нейронная сеть дает более качественный результат по сравнению с математической моделью благодаря большому количеству варьируемых параметров ИНС (веса, связей между нейронами, свободных пороговых значений каждого нейрона).

Еще одним свойством ИНС, влияющим на качество получаемой структуры, является итеративность процесса ее обучения. Вручную выполнить обучение нейронной сети очень сложно, так как число итераций зачастую достигает сотен тысяч и даже миллионов. Применение математической модели позволяет исследователю понять, как устроен процесс. Ее создание дает возможность определить степень важности вклада каждого фактора в изучаемый процесс или объект, основываясь на коэффициенте при этом факторе в результирующей модели.

Глядя на математическую модель, исследователь способен сказать намного больше об объекте, который она описывает. При нейросетевом подходе видна лишь структура нейронной сети. Конечно, исследователь может извлечь показатели всех весов и пороговых значений сети. Однако этих параметров настолько много, что проследить хоть какую-то взаимосвязь между ними, спроецировав ее на структуру сети, невозможно.

По итогам исследования доказано, что почти во всех 24 вариантах почасового энергопотребления наиболее удачной оказывается ИНС типа МСП и в каждом случае использование искусственной нейронной сети дает более качественный результат, чем математическая модель.

Цитированная литература

1. Долгов Ю.А. Статистическое моделирование: Учебник для вузов. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2010. – 346 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

УДК 681.3

А.В. Кирсанова, канд. пед. наук, доц.
С.И. Бурдиян, магистрант

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧИ SAT ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Статья посвящена анализу и классификации способов решения задачи SAT, как точных, так и приближенных. Приведены наилучшие из известных верхних оценок временной сложности алгоритмов-решателей задачи SAT в наихудшем случае, т. е. верхние оценки сложности алгоритмов. Проанализированы практические области применения задачи SAT. Сформулированы некоторые практические задачи в терминах задачи SAT. Рассмотрен пример сведения 3-раскраски графа к SAT, а также подробно изложен алгоритм ее решения.

Решение NP -полных задач является одной из наиболее интересных и сложных проблем современной науки в целом и программирования (как инструмента решения этих задач) в частности.

Среди таких задач выделяются задачи выполнимости (*satisfiability problem (SAT)*) и максимальной выполнимости (*maximum satisfiability problem (MAX-SAT)*). Используя основные термины задач SAT и MAX-SAT, можно сформулировать многие оптимизационные NP -трудные задачи, например задачи на графах: о максимальном разрезе, о минимальном вершинном покрытии, о максимальном независимом множестве, а также задачи искусственного интеллекта и комбинаторной оптимизации.

Доказано, что если найдено решение задачи SAT, то, значит, найдено решение для всех NP -задач, т. е. любую NP -задачу можно свести к задаче SAT [1, с. 1088]. Эти задачи формулируются на языке булевой алгебры, что является удобным для алгоритмизации множества практических задач. Чтобы обосновать актуальность поставленной задачи, необходимо обратиться к задачам, связанным с SAT, таким как, например, составление расписаний, оптимизационные задачи на графах, автоматическое доказательство теорем, оптимальное распределение задач по исполнителям, планирование и минимизирование общей продолжительности обработки всех задач.

Согласно теореме Кука–Левина [2, с. 115] задача SAT для булевых формул, записанных в конъюнктивной нормальной форме (КНФ), является NP -полной, потому что не существует полиномиального алгоритма для ее решения. Однако если будет найдено оптимальное решение для одной из NP -задач, то будут решены все NP -задачи [1, с. 1091]. Данное утверждение обеспечивает актуальность исследования.

Практическую значимость отыскания решения задачи SAT доказывает тот факт, что уже более десяти лет ежегодно проводится международная конференция, посвященная разработке специализированных программных решателей SAT-задач, а также выпускается научный журнал на указанную тему [3, с. 4].

Задача SAT формулируется следующим образом: для данной булевой формулы определяется, существует ли набор, на котором она обращается в единицу. Такой набор называется *выполняющим*. Если он существует, то формула называется *выполнимой*. То есть решить задачу SAT – это значит найти выполняющий набор для данной булевой формулы или доказать, что его не существует. Нами проблема выполнимости будет рассматриваться только для формул специального вида – формул в конъюнктивной нормальной форме.

В терминах задачи SAT легко формулируются многие другие задачи, например

переборные. В частности, задача о расписании: расставить уроки так, чтобы выполнялись все ограничения. Задача расписания легко сводится к *SAT* таким образом: имеем расписание – таблицу и набор уроков, которые надо поставить в таблицу. Необходимо завести переменную x_{ij} (где i – строка, т. е. позиция в таблице, j – номер урока); j -й урок ставится в i -ю позицию. Затем ограничения записываются клозами. Например: 1) у какого-то класса хотя бы один урок литературы в неделю, т. е. какая-то переменная должна выполняться; 2) урок не может быть назначен на два разных времени, т. е. нельзя, чтобы и та, и другая переменная были равны 1, к примеру \bar{x} или \bar{y} .

Предлагается задавать задачу *SAT* именно формулой, поскольку так можно записать все, что угодно: проверку корректности работы микропроцессоров, задачу планирования и т. д.

Результатом анализа способов решения *SAT* является следующая классификация алгоритмов-решений: точные, приближенные, эвристические алгоритмы. К точным алгоритмам относятся *3SAT*, *MAX2 SAT*, *MAX CUT*. Время работы алгоритма *3SAT* – $O(3^{n/2})$, время работы алгоритма *MAX CUT* – $O(1,8^n)$, величина приближения – 0,87 от истины. Эвристические алгоритмы сводятся к расщеплению и локальному поиску. Простейший алгоритм расщепления для задачи *SAT* имеет время работы 2^n . В начале 1980-х годов Мониен и Шпекенмейер [4, с. 287], а также Данцин [5, с. 266] получили первые улучшения данной оценки.

Наилучшими из известных верхних оценок алгоритмов-решателей на время решения в наихудшем случае являются:

1) $1,074^L$ для задачи пропозициональной выполнимости формул в КНФ, где L – длина (т. е. общее количество литералов) входной формулы (Гирш, 2000);

2) $1,341294^K$ для задачи максимальной выполнимости, где K – количество дизъ-

юнктов входной формулы (Чен и Канж, 2002);

3) $1,122463^m$ для задачи о максимальном разрезе, где m – количество ребер входного графа (Скотт и Соркин, 2003);

4) $1,3289^n$ для задачи о 3-раскрашиваемости графа, где n – количество вершин входного графа (Бейгель и Эпштейн, 2005) [3, с. 3].

Стандартный алгоритм расщепления на первом шаге расщепляет формулу, а затем рекурсивно вызывает процедуру для формул меньшей сложности, чем исходная, хотя бы на некоторую константу. Однако определенные задачи даже приблизить хорошо нельзя, как, например, задачу о 3-раскраске графа. Она тоже является *NP*-полной, т. е. *SAT* сводится к ней. В настоящий момент для нее не найдено приближенных решений, выполняющихся за разумное время. Раскраска графа в два цвета сводится к проверке «является ли граф двудольным».

Раскраска в более чем два цвета уже сложная задача. Известно, что любой планарный граф (например, карта городов) может быть раскрашен в четыре цвета [6, с. 13]. Раскраска даже планарного графа в три цвета является *NP*-полной задачей. Задачу 3-раскраски можно сформулировать следующим образом: есть контурная карта государств (на плоскости), можно ли раскрасить все государства на этой карте так, чтобы никакие два государства на ней не были покрашены в один цвет?

В исследовании, выполняемом нами в рамках магистерской диссертации, будет предпринята попытка программно реализовать алгоритм 3-раскраски графа, который представлен ниже, сведением его к задаче *SAT*.

Заведем две вершины прямую и инверсную (например, a и \bar{a}) для каждой переменной из формулы

$$(a \vee b \vee \bar{c}) \wedge (a \vee \bar{b} \vee c). \quad (1)$$

Заведем три глобальные вершины $FALSE (F)$, $TRUE (T)$ и $NOTHING (N)$. Соединим все вершины ребрами, для того чтобы проверить, получится ли раскрасить исходный граф, тогда вершины F , T и N будут, очевидно, раскрашены в три разных цвета. Наша задача так раскрасить граф (рис. 1), чтобы концы ребер раскрасились в разные цвета: F , T или N .

Проведя от каждой вершины ребра (синие, красные и зеленые) к N , мы просто убедились, что все вершины a , \bar{a} , b , \bar{b} , c и \bar{c} будут покрашены не в цвет N , так как если b будет покрашена в цвет N , то данное ребро не будет соответствовать условию раскраски. Поэтому каждая из вершин будет T или F .

Поскольку мы провели еще и горизонтальные ребра, то c и \bar{c} , b и \bar{b} , a и \bar{a} будут окрашены в разные цвета. Поэтому будет либо $c-T$, $\bar{c}-F$, либо наоборот. Таким образом, с помощью первоначальной конструкции (см. рис. 1) мы убедились, что

если у нас получится раскрасить граф, то каждая вершина будет раскрашена или в цвета F , T , или в T , F . И это соответствует заданию некоторых логических значений переменным a , b и c в формуле (1). То есть рассмотренная конструкция показала, как завести T и F для переменных. Теперь надо просто получить формулу (1), а именно сделать некоторую конструкцию, имеющую заполнение тогда и только тогда, когда выполнена формула (1).

Построим конструкцию, соответствующую первому клозу в формуле (1) (рис. 2). Убедимся, что эта конструкция делает то, что требуется, а именно докажем, что если $a-F$, $b-F$ и $\bar{c}-F$, то мы не можем корректно заполнить конструкцию справа, т. е. если нет ни одной истинной переменной в первом клозе, то тогда данный клоз не выполняется.

Изложим подробно процесс решения, результатом которого является окраска первого клоза формулы (1), показанная на

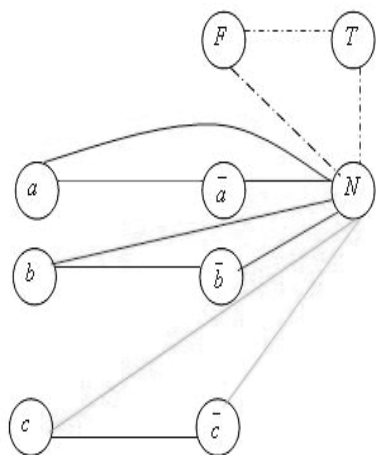


Рис. 1. Граф, построенный по формуле (1) и дополненный вершинами F , T и N

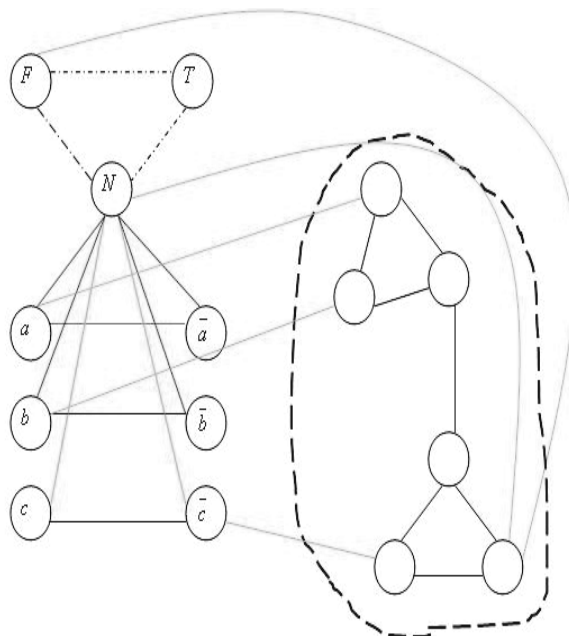


Рис. 2. Конструкция, соответствующая первому клозу в формуле (1)

рис. 3. Для удобства пронумеруем вершины от 1 до 15.

1. Вершины № 10 и 11 $\neq F$, так как $a = F, b = F, \Rightarrow \text{№ } 10 = N, \text{№ } 11 = T$ или, наоборот, $\text{№ } 10 = F, \text{№ } 11 = N$.

2. Значит, вершина № 12 = F в любом случае, следовательно, № 13 $\neq F$, а вершина № 14 $\neq F$, так как № 9 = F . Но в треугольнике обязательно будут три разных цвета, поэтому вершина № 15 = F .

3. Вершины № 1 и 15 на одном ребре, значит, не могут быть одного цвета. У нас не получилось раскрасить этот кюз, т. е. фрагмент графа. Таким образом, даже если остальное получится раскрасить, то граф все равно не раскрашен.

Итак, мы доказали, что если $a = b = \bar{c} = F$, то граф не раскрашен, а первый кюз не выполнен.

Для той же конструкции докажем, что если хотя бы a, b или \bar{c} был бы T , то раскрасить граф получилось бы. Изложим последовательность действий.

1. Вершина № 4 = T , значит, № 10 = F .

2. Мы хотим, чтобы вершина № 15 = T , тогда № 14 = $N, \text{№ } 13 = F$, следовательно, № 11 = $N, \text{№ } 12 = T$ или, наоборот, № 11 = $T, \text{№ } 12 = N$.

Первый кюз графа раскрашен (рис. 4). Следовательно, если хотя бы одна переменная $\neq F$, то граф может быть раскрашен.

Данная процедура должна быть выполнена для каждого кюза в (1). В итоге рис. 4 расширится такими областями, как ограниченная пунктиром на рис. 2, причем для всех кюз. Будет один большой граф. Если весь граф раскрашен верно, то и (1) выполнена, и наоборот.

Если формула была длины l , то процесс построения графа и размер графа полиномиальны от l . В нашем случае – линейный $O(l)$. А если решать эту задачу перебором всех возможных решений, то время равно $O(3^n)$.

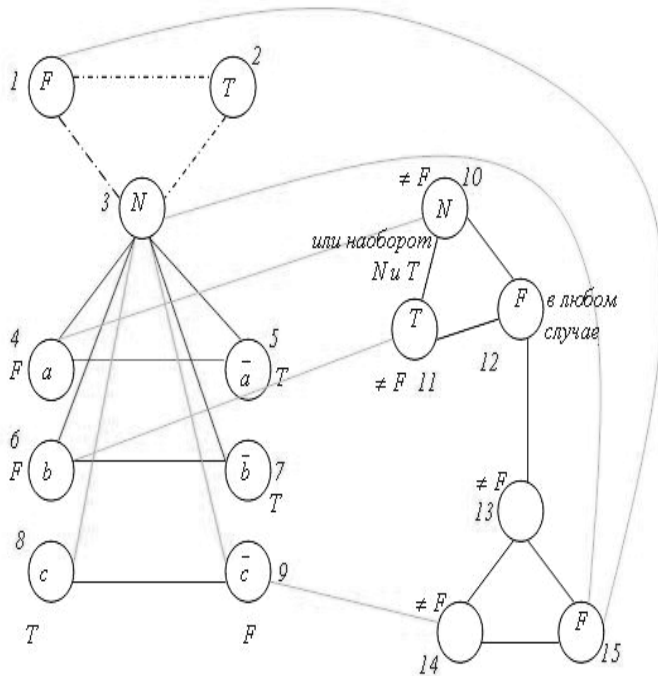


Рис. 3. Окраска первого кюза формулы (1)

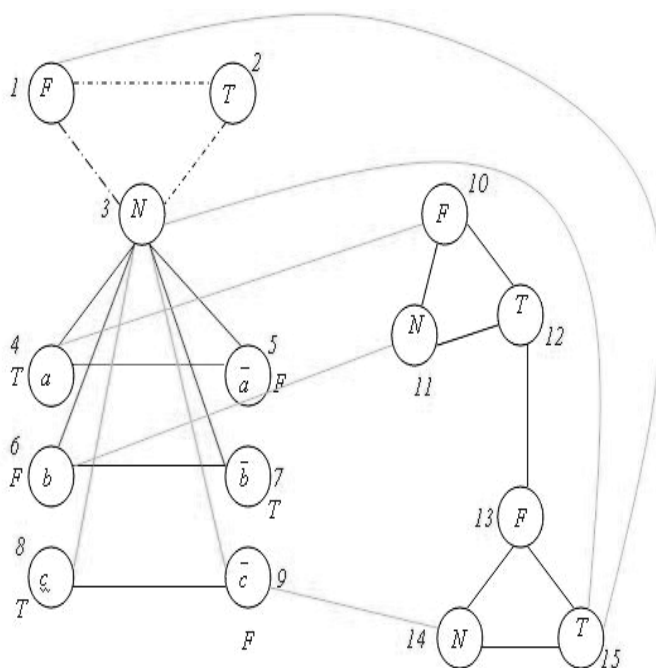


Рис. 4. Окраска первого кляза формулы (1)

Данный алгоритм будет реализован программно, т. е. планируется построить программу-решатель 3-раскраски графа с некоторым приближением. В рамках настоящего исследования это первая из задач, для которых предполагается выполнить программную реализацию.

Цитированная литература

1. **Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. и др.** Алгоритмы: построение и анализ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
2. **Левин Л.А.** Универсальные задачи перебора // Проблемы передачи информации. – 1973. – Т. 9. – № 3. – 120 с.

3. **Куликов А.С.** Построение алгоритмов для задач булевой логики при помощи автоматизации, комбинированных мер сложности и запоминания дизъюнктов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб., 2009. – 15 с.

4. **Monien В., Speckenmeyer E.** Solving satisfiability in less than $2n$ steps. *Discrete Applied Mathematics*, 10(3) : 287–295, 1985.

5. Dantsin Evgeny and Wolpert Alexander. MAX-SAT for Formulas with Constant Clause Density Can Be Solved Faster Than in $2n$ Time. In Armin Biere and Carla Gomes, editors, *Theory and Applications of Satisfiability Testing – SAT 2006*. Vol. 4121 of *Lecture Notes in Computer Science*. – P. 266–276. 2006.

6. **Рингель Г.** Теорема о раскраске карт. – М.: Мир, 1977. – 256 с.

УДК 519.24, 371.263

С.Г. Федорченко, канд. техн. наук, доц.
О.С. Белоконь, ст. преп.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРТРЕТА НАПРАВЛЕНИЯ

Приведены результаты работы по получению набора числовых характеристик, отражающих требования, которые предъявляются конкретной специальностью (направлением) к уровню подготовки студента. Показано, как на основании данных характеристик формируется портрет направления, портрет студенческой группы.

Введение

Для управления учебным процессом необходимо располагать набором характеристик, позволяющих получить его описание, например: какие требования предъявляет конкретная специальность (направление) к студенту, его знаниям, навыкам, физическим и прочим возможностям; насколько тот или иной студент соответствует этим требованиям. Для удобства применения данные характеристики должны быть числовыми. Ниже приведены полученные нами результаты.

1. Предварительный сбор данных

Опросим преподавателей, ведущих ряд профессионально значимых дисциплин для группы направлений «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ), и предложим им сформировать перечень требований, предъявляемых к студентам при изучении конкретных учебных дисциплин.

На основании результатов опроса составим список требований, которым в той или иной степени должны отвечать все студенты, обучающиеся по данной группе направлений (табл. 1).

Рассмотрим более подробно указанные характеристики:

1) первоначальный уровень знаний – в какой степени изучение учебной дисциплины

базируется на предыдущем уровне знаний студента;

2) первоначальный уровень навыков – в какой степени изучение учебной дисциплины базируется на предыдущем уровне навыков студента;

3) способность составлять алгоритмы – умение студента самостоятельно разрабатывать алгоритмы решения профессиональных задач;

4) самостоятельность в мышлении – умение самостоятельно решать поставленную задачу, предлагать оригинальные решения, аналоги которых студенту неизвестны;

5) аккуратность, дисциплинированность, обязательность – аккуратность в выполнении учебных задач, дисциплинированность в выполнении учебных обязанностей, обязательность в выполнении взятых на себя обязательств;

6) умение применять разработанные алгоритмы – умение применять изученные ранее примеры решения задач для решения поставленной задачи;

7) умение абстрактно мыслить – наличие ярко выраженного абстрактного мышления;

8) умение работать с электронными схемами – умение анализировать электронную принципиальную схему, разбивать ее на подсистемы, выявлять роль каждой из них;

9) навыки работы с электронной измерительной аппаратурой;

Таблица 1

Перечень характеристик студента

№ п/п	Характеристики студента
1	Первоначальный уровень знаний
2	Первоначальный уровень навыков
3	Способность составлять алгоритмы
4	Самостоятельность в мышлении
5	Аккуратность, дисциплинированность, обязательность
6	Умение применять разработанные алгоритмы
7	Умение абстрактно мыслить
8	Умение работать с электронными схемами
9	Навыки работы с электронной аппаратурой
10	Физические возможности
11	Склонность к иностранным языкам
12	Личностные характеристики (замкнут, общителен)
13	Умение преодолевать трудности
14	Личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику)

10) физические возможности – насколько зависит изучение данной учебной дисциплины от физических возможностей студента;

11) склонность к иностранным языкам – склонность к овладению иностранными языками;

12) личностные характеристики (замкнут, общителен) – насколько студент общителен с одногруппниками, склонность к решению задач в коллективе;

13) умение преодолевать трудности – умение преодолевать возникающие трудности, используя разные подходы, различные методы;

14) личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику) – насколько студент склонен к паническим настроениям при возникновении трудностей.

Применим для оценки соответствия студента вышеперечисленным требованиям пятибалльную шкалу:

1 балл – данная характеристика крайне слабо влияет на возможность получения студентом оценки «удовлетворительно» по дисциплине;

2 балла – данная характеристика слабо влияет на возможность получения студентом оценки «удовлетворительно» по дисциплине;

3 балла – данная характеристика оказывает влияние на возможность получения студентом оценки «удовлетворительно» по дисциплине, но не является критической;

4 балла – данная характеристика оказывает существенное влияние на возможность получения студентом оценки «удовлетворительно» по дисциплине, но не является критической;

5 баллов – данная характеристика оказывает критически значимое влияние на возможность получения студентом оценки «удовлетворительно» по дисциплине, отсутствие этой характеристики не позволяет овладеть предметом.

Пример оценки соответствия данным требованиям студентов одной из групп приведен в табл. 2.

Каждая строка таблицы может рассматриваться как портрет конкретного студента с точки зрения данной специальности, а вся таблица – как портрет группы.

Соответствие студентов одной из групп требованиям, представленным в табл. 1

№ студента	№ характеристики студента													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3	3	3	3	3	3	4	1	1	1	1	2		2
2	5	4	5	5	5	5	5	1	1	1	1	1		2
3	4	3	4	5	2	4	5	1	1	1	1	1		1
4	4	3	4	2	5	4	4	1	1	1	1	2		2
5	4	4	4	5	4	4	4	1	1	1	1	1		2
6	4	4	4	5	2	3	4	1	1	1	1	1		1
7	2	2	3	2	2	3	4	1	1	1	1	1		1
8	5	5	5	5	4	5	5	1	1	1	1	2		1
9	2	2	3	2	2	3	2	1	1	1	1	1		1
10	5	4	5	5	5	5	5	1	1	1	1	1		1
11	5	4	5	4	3	5	5	1	1	1	1	1		1
12	3	4	5	4	2	4	5	1	1	1	1	2		1
13	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	2		1
14	5	5	5	4	5	5	5	1	1	1	1	2		2
15	5	4	5	4	4	4	5	1	1	1	1	2		1
16	4	4	4	4	3	3	5	1	1	1	1	1		2
17	3	4	4	3	3	3	5	1	1	1	1	2		2
18	5	5	5	5	4	5	5	1	1	1	1	1		1
19	5	4	5	4	4	4	4	1	1	1	1	2		2

Примечание. Кодировка личностных характеристик: замкнут – 1; общителен – 2; спокоен – 1; паникер – 2. Характеристика № 13 не отмечалась, так как в данной группе электронная ветвь направления не реализовывалась.

2. Портрет (сигнатура) направления

Под портретом направления (специальности) будем понимать перечень требований, которые оно предъявляет к уровню знаний, навыков, к личностным характеристикам студента.

Рассмотрим конкретное направление, а именно учебный план по направлению «Программная инженерия», квалификация выпускника – «бакалавр». В табл. 3 приведены требования, предъявляемые к студенту учебными дисциплинами данного направления.

Скомпоуем предметы в группы по требованиям, предъявляемым к студентам (табл. 4).

Как видно, общий список предметов разбивается на 19 групп, причем в одни из них, а именно в 1, 2, 5, 6, 7, 12, 13, 16, входит по несколько дисциплин, а в другие, а именно в 3, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, – только по одной. Таким образом, требования, предъявляемые специально к студенту, можно представить в виде табл. 5.

Здесь для каждой группы предметов представлены требования, предъявляемые к студенту, в последнем столбце указано количество предметов, входящих в эту группу, т. е. вес данной группы требований. Мы предлагаем назвать подобную классификацию «портрет направления», или «сигнатура направления».

**Перечень требований, предъявляемых к студенту направлением
«Программная инженерия», квалификация «бакалавр»**

Код и название учебной дисциплины		Характеристика													
		Первоначальный уровень знаний	Первоначальный уровень навыков	Способность составлять алгоритмы	Самостоятельность в мышлении	Аккуратность, дисциплинированность, обязательность	Умение применять разработанные алгоритмы	Умение абстрактно мыслить	Умение работать с электронными схемами	Навыки работы с электронной аппаратурой	Физические возможности	Склонность к иностранным языкам	Личностные характеристики (замкнут, общителен)	Умение преодолевать трудности	Личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Б1 Гуманитарный, социальный и экономический цикл															
Б1.Б.1	История	–	–	–	–	2	–	1	–	–	–	–	4	3	–
Б1.Б.2	Иностранный язык	5	4	–	–	3	–	2	–	–	–	5	4	5	1
Б1.Б.3	Философия	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	4	4	3
Б1.Б.4	Экономика	–	–	–	3	3	1	1	–	–	–	–	3	3	1
Б1.В.1	История ПМР	–	–	–	–	2	–	1	–	–	–	–	4	3	–
Б1.В.2	Культура речи	1	1	–	–	1	–	1	–	–	–	–	3	1	–
Б1.В.3	Официальный язык	4	4	–	–	3	–	2	–	–	–	5	4	5	1
Б1.В.4	Политология	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	4	4	3
Б1.В.5	Социология	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	4	4	3
Б1.В.6	Правоведение	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	4	4	3
Б1.В.7	Организация и управление предприятиями	–	–	–	3	3	1	1	–	–	–	–	3	3	1
Б1.В.8	Введение в специальность	5	5	4	3	4	5	2	2	1	–	2	2	4	2
Б1.В.9	Основы политической власти ПМР	–	–	–	–	2	–	1	–	–	–	–	4	3	–
Б1.ДВ1 Дисциплины по выбору															
1	Культурология	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	4	4	3
Б2 Математический и естественнонаучный цикл															
Б2.Б.1	Математический анализ	5	5	3	4	5	5	4	–	–	–	–	1	4	3
Б2.Б.2	Алгебра и геометрия	5	5	3	4	5	5	4	–	–	–	–	1	4	3
Б2.Б.3	Математическая логика и теория алгоритмов	5	5	3	4	5	5	4	1	–	–	–	1	4	3

Код и название учебной дисциплины		Характеристика													
		Первоначальный уровень знаний	Первоначальный уровень навыков	Способность составлять алгоритмы	Самостоятельность в мышлении	Аккуратность, дисциплинированность, обязательность	Умение применять разработанные алгоритмы	Умение абстрактно мыслить	Умение работать с электронными схемами	Навыки работы с электронной аппаратурой	Физические возможности	Склонность к иностранным языкам	Личностные характеристики (замкнут, общителен)	Умение преодолевать трудности	Личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Б2.Б.4	Дискретная математика	5	5	3	4	5	5	4	1	–	–	–	1	4	3
Б2.Б.5	Теория автоматов и формальных языков	4	4	5	5	4	5	5	–	–	–	–	1	5	4
Б2.Б.6	Теория вероятностей и математическая статистика	5	5	3	4	5	5	4	–	–	–	–	1	4	3
Б2.В.1	Экология	–	–	–	3	2	–	1	–	–	–	–	3	3	3
Б2.В.2	Физика	5	5	4	5	5	5	5	3	2	–	–	1	5	4
Б2.В.3	Основы электроники	5	5	4	5	5	5	5	3	2	–	–	1	5	4
Б2.В.4	Методы обработки экспериментальных данных	3	4	5	5	5	5	4	–	–	–	–	1	3	4
Б2.В.5	Теория вычислительных процессов	4	3	3	5	4	4	5	–	–	–	1	1	5	3
Б2.В.6	Вычислительная математика	5	5	3	4	5	5	4	–	–	–	–	1	4	3
Б2.ДВ1 Дисциплины по выбору															
1	Распределенные базы данных	5	5	5	4	4	5	4	–	–	–	2	1	5	4
Б2.ДВ2 Дисциплины по выбору															
1	Техническая информатика (сетевое программирование)	5	5	5	4	4	5	4	–	–	–	2	1	5	4
Б2.ДВ3 Дисциплины по выбору															
1	Криптография	3	4	5	5	4	5	5	–	–	–	–	1	4	3
Б2.ДВ4 Дисциплины по выбору															
1	Лабораторный практикум (программирование)	5	5	5	5	5	5	4	–	–	–	–	1	4	4
Б3.Б.1	Инженерная графика	–	–	–	1	5	2	1	–	–	–	–	1	4	3

Код и название учебной дисциплины		Характеристика													
		Первоначальный уровень знаний	Первоначальный уровень навыков	Способность составлять алгоритмы	Самостоятельность в мышлении	Аккуратность, дисциплинированность, обязательность	Умение применять разработанные алгоритмы	Умение абстрактно мыслить	Умение работать с электронными схемами	Навыки работы с электронной аппаратурой	Физические возможности	Склонность к иностранным языкам	Личностные характеристики (замкнут, общителен)	Умение преодолевать трудности	Личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
БЗ.Б.2	Программирование	5	5	5	5	5	5	4				1	4	4	
БЗ.Б.3	Информатика	4	3	3	4	5	5	4	3	4		1	1	3	2
БЗ.Б.4	Алгоритмы и структуры данных	5	5	5	5	5	5	5	–	–		1	–	5	4
БЗ.Б.5	Введение в программную инженерию	2	1	3	4	4	4	4	–	–		1	2	3	3
БЗ.Б.6	Архитектура вычислительных систем	3	2	3	3	4	3	4	3	4		–	2	3	3
БЗ.Б.7	Операционные системы	3	2	2	4	4	3	5	–	–		2	–	2	1
БЗ.Б.8	Сети ЭВМ и телекоммуникаций	3	3	2	3	3	4	4	2	3		1	1	4	3
БЗ.Б.9	Конструирование программного обеспечения	3	2	2	3	3	3	4	–	–		–	3	3	3
БЗ.Б.10	Базы данных	3	3	4	4	3	4	3	–	–		1	1	3	3
БЗ.Б.11	Проектирование человеко-машинного интерфейса	2	2	2	2	2	2	3	–	–		–	3	2	2
БЗ.Б.12	Безопасность жизнедеятельности	1	1	–	1	3	–	1	–	2		–	1	1	1
БЗ.В.1	Экономика программной инженерии	1	1	–	3	3	1	1	–	–		–	3	3	1
БЗ.В.2	Проектирование и архитектура программных систем	3	2	2	3	3	3	4	1	1		–	3	3	3
БЗ.В.3	Тестирование программного обеспечения	3	3	4	4	3	4	4	–	–		1	2	4	2
БЗ.В.4	Разработка и анализ требований к ПО	3	2	2	3	3	3	4	–	–		–	3	3	3
БЗ.В.5	Управление программными проектами	3	4	4	5	5	5	5	–	–		1	5	5	4

Код и название учебной дисциплины		Характеристика													
		Первоначальный уровень знаний	Первоначальный уровень навыков	Способность составлять алгоритмы	Самостоятельность в мышлении	Аккуратность, дисциплинированность, обязательность	Умение применять разработанные алгоритмы	Умение абстрактно мыслить	Умение работать с электронными схемами	Навыки работы с электронной аппаратурой	Физические возможности	Склонность к иностранным языкам	Личностные характеристики (замкнут, общителен)	Умение преодолевать трудности	Личностные характеристики (спокоен, легко впадает в панику)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Б3.В.6	Программирование на языке низкого уровня	4	4	5	5	5	5	5	1	1		–	1	5	4
Б3.В.7	Основы теории управления	4	4	3	4	4	4	5	–	–		–	1	5	4
Б3.В.8	Компьютерная графика	3	2	3	3	3	5	5	–	–		2	1	3	2
Б3.В.9	Защита информации	3	2	3	4	3	4	4	–	–		1	1	3	2
Б3.В.10	Системы автоматизированного документооборота	3	2	3	4	4	4	5	–	–		1	1	3	3
Б3.В.11	Объектно-ориентированное программирование	5	5	4	5	4	5	4	–	–		2	1	4	4
Б3.ДВ1 Дисциплины по выбору															
1	Логическое и функциональное программирование	3	2	5	5	4	5	5	–	–		1	1	5	4
Б3.ДВ2 Дисциплины по выбору															
1	Надежность и оптимизация программного обеспечения	3	2	2	3	3	3	4	–	–		1	3	3	3
Б3.ДВ3 Дисциплины по выбору															
1	Программирование в 1С	5	5	4	5	4	5	4	–	–		2	1	4	4
Б3.ДВ4 Дисциплины по выбору															
1	Лабораторный практикум (ЭВМ, компьютерные сети)	3	3	2	3	3	4	4	2	3		1	1	4	3
Б4.Б.1	Физическая культура	–	–	–	–	3	–	–	–	–	3	–	–	2	2

Примечание. Знак «–» означает, что предмет к данной характеристике студента никаких требований не предъявляет.

**Список учебных дисциплин, разбитый на группы по требованиям,
которые предъявляются к студентам**

Код по учебному плану	Название дисциплины	№ группы
Б1.Б.1	История	1
Б1.Б.3	Философия	1
Б1.В.1	История ПМР	1
Б1.В.4	Политология	1
Б1.В.5	Социология	1
Б1.В.6	Правоведение	1
Б1.В.9	Основы политической власти ПМР	1
Б1.ДВ.1	Культурология	1
Б2.В.1	Экология	1
Б1.Б.2	Иностранный язык	2
Б1.Б.4	Экономика	2
Б1.В.3	Официальный язык	2
Б1.В.7	Организация и управление предприятиями	2
Б3.В.1	Экономика программной инженерии	3
Б1.В.2	Культура речи	4
Б1.В.8	Введение в специальность	5
Б2.ДВ1	Распределенные базы данных	5
Б2.ДВ2	Техническая информатика (сетевое программирование)	5
Б2.Б.1	Математический анализ	6
Б2.Б.2	Алгебра и геометрия	6
Б2.Б.3	Математическая логика и теория алгоритмов	6
Б2.Б.4	Дискретная математика	6
Б2.Б.6	Теория вероятностей и математическая статистика	6
Б2.В.2	Физика	6
Б2.В.3	Основы электроники	6
Б2.В.6	Вычислительная математика	6
Б2.ДВ4	Лабораторный практикум (программирование)	6
Б3.Б.2	Программирование	6
Б3.Б.3	Информатика	6
Б3.Б.4	Алгоритмы и структуры данных	6
Б3.В.11	Объектно-ориентированное программирование	6
Б3.ДВ3	Программирование в 1С	6
Б2.Б.5	Теория автоматов и формальных языков	7
Б2.ДВ3	Криптография	7
Б3.Б.10	Базы данных	7
Б3.В.3	Тестирование программного обеспечения	7
Б3.ДВ1	Логическое и функциональное программирование	7
Б3.Б.1	Инженерная графика	8
Б3.Б.5	Введение в программную инженерию	9
Б3.Б.6	Архитектура вычислительных систем	10
Б3.Б.7	Операционные системы	11

Код по учебному плану	Название дисциплины	№ группы
Б2.В.5	Теория вычислительных процессов	12
Б3.Б.8	Сети ЭВМ и телекоммуникаций	12
Б3.В.7	Основы теории управления	12
Б3.ДВ4	Лабораторный практикум (ЭВМ, компьютерные сети)	12
Б3.Б.9	Конструирование программного обеспечения	13
Б3.В.2	Проектирование и архитектура программных систем	13
Б3.В.4	Разработка и анализ требований к ПО	13
Б3.ДВ2	Надежность и оптимизация программного обеспечения	13
Б3.В.5	Управление программными проектами	14
Б3.В.6	Программирование на языке низкого уровня	15
Б3.В.8	Компьютерная графика	16
Б3.В.9	Защита информации	16
Б3.В.10	Системы автоматизированного документооборота	16
Б4.Б.1	Физическая культура	16
Б3.Б.11	Проектирование человеко-машинного интерфейса	17
Б3.Б.12	Безопасность жизнедеятельности	18
Б2.В.4	Методы обработки экспериментальных данных	19

Таблица 5

Портрет (сигнатура) направления

Требования к студенту														№ группы предмета	Кол-во предметов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
–	–	–	3	2	–	1	–	–		–	4	3	3	1	9
5	4	–	–	3	–	2	–	–		5	4	5	1	2	4
1	1	–	3	3	1	1	–	–		–	3	3	1	3	1
1	1	–	–	1	–	1	–	–		–	3	1	–	4	1
4	4	4	3	4	5	2	–	–		2	2	4	2	5	3
5	5	3	4	5	5	4	–	–		–	1	4	3	6	14
4	4	5	5	4	5	5	–	–		–	1	5	4	7	5
–	–	–	1	5	2	1	–	–		–	1	4	3	8	1
2	1	3	4	4	4	4	–	–		1	2	3	3	9	9
3	2	3	3	4	3	4	3	4		–	2	3	3	10	1
3	2	2	4	4	3	5	–	–		2	–	2	1	11	1
4	3	3	5	4	4	5	–	–		1	1	5	3	12	4
3	2	2	3	3	3	4	–	–		–	3	3	3	13	4
3	4	4	5	5	5	5	–	–		1	5	5	4	14	1
4	4	5	5	5	5	5	1	1		–	1	5	4	15	1
3	2	3	3	3	5	5	–	–		2	1	3	2	16	4
2	2	2	2	2	2	3	–	–		–	3	2	2	17	1
1	1	–	1	3	–	1	–	2		–	1	1	1	18	1
3	3	1	4	5	5	3	–	–		–	1	3	4	19	1

Выводы

В результате исследования получен подход, который позволяет в числовом виде оценить требования, предъявляемые к студенту как отдельным предметом, так и всем направлением. Введено понятие «сигнатура направления», содержащее в сжатом виде комплекс требований

конкретной специальности. Аналогичным образом можно сформировать сигнатуру студента, описав в числовом виде его характеристики.

Данные результаты позволят в дальнейшем выйти на некий числовой показатель, характеризующий, насколько конкретный студент соответствует требованиям предмета, направления (специальности).

УДК 622.691.4

Н.В. Дмитриева, канд. техн. наук, доц.
И.П. Агафонова, аспирант, преп.

ГАЗОПРОВОДЫ г. БЕНДЕРЫ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены состояние и проблемы подземных газопроводов в г. Бендеры. Изучена их протяженность, возрастная структура и аварийность. Представлена классификация бестраншейных методов ремонта газопроводов.

Переход к рыночной экономике, реформирование жилищно-коммунального комплекса в условиях значительного износа и старения инженерных систем, особенно газопроводов, отсутствие достаточных материальных и финансовых ресурсов на их реновацию существенно обострили в последние годы проблему обеспечения требуемой надежности и экологической безопасности инженерных коммуникаций ПМР.

Указанная ситуация усугубляется из года в год и требует незамедлительного решения. Необходимо сохранить экологическую обстановку, значительно снизить техногенное воздействие подземных газопроводов на геологическую среду и способствовать повышению уровня коммунального обслуживания населения, не нарушая обычного ритма современного города.

В связи с этим поддержание высокой работоспособности систем подземных газопроводов, обеспечение их надежности,

своевременная замена сетей, отслуживших свой срок, и оперативная ликвидация аварий на сетях газоснабжения и газопотребления остаются для коммунальных служб и служб эксплуатации газораспределительных организаций города приоритетными направлениями деятельности.

Данные по протяженности, возрастной структуре и аварийности подземных газопроводов г. Бендеры представлены в табл. 1, 2, которые показывают, что 53 % газопроводов подлежат замене или ремонту.

Таблица 1

Анализ возрастной структуры подземных газопроводов г. Бендеры (сталь)

Срок эксплуатации	Протяженность подземных газопроводов, км	% от общей протяженности
До 10 лет	3,51	1,65
11–15 лет	3,05	1,43
16–30 лет	74,89	35,18
Более 30 лет	131,88	61,74

Таблица 2
Анализ аварийности газопроводов (сталь)

Оценка технического состояния газопроводов, баллы	Протяженность подземных газопроводов, км	% от общей протяженности
10–12	40,5	18,99
13–16	118,33	55,46
17–20	54,50	25,55

В ходе нашего исследования мы попытались проанализировать инновационные технологические решения, с помощью которых возможно произвести ремонт или замену старых подземных газопроводов в различных условиях с наименьшими затратами. Кроме того, задачей данной работы является привлечение внимания коммунальных служб, в том числе на государственном уровне, к новым методам ремонта и восстановления подземных коммуникаций, в частности газопроводов.

Как известно [1, 2], при ремонте или замене наружных газовых сетей могут использоваться три основных способа производства работ: надземный, открытый и закрытый. До недавнего времени ремонт выполнялся только так называемым классическим способом, т. е. открытым (траншейным).

Широкое применение данного способа при прокладке или ремонте инженерных сетей обусловлено его сравнительной экономичностью на участках, где коммуникационные системы не мешают различным объектам. Однако строительство новых, а главное, ремонт и восстановление действующих коммуникаций чаще всего осуществляется на территориях с высокой плотностью городской застройки или действующих промышленных предприятий, в сложных географических и инженерно-геологических условиях. Как правило, под землей имеется значительное количество параллельных и пересекающихся на разных уровнях коммуникаций. Более того, в ряде случаев необходимо понижать

уровень грунтовых вод. Поэтому производство работ традиционными методами с внешней экскавацией грунта становится проблематичным или даже невозможным. При проведении работ нужно обеспечить безопасные условия на достаточно длительный период, что, в свою очередь, требует согласования действий с различными службами, а также затрудняет движение транспорта и людей по данному участку.

Сегодня весьма распространено новое направление – бестраншейные технологии, или так называемый закрытый способ ремонта и восстановления трубопроводных и канализационных сетей. Данное направление является альтернативой традиционному способу, поскольку имеет ряд неоспоримых преимуществ. Бестраншейные технологии позволяют:

- существенно сократить сроки восстановительных работ;
- уменьшить земляные работы на 80–90 %;
- получить экономию труб, горюче-смазочных и строительных материалов;
- не нарушать обычный ритм жизни города;
- не перекрывать транспортные магистрали;
- проводить работы в зимних условиях;
- обеспечить мобильность и высокую производительность работ.

Кроме того, следует помнить об экономической эффективности. В основном стоимость работ формируется из суммы прямых затрат на технологические операции той или иной технологии. Стоимость затрат складывается из расходов на заработную плату машинистов и рабочих, на эксплуатацию машин и механизмов, а также на материалы, необходимые для производства работ [2, 3]. При этом не учитываются косвенные расходы – убытки граждан, предприятий и организаций, вызванные проведением работ траншейным способом. Такие затраты связаны с

необходимостью объезда данного участка, отменой или изменением маршрутов городского пассажирского транспорта, снижением пропускной способности окружающих дорог, неудобством и определенной опасностью для пешеходов, нарушением существующего ландшафта и т. п. Так, в [4] произведен расчет некоторых косвенных затрат при траншейном методе строительства. Анализ показал, что при закрытом способе экономия денежных средств составляет почти 50 %.

Рациональное решение поставленных задач зависит также от выбора технологии ремонта и восстановления стальных подземных газопроводов. Анализ способов реновации газопроводов позволил нам классифицировать их по технологии выполнения работ (рис. 1) [5].

Реновация трубопроводов бестраншейными методами осуществляется путем

обработки или создания новой внутренней поверхности трубы либо протяжкой новой трубы с разрушением старой.

Анализ опыта строительства и эксплуатации распределительных газопроводов из полиэтиленовых труб показал, что последние имеют неоспоримые преимущества перед стальными. Малая масса и гибкость, низкая стоимость строительства, повышенная пропускная способность, отсутствие внешней и внутренней коррозии, а значит, и необходимости в изоляции, долговечность (прогнозируемый срок службы – 80 лет) позволяют полиэтиленовым трубам успешно конкурировать на строительном рынке распределительных газопроводов.

Использование способов реновации газопроводов с протяжкой новой трубы из полиэтилена на территории г. Бендеры имеет свои ограничения, связанные с на-



Рис. 1. Классификация бестраншейных способов ремонта трубопроводов

личием просадочных грунтов, оползневых склонов и с сейсмичностью 8 баллов. Согласно СТО Газпром 2-2.1-411-2010 «Проектирование, строительство и эксплуатация газопроводов давлением от 0,6 МПа до 1,2 МПа из полиэтиленовых труб» при выборе трассы следует избегать участков с косогорами, неустойчивыми, просадочными и набухающими грунтами, пересечениями горных выработок, активных тектонических разломов, селеопасных и оползневых склонов, а также участков, где возможно развитие карстовых процессов или сейсмичность которых превышает 8 баллов.

Прокладка газопроводов из полиэтиленовых труб не допускается:

- в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже минус 45 °С;
- на территории городов и сельских поселений с сейсмичностью свыше 6 баллов.

В таких регионах применение данного метода возможно при использовании труб из других материалов, например из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ).

На территории г. Бендеры рациональным будет использование бестраншейных методов реновации газопроводов путем обработки или создания новой внутренней поверхности старых труб, а именно:

- физико-химических способов обработки (санации) внутренней поверхности старой трубы;
- способа создания внутренней полимерной оболочки, включающего в себя устройство покрытий в виде мягких полимерных рукавов («чулков»), спиральных полимерных лент.

Металлические трубы газопроводов отличаются хорошими механическими характеристиками, но обладают низкой противокоррозионной устойчивостью, что способствует разрушению газопровода.

Одним из методов коррозионной защиты трубопроводов является технология торкретирования цементно-песчаным защитным слоем внутренней поверхности труб. Торкретирование подразумевает нанесение цементно-песчаного раствора под высоким давлением. Если раствор содержит специальные добавки (пластификаторы, полимерные связующие и т. п.), то его можно наносить путем набрызга. Благодаря наличию добавок существенно улучшаются адгезионные свойства таких составов, поэтому они применяются не только для бетонных поверхностей, но и для стальных и чугунных. В данном случае сущность технологии заключается в следующем: перед нанесением цементно-песчаного слоя предварительно струей высокого давления очищается внутренняя поверхность ремонтируемого участка сети, затем наносится различной толщины цементно-песчаная смесь с последующим заглаживанием специальным конусом [2, 3, 6].

Применяемые в настоящее время гидроизоляционные цементно-песчаные смеси с активными добавками проникающего действия в пастообразной консистенции послойно наносятся на внутреннюю поверхность трубы. Работы по нанесению таких покрытий могут выполняться методом центрифугирования или центробежного набрызга. Так обеспечивается плотность защитного слоя и предотвращается воздействие агрессивных сред [1–3, 6]. Образуется гладкая, экологически чистая поверхность зоны контакта с транспортируемой водой. Физико-химический состав цементно-песчаных покрытий подбирается для каждого случая.

Покрытие цементно-песчаным составом используется в качестве санации уже несколько десятилетий. Оно выгодно отличается от других физико-химических способов стоимостью и доступностью материалов, поэтому и сегодня применяется

достаточно широко. Однако следует отметить, что данное покрытие не выдерживает деформаций (трещин, геометрических изменений трассы и пр.), в связи с чем имеет ограниченную область применения.

Нанесение покрытия центробежным набрызгом (рис. 2) выполняется для труб диаметром более 300 мм. Работы при этом производятся из существующих камер или котлованов размером 1,5–2,0 м. Восстановлению подлежат только прямые участки длиной не более 150 м. Для нанесения покрытия используется специализированная техника и оборудование. Прочность

таких покрытий достигает 600 кг/см^2 . При соблюдении последовательности технологических операций, режимов устройства защитного слоя и при правильном подборе составов обеспечивается герметичность [1–3, 6].

При нанесении цементно-песчаного покрытия методом центрифугирования (рис. 3) в предварительно очищенный механическим способом участок трубопровода вводится разбрызгивающее устройство, которое протягивается через трубопровод при помощи лебедки. В устройство равномерно подается цементно-песчаная

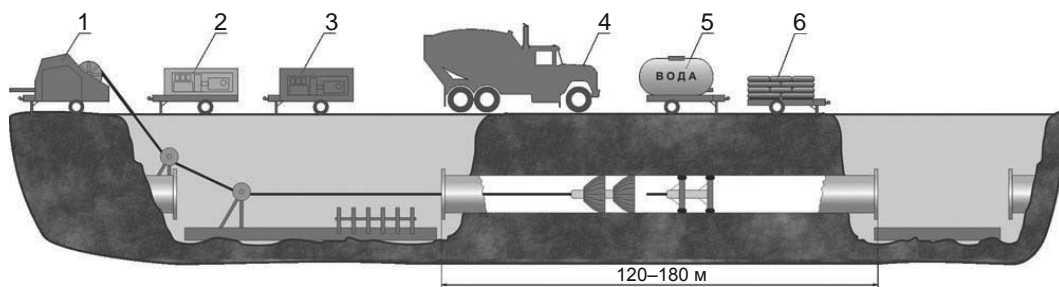


Рис. 2. Схема нанесения покрытия центробежным набрызгом:

1 – лебедка (тяговое устройство); 2 и 3 – компрессоры (подача воздуха под высоким давлением); 4 – растворесмеситель; 5 – бак для воды; 6 – насос для подачи воды

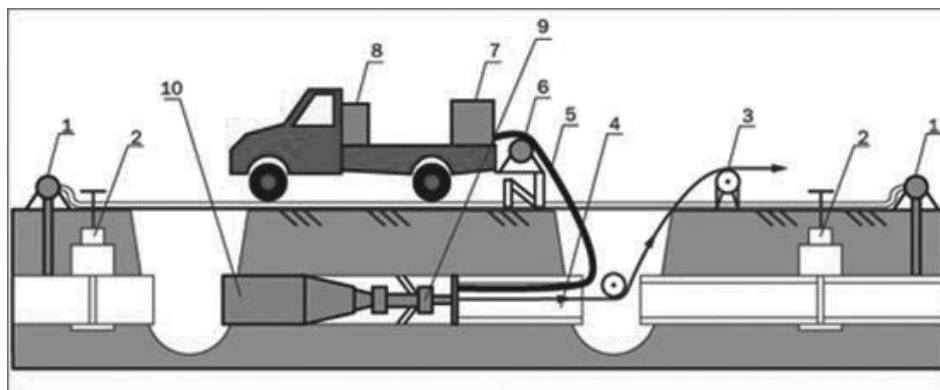


Рис. 3. Схема нанесения цементно-песчаного раствора

методом центрифугирования на трубопроводы малого диаметра:

1 – насос для временного отвода сточной жидкости; 2 – временный запорный орган (задвижка); 3 – лебедка; 4 – подлежащий обработке трубопровод; 5 – трубопровод транспортировки раствора; 6 – дозировочный насос для цементного раствора; 7 – емкость для цементного раствора; 8 – электрошкаф; 9 – разбрызгивающее устройство; 10 – обработанный участок трубы

смесь и посредством вращения его головки набрызгивается на стенки старого трубопровода. Такая операция может быть проведена несколько раз для достижения требуемой толщины стенки. По окончании работ металлический трубопровод приобретает многослойную конструкцию, внутренняя поверхность которого выполнена из гладкого тонкостенного бетона [1–3, 6].

Однако у указанного метода есть недостаток: наличие в трубопроводе углов поворота более 11° , спусков, подъемов делает невозможным прохождение рабочего органа и устройств прочистки, что влечет за собой необходимость дополнительного вскрытия трубопровода.

Одним из первых способов восстановления с помощью полимерных рукавов стал метод «чулок». Такое название он получил из-за того, что рукав выворачивается в старой трубе, как обычный чулок [2, 6, 7]. При санации данным способом используются различные типы рукавов, пропитки и теплоносители для полимеризации, поэтому существует ряд его разновидностей.

Способ «чулок» широко применяется за рубежом. Использованию в Приднестровье препятствует отсутствие материалов и оборудования.

Проанализировав инновационные технологии реновации газопроводов, мы можем сделать вывод о том, что в г. Бендеры рациональнее всего использовать физико-химические способы обработки (санации) внутренней поверхности старой трубы. Постоянно появляющиеся новые материалы, добавки и готовые составы для физико-химических методов защиты

имеют свои специфические особенности, преимущества и недостатки. Поэтому решение о целесообразности применения того или иного способа и материала для каждого случая необходимо принимать только после анализа условий и технико-экономического сравнения вариантов.

Цитированная литература

1. **Гончаренко Д.Ф.** Эксплуатация и восстановление сетей водоотведения. – Харьков: Консум, 2007. – 400 с.
2. **Орлов В.А., Харькин В.А.** Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей // РОСТ. – 2001. – № 3. – С. 20–27.
3. Бестраншейные технологии в России: Справочник. – М.: РОБТ, 2006. – С. 55–56.
4. **Дмитриева Н.В., Менейлюк А.И., Попов О.А.** Техничко-економическая ефективность бестраншейных технологий // Нові технології в будівництві. – 2007. – № 2/4. – С. 48–51.
5. **Дмитриева Н.В., Бичев И.К., Антонюк Н.Р.** Целесообразное решение проблемы городских водопроводных и канализационных сетей: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві», 11–12 квітня 2013 р. – Одеса, 2013. – С. 110–115.
6. **Сидак В.С., Дудолад О.С.** Новітні технології будівництва та реновації інженерних мереж. – Харьков: Евромедия, 2006. – 353 с.
7. **Храменков С.В.** Стратегия модернизации водопроводной сети: Монография. – М.: Стройиздат, 2005. – 28 с.

ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

УДК 336.717.9

Л.Г. Сенокосова, д-р экон. наук, проф.
Д.П. Осадчук, аспирант

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РЕСУРСОВ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА КАК ИСТОЧНИК СНИЖЕНИЯ БАНКОВСКОГО РИСКА

Рассмотрены основные формы, виды ресурсов и функции коммерческого банка при формировании собственного капитала в тесной связи со снижением, ограничением и сглаживанием негативных последствий различных рисков, которые несет банк. На основе анализа структуры пассивов коммерческих банков Приднестровья дана характеристика преимуществ и недостатков каждого источника, предложены пути увеличения объема ресурсов банковской системы посредством активизации ранее неиспользуемых инструментов.

Одной из важнейших проблем, стоящих сегодня перед коммерческим банком, является выработка грамотной политики, направленной на расширение его ресурсной базы, которая представляет собой совокупность всех средств, имеющихся в распоряжении банка и используемых для осуществления активных операций.

В современных условиях развития национальной экономики проблема формирования и классификации ресурсов коммерческого банка становится крайне актуальной. Это вызвано тем, что, во-первых, значительная часть ресурсов сосредоточена в Центральном банке ПМР, во-вторых, собственники временно свободных денежных средств самостоятельно определяют место и способ их хранения, что способствует созданию рынка кредитных ресурсов, органически входящего в ресурсную базу, в-третьих, наряду с рынком кредитных ресурсов начинает

функционировать рынок ценных бумаг, на котором коммерческие банки выступают продавцами собственных либо покупателями государственных и корпоративных ценных бумаг, в-четвертых, наличие страховых, финансовых и других кредитных учреждений активизирует конкурентную борьбу и обостряет проблему аккумуляции банками временно свободных денежных средств. При этом следует отметить, что данная политика должна быть направлена не только на количественный рост размеров ссудного фонда в абсолютных значениях, но также на качественную диверсификацию его источников по основным параметрам: стоимости, видам валюты, срочности, стабильности, удельному весу отдельных составляющих в общем объеме.

Важной частью выработки ресурсной политики банка является определение основных форм и видов привлекаемых ре-

сурсов, так как именно от этого зависит инструментарий, применяемый менеджерами банка для достижения поставленной задачи.

В современной теории банковского дела существуют разные точки зрения на классификацию форм и видов ресурсов. Доктор экономических наук, профессор О.И. Лаврушин считает, что по способу образования ресурсы коммерческого банка подразделяются на собственные и привлеченные средства (обязательства перед клиентами и кредитными организациями) [1]. При этом происходит слияние привлеченных (деPOSITных) и заемных (недеPOSITных) средств в одну категорию – «чужие средства».

Предлагаем делить ресурсы на три основные формы: собственные, привлеченные (деPOSITные) и заемные (недеPOSITные) средства. Они имеют существенные отличия друг от друга, заключающиеся, во-первых, в субъекте, инициирующем

операцию, а во-вторых, во множестве видов, группирующихся по ряду общих принципов.

На наш взгляд, детальная классификации форм и видов ресурсов коммерческого банка может быть представлена в виде схемы (см. рисунок).

Совокупность различных фондов, создаваемых коммерческими банками для осуществления деятельности и обеспечения доверия вкладчиков и других кредиторов, относится к **собственному капиталу**. Он гарантирует стабильность и надежность работы банка и выполняет регулирующую, защитную и оперативную функции.

Регулирующая функция связана с заинтересованностью общества в успешном функционировании банков и реализуется через нормативные документы, издаваемые уполномоченным государственным органом в лице Центрального банка, определяющие минимальный уровень банковского уставного капитала для вновь



Структура ресурсов коммерческого банка

создаваемых банков и минимальный размер капитала для действующих банков. В соответствии с указанием Центрального банка ПМР от 30 мая 2012 г. минимальный размер собственного капитала вновь создаваемых или действующих банков должен составлять 100 млн рублей [2].

Защитная функция собственных средств заключается в необходимости обеспечения гарантий по взятым на себя обязательствам и призвана в случае наступления неблагоприятной экономической ситуации стать «подушкой», позволяющей поглотить возникшие крупные непредвиденные потери и затраты. Банки для финансирования такого рода расходов используют, прежде всего, различные резервы, фонды, нераспределенную прибыль, но в крайне неблагоприятной ситуации может быть задействован и уставный капитал. В случае процедуры банкротства собственные средства коммерческого банка используются на погашение задолженности перед бюджетом, держателями облигаций и прочих долговых обязательств, вкладчиками денежных средств на срочные депозиты и депозиты до востребования. Для регулирования данной функции Центральный банк в соответствии с Инструкцией от 9 ноября 2007 г. «О порядке регулирования деятельности кредитных операций» определил допустимые размеры нормативов достаточности капитала, показывающие соотношение имеющихся у банка активов, взвешенных по степени риска, с его собственными средствами.

Оперативная функция собственных средств для банка в отличие от обычных предприятий является второстепенной. Как правило, банк не заинтересован в краткосрочном размещении собственных средств. Оперативная функция реализуется им через приобретение необходимых зданий, машин, оборудования и иных средств, требующихся для повседневной деятельности.

Дополнительной характеристикой собственного капитала является стабильность и постоянство величины данного источника, возможность его использования для долгосрочных инвестиционных проектов. Однако отрицательным аспектом ресурса выступает дороговизна основного его компонента – уставного капитала.

Привлеченные (депозитные) средства – это средства коммерческого банка, полученные от юридических и физических лиц, которые выступают инициаторами данной операции.

Задача банка в таком случае заключается в разработке и выводе на рынок привлекательного продукта, отвечающего требованиям и пожеланиям потенциальных клиентов, а также в обеспечении высокого качества обслуживания клиентов.

Основным отличием привлеченных (депозитных) средств от собственных является более широкое разнообразие видов. Привлеченные средства делятся по различным признакам:

- по субъекту: средства от физических, юридических лиц и банков;
- по срочности: до востребования, кратко-, средне-, долгосрочные;
- по виду валюты: в национальной и иностранной;
- по характеру изъятия: отзывные, безотзывные;
- другие.

Данный вид средств является основой осуществления банком активных операций и, как правило, занимает значительную долю в совокупных пассивах. В европейском банковском праве именно через депозитную сделку определяется суть кредитного института, и означает любой кредитный баланс, который появился в результате того, что денежные средства были оставлены на счет, или по результатам временной ситуации, возникшей вследствие нормальных банковских сделок, и который кредитный институт дол-

жен вернуть в соответствии с примененными положениями права и договора, и любой долг, подтвержденный сертификатом, выпущенным кредитным институтом [3]. Согласно приднестровскому и российскому законодательству депозитными называются денежные средства, внесенные в банк клиентами на определенный счет и используемые банком в соответствии с режимом счета и законодательства.

Преимуществом депозитных средств является значительная диверсификация источников, стабильность величины постоянных остатков, сравнительно низкая стоимость благодаря наличию значительного объема бесплатных и почти бесплатных ресурсов в виде средств на счетах «до востребования» юридических и физических лиц, возможности привлечения для обслуживания ЛОРО-корсчетов других банков. Недостатком данной формы выступает изменение объема средств под воздействием сезонных факторов, подверженность владельцев средств паническим настроениям, необходимость поддержания значительного объема высоколиквидных активов, который нужен для обеспечения достаточного уровня ликвидности, определяемого нормативными документами Центрального банка, даже при отсутствии потребности в этом, зависимость цены привлечения от конъюнктурных изменений на рынке.

Третья форма ресурсов – *заемные средства* – это средства коммерческого банка, которые получены в результате инициирования и реализации целенаправленных мероприятий по привлечению дополнительных объемов ресурсов, носящих оптовый характер.

Данные ресурсы привлекаются, как правило, для регулирования ликвидности, выравнивания структуры баланса банка, реализации целевых программ и проектов.

Объективным условием существования таких привлечений является на-

личие межбанковского денежного рынка, рынка ценных бумаг, инструментов рефинансирования Центрального банка. Необходимость данной инфраструктуры финансового рынка обусловлена видами рассматриваемой формы привлечения, в качестве которых выступают межбанковские кредиты, кредиты и займы Центрального банка, сделки РЕПО с ценными бумагами, возможность размещения вексельных и облигационных займов, синдицированные кредиты.

Преимуществом заемного капитала является возможность привлечения необходимого объема ресурсов с заданными параметрами (по цене, виду валюты, объему, сроку), отсутствие фактора сезонности и непредсказуемости действий владельцев в случае неопределенной политической, экономической или иной ситуации, возможность трансформации заемных средств в собственные, если ведется речь о привлечении субординированных займов с включением данных ресурсов в состав собственного капитала банка. К недостаткам можно отнести более высокую стоимость, чем у депозитной формы привлечения, и необходимость поиска целевой клиентской группы или отдельного контрагента, заинтересованного в данной форме размещения.

Структура пассивов коммерческих банков Приднестровья представлена в таблице.

Анализ структуры пассивов приднестровских коммерческих банков показал, что в соответствии с рассматриваемой классификацией структура на протяжении 2013–2014 гг. была стабильной и не претерпевала существенных изменений [4]. Порядка 80,0 % составляли привлеченные и заемные ресурсы, причем на долю заемных средств приходилось всего около 10 %. Размер собственного капитала по банковской системе соответствовал 20 %, что являлось средним международным показателем.

Структура пассивов коммерческих банков ПМР

Наименование статьи	На 01.01.2013		На 01.01.2014		На 01.10.2014	
	млн руб. ПМР	%	млн руб. ПМР	%	млн руб. ПМР	%
Привлеченные средства и заемные средства – всего	3 907,01	77,21	5 036,87	79,95	5 137,53	79,87
В том числе						
кредиты, депозиты и прочие средства ПРБ	301,63	5,96	385,27	6,12	604,43	9,40
средства КО	41,02	0,81	173,21	2,75	100,49	1,56
средства юридических лиц	1 599,25	31,61	2 534,42	40,23	2 590,86	40,28
средства физических лиц	1 627,10	32,16	1 792,51	28,45	1 632,06	25,37
выпущенные долговые обязательства	126,14	2,49	19,33	0,31	23,15	0,36
прочие обязательства	211,87	4,19	132,13	2,10	186,54	2,90
Собственные средства – всего	1 153,08	22,79	1 262,88	20,05	1 294,94	20,13
В том числе						
средства акционеров	940,58	18,59	996,11	15,81	1 043,18	16,22
резервный фонд	60,12	1,19	65,20	1,03	71,71	1,11
прочие источники собственных средств	8,10	0,16	22,52	0,36	7,25	0,11
прибыль	139,71	2,76	174,85	2,78	168,21	2,62
переоценка ОС и МА	4,57	0,09	4,20	0,07	4,59	0,07
Итого	5 060,09	100	6 299,75	100	6 432,47	100

Итак, можно констатировать, что отдельные виды недепозитных привлечений, такие как облигационные, вексельные, межбанковские кредиты, слабо представлены в совокупных ресурсах приднестровской банковской системы. Данный факт в значительной степени связан с неразвитостью внутренней финансовой инфраструктуры денежного рынка и рынка ценных бумаг. Хотя, как отмечалось ранее, именно данный вид ресурсов является наиболее оптимальным с точки зрения соотношения цены, стабильности и срочности. Поэтому, на наш взгляд, коммерческим банкам и органам государственной власти следует уделить особое внимание стимулированию развития недепозитных форм привлечения ресурсов как наиболее перспективного направления. В качестве таких мер целесообразно

применить пониженный процент формирования обязательных резервов (ФОР и ФОС), льготы при осуществлении расчетов посредством срочных векселей, разработать механизмы рефинансирования под залог выпущенных долговых обязательств.

Цитированная литература

1. Банковское дело: Учебник / Под ред. проф. О.И. Лаврушина. – М.: КНОРУС, 2009. – С. 200.
2. Официальный сайт ЦБ ПМР. – Доступ.: www.cbpmr.net/?kv=6&sf=1000
3. Банковское дело: Учебник / Под ред. О.И. Лаврушина. – М.: КНОРУС, 2008. – 768 с.
4. Официальный сайт ЦБ ПМР. – Доступ.: <http://www.cbpmr.net/?id=27&lang=ru>

УДК 657

Т.П. Стасюк, канд. экон. наук, доц.
В.Н. Черныш, ст. преп.

НЕОБХОДИМОСТЬ, СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕТНОЙ ПОЛИТИКИ БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Аргументирована практическая значимость и необходимость формирования учетной политики бюджетными учреждениями Приднестровья, а также раскрыто ее содержание и методика формирования в разрезе организационного, технического, методологического и налогового аспектов.

Учетная система бюджетных учреждений является составной частью единой системы бухгалтерского учета ПМР. Грамотно поставленный бухгалтерский учет позволяет не только выявлять скрытые резервы, обнаруживать нарушение режима экономии плановой и финансово-бюджетной дисциплины, но и предупреждать и вовремя устранять возможные потери и необоснованные затраты.

Ведение бухгалтерского учета в бюджетных учреждениях регламентируется специальными нормативными актами. Они устанавливаются централизованно Министерством финансов и Министерством экономического развития ПМР, а также другими уполномоченными на то органами.

В настоящее время нормативные документы Министерства финансов и Министерства экономического развития не содержат прямого указания на то, что бюджетные учреждения должны формировать свою учетную политику для целей бухгалтерского учета. Более того, основным нормативным документом, которым руководствуется большинство бюджетных организаций республики при утверждении учетного регламента, служит Стандарт бухгалтерского учета № 8 «Учетная политика, изменения в расчетных оценках и ошибки», утвержденный Министерством финансов 30 апреля 2009 года [1]. Так, на-

пример, пунктом 6 раздела 3 указанного стандарта установлены правила формирования (выбора или разработки) и раскрытия учетной политики организаций, являющихся юридическими лицами по законодательству ПМР (за исключением кредитных и бюджетных организаций).

Согласно нормам стандарта с 1 января 2011 года действие данного нормативно-правового акта не распространяется на бюджетные учреждения. До обозначенного срока действовал Стандарт бухгалтерского учета № 1 «Учетная политика юридического лица» (прил. № 1 к Приказу министра экономики ПМР № 744 от 21 декабря 2005 года), который указывал, что его действие распространяется на организации и учреждения, финансируемые из республиканского и местного бюджетов. Однако следует отметить, что в Законе ПМР «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности» от 17 августа 2004 года не прописана необходимость формирования учетной политики бюджетными учреждениями республики [2]. Таким образом, согласно пункту 2 статьи 1 сферы действия данного закона (вступившего в силу с 1 января 2005 года) распространяется на все организации независимо от организационно-правовой формы, находящиеся на территории Приднестровской Молдавской Республики, зарегистрированные в качестве юридического лица в соответствии

с действующим законодательством ПМР, а также на филиалы и представительства иностранных организаций [3].

Напомним, что официальным курсом ПМР является гармонизация законодательства Приднестровской Молдавской Республики и Российской Федерации, в том числе в части бухгалтерского учета. Поэтому следует рассмотреть законодательство РФ. Так, бюджетные учреждения России в обязательном порядке формируют и утверждают свою учетную политику, руководствуясь законодательством РФ о бухгалтерском учете, нормативными актами органов, регламентирующих бухгалтерский учет, исходя из специфики структуры, отраслевых и иных особенностей деятельности учреждения и осуществляемых им в соответствии с законодательством полномочий.

При формировании учетной политики бюджетного учреждения Российской Федерации утверждаются следующие акты субъекта учета, которые являются неотъемлемой частью его учетной политики:

- рабочий план счетов бухгалтерского учета государственных (муниципальных) учреждений, содержащий применяемые счета бухгалтерского учета для ведения синтетического и аналитического учетов;
- методы оценки отдельных видов имущества и обязательств;
- порядок проведения инвентаризации имущества и обязательств;
- правила документооборота и технология обработки учетной информации, в том числе порядок и сроки передачи первичных (сводных) учетных документов в соответствии с утвержденным графиком документооборота для отражения в бухгалтерском учете;
- формы первичных (сводных) учетных документов, применяемых для оформления хозяйственных операций, по которым законодательством РФ не установлены обязательные для их оформления формы документов;

– порядок организации и обеспечения (осуществления) субъектом учета внутреннего финансового контроля;

– иные решения, необходимые для организации и ведения бухгалтерского учета.

Исходя из вышесказанного отделу по развитию методологии бухгалтерского учета при Министерстве экономического развития ПМР рекомендуется разработать нормативный акт в виде стандарта либо положения, регламентирующего порядок формирования и содержание учетной политики для бюджетных учреждений республики.

Практика показывает, что бухгалтерский учет в бюджетных учреждениях имеет особенности, которые обусловлены существенными различиями в правилах ведения бухгалтерского учета, действующих в коммерческих и бюджетных организациях.

В Приднестровье деятельность бюджетных учреждений регулируется нормами закона «О бюджетной системе в Приднестровской Молдавской Республике» от 24 февраля 1997 года (далее – Закон ПМР № 35-3) [4]. Согласно статье 10 бюджетным учреждением признается организация, созданная органами государственной власти и управления, органами местного самоуправления для осуществления управленческих, социально-культурных, научно-технических или иных функций некоммерческого характера, деятельность которой финансируется из соответствующего бюджета или бюджета государственного внебюджетного фонда на основе сметы доходов и расходов. Основной вид деятельности бюджетного учреждения должен соответствовать предметам и целям деятельности, определенным нормативными правовыми актами и уставом учреждения.

Основная цель коммерческих организаций согласно ГК ПМР заключается в извлечении прибыли и распределении ее между участниками.

Таким образом, факт отличия осуществляемой деятельности и специфики учетного процесса является одним из аргументов необходимости формирования бюджетными учреждениями учетной политики [5, 6].

Учетная политика бюджетного учреждения должна включать организационный, технический, методологический и налоговый разделы (аспекты).

В **организационном разделе** излагаются следующие сведения:

- об организации, в том числе о специфике вида экономической деятельности организации;

- об используемой нормативной базе;
- об основных принципах ведения бухгалтерского учета. К ним, в частности, относятся: *обособленность* – положение, при котором имущество, обязательства и капитал организации существуют обособленно от имущества, обязательств и капитала собственников этой организации, других организаций и лиц; *постоянство* – применение организацией избранной учетной политики в течение длительного времени; *непрерывность* – оценка статей активов, обязательств и капитала организации, производимая исходя из предположения, что ее деятельность будет продолжаться без значительных изменений в объеме операций и принятия решений о реорганизации (ликвидации) или других решений, которые могли бы существенно изменить характер деятельности учреждения; *приоритет сущности над формой* – отражение в бухгалтерском учете фактов хозяйственной деятельности в соответствии с их экономической сущностью, а не только согласно их правовой форме; *единый денежный измеритель* – измерение и обобщение всех хозяйственных операций в финансовой отчетности, осуществляемых в единой денежной единице;

- о порядке организации бухгалтерского учета. Согласно Закону ПМР «О бух-

галтерском учете и финансовой отчетности» от 14 июля 2004 года руководитель организации может в зависимости от объема учетной работы: а) учредить бухгалтерскую службу как структурное подразделение, возглавляемое главным бухгалтером; б) ввести в штат должность бухгалтера; в) передать на договорных началах ведение бухгалтерского учета централизованной бухгалтерии, специализированной организации или бухгалтеру-специалисту; г) вести бухгалтерский учет лично [2];

- о структуре бухгалтерской (финансовой) службы, т. е. о выборе типа структуры бухгалтерии, в том случае, если в бюджетном учреждении учет организован силами централизованной бухгалтерии (в современных условиях сложились три основных типа организации структуры бухгалтерии: линейная (иерархическая), по вертикали (линейно-штабная) и комбинированная (функциональная)).

В **техническом разделе** учетной политики должны быть закреплены следующие аспекты:

- выбор формы бухгалтерского учета;
- состав и содержание форм первичных учетных документов для хозяйственных операций, по которым не утверждены типовые бланки;

- рабочий план счетов бухгалтерского учета бюджетного учреждения;

- график документооборота;
- правила документооборота и технология обработки учетной информации, в том числе порядок и сроки обмена документами с обособленными подразделениями;

- порядок проведения инвентаризации активов и обязательств;

- формы документов внутренней бухгалтерской отчетности;

- организация системы внутреннего контроля.

Рассмотрим аспекты технического раздела учетной политики бюджетного учреждения более подробно.

Выбор формы бухгалтерского учета (бюджетная организация самостоятельно выбирает форму учета: мемориально-ордерную, журнально-ордерную, автоматизированную). В соответствии со статьей 12 Закона ПМР № 35-3 бухгалтерский учет в организации должен осуществляться в регистрах бухгалтерского учета, которые предназначены для систематизации и накопления информации, содержащейся в принятых к учету первичных учетных документах, на счетах синтетического и аналитического учета, и обобщения в финансовой отчетности организации. Наиболее распространенным вариантом формы ведения бухгалтерского учета в бюджетных организациях в настоящее время является мемориально-ордерная форма, утвержденная пунктом 17 Инструкции 193 [7]. Однако сегодня имеет широкое распространение автоматизированная форма ведения учета, что обусловлено наличием специализированного программного обеспечения в части бухгалтерского учета для бюджетных учреждений.

Таким образом, организации в учетной политике достаточно привести один из вариантов форм ведения бухгалтерского учета, а также перечень регистров бухгалтерского учета, установленных нормативными актами по бухгалтерскому учету.

Состав и содержание форм первичных учетных документов для хозяйственных операций, по которым не утверждены типовые бланки. В соответствии со статьей 11 Закона ПМР № 35-3 все хозяйственные операции, производимые организацией, должны оформляться оправдательными документами. Они служат первичными учетными документами, на основании которых ведется бухгалтерский учет.

Формы унифицированных первичных документов и регистров бухгалтерского учета утверждены Приказом Министерства экономического развития от 2 декаб-

ря 2008 года «Об утверждении Альбома унифицированных форм первичной учетной документации и Перечня регистров бухгалтерского учета» [8]. Таким образом, в учетной политике достаточно привести перечень унифицированных первичных документов, а также нормативные акты, которыми они утверждены.

Если организации потребуется применить дополнительные первичные документы, формы которых не утверждены, то их нужно утвердить и в приложении к учетной политике указать их формы и порядок заполнения. Формы самостоятельно разработанных учетных документов должны содержать обязательные реквизиты, перечисленные в статье 11 Закона ПМР № 35-3. Кроме того, в данный раздел учетной политики целесообразно включить документ, в котором руководитель приказом по организации определяет круг лиц, имеющих право подписи бухгалтерских документов (пункт 2 статьи 11 Закона ПМР № 35-3).

Рабочий план счетов бухгалтерского учета бюджетного учреждения содержит синтетические и аналитические счета, необходимые для ведения бухгалтерского учета. Основанием для разработки рабочего плана является типовая план счетов бухгалтерского учета, предусмотренный Инструкцией 193.

График документооборота регламентирует перечень и формы первичных учетных документов, сроки их составления, а также круг должностных лиц, ответственных за их оформление и утверждение, т. е. за порядок документооборота и технологию обработки учетной информации. Основанием для разработки правил документооборота в бухгалтерском учете является Закон ПМР № 35-3 и Инструкция № 193. График документооборота может быть оформлен в виде схемы, таблицы или текстового перечня работ по созданию, проверке и обработке документов, выполняемых каждым подразделением органи-

зации, с указанием всех исполнителей, их взаимосвязи и сроков выполнения работ.

Правила документооборота и технология обработки учетной информации, в том числе порядок и сроки обмена документами с обособленными подразделениями. Порядок организации документооборота состоит в следующем:

1) составление графика документооборота организует главный бухгалтер или иное лицо, на которое в соответствии с учетной политикой возложена обязанность по ведению бухгалтерского учета в организации;

2) график документооборота утверждается приказом руководителя организации;

3) работникам организации (начальникам инспекций, управлений, отделов, табельщикам, работникам планово-экономического, финансового отделов, отделов труда и заработной платы, снабжения, кладовщикам, подотчетным лицам, работникам бухгалтерии и др.), которые создают и представляют документы, относящиеся к сфере их деятельности, вручаются выписки из графика, регламентирующие их обязанности;

4) ответственность за соблюдение графика документооборота, а также за своевременное и доброкачественное создание документов, своевременную передачу их для отражения в бухгалтерском учете и отчетности, за достоверность содержащихся в документах данных несут лица, создавшие и подписавшие эти документы;

5) контроль за соблюдением исполнителями графика документооборота по учреждению осуществляет главный бухгалтер или иное лицо, на которое в соответствии с учетной политикой возложена обязанность по ведению бухгалтерского учета в организации.

Порядок проведения инвентаризации активов и обязательств. В учетной политике должно быть определено: количество инвентаризаций в отчетном году; даты их

проведения; перечень имущества и обязательств, проверяемых при каждой из них; состав инвентаризационной комиссии.

Целесообразно в приложение к учетной политике включить график проведения инвентаризации активов и обязательств организации.

Обязательное проведение инвентаризации устанавливается пунктом 2 статьи 14 Закона ПМР № 35-3. Инвентаризация проводится в соответствии с требованиями Инструкции по проведению инвентаризации имущества и финансовых обязательств в бюджетных организациях, включая воинские (далее – Инструкция № 181/477), утвержденной совместным приказом Министерства финансов и Министерства экономики от 22 сентября 2008 года [9].

В соответствии с пунктом 3 статьи 14 Закона ПМР № 35-3 выявленные при инвентаризации расхождения между фактическим наличием и данными бухгалтерского учета отражаются на счетах бухгалтерского учета в следующем порядке:

1) излишек имущества у бюджетной организации относится на увеличение финансирования (фондов);

2) недостача имущества у бюджетной организации относится на уменьшение финансирования.

Формы документов внутренней бухгалтерской отчетности закрепляются в учетной политике и необходимы для внутренних пользователей в целях принятия управленческих решений, контроля за деятельностью бюджетного учреждения в целом и его структурных подразделений.

Организация системы внутреннего контроля. В данном аспекте приводится форма организации системы внутреннего контроля в виде службы внутреннего контроля (СВК), службы внутреннего аудита (СВА), контрольно-ревизионной комиссии, а также прописывается порядок ее работы и представления документации по результатам проверок.

В *методологическом разделе* учетной политики бюджетного учреждения устанавливается порядок учета отдельных хозяйственных операций – способов оценки активов и обязательств организации. Причем в учетной политике отражаются лишь те способы учета активов и обязательств, которые имеют место в хозяйственной деятельности организации и для которых предусмотрен выбор способа учета, либо данный способ нужно разрабатывать самостоятельно.

Так, при формировании учетной политики организации по конкретному вопросу учета осуществляется выбор одного способа из нескольких, допускаемых законодательством Приднестровской Молдавской Республики и (или) нормативно-правовыми актами по бухгалтерскому учету. Важно обратить внимание на тот факт, что в учетной политике рассматриваются только те вопросы, решение которых многовариантно в соответствии с нормативными документами.

Если по конкретному вопросу в нормативно-правовых актах не установлены способы ведения бухгалтерского учета, то при формировании учетной политики организация разрабатывает соответствующий способ исходя из действующих положений по бухгалтерскому учету. Таким образом, можно заключить, что в методологическом разделе бюджетное учреждение должно отразить только те элементы учета, в части которых Инструкция № 193, регулирующая ведение бюджетного учета, предоставляет организации возможность выбора варианта учета или не содержит конкретного порядка учета хозяйственных операций. При этом в последнем случае бюджетное учреждение должно само определить порядок учета и закрепить его в своем нормативном документе.

Подробному содержанию методологического раздела учетной политики бюджетного учреждения будет посвящена отдельная статья.

Налоговый раздел учетной политики бюджетного учреждения является важнейшим аспектом, так как прямо и непосредственно влияет на формирование показателей налоговой отчетности.

Бюджетное учреждение обладает правоспособностью юридического лица, а следовательно, оно признается плательщиком налогов и сборов. Но уплачивать налоги ему приходится лишь в том случае, если организация имеет объекты налогообложения [10].

Правильно исчислить налоги невозможно без такого инструмента, как налоговая политика. Поэтому бюджетное учреждение должно иметь свою налоговую политику, которая, как и бухгалтерская учетная политика, должна включать организационный и методологический разделы, закрепляющие используемые правила исчисления налогов.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что, формируя учетную политику в разрезе организационного, технического, методологического и налогового разделов исходя из изложенных в статье аспектов их наполнения, бюджетные учреждения ПМР усовершенствуют существующую учетно-аналитическую систему и будут составлять более понятную и прозрачную отчетность для соответствующих категорий пользователей.

Цитированная литература

1. Стандарт бухгалтерского учета № 8 «Учетная политика, изменения в расчетных бухгалтерских оценках и ошибки», утвержденный приказом Министерства финансов № 111 от 3 апреля 2009 г.
2. Закон ПМР «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности» от 17 августа 2004 г. № 467-3-III с изменениями, внесенными законами ПМР от 10 марта 2005 г. № 544-ЗИ-III; от 23 марта 2009 г. № 683-ЗИ-IV.

3. Гражданский кодекс Приднестровской Молдавской Республики (текущая редакция по состоянию на 24 февраля 2005 г.).

4. Закон ПМР «О бюджетной системе в Приднестровской Молдавской Республике» от 24 февраля 1997 г. № 35-3.

5. **Стасюк Т.П.** Направления совершенствования формирования учетной политики предприятия в соответствии с МСФО // Сборник материалов научно-практической конференции. – Тирасполь, 2012. – С. 9–16.

6. **Стасюк Т.П.** Внутренний аудит учетной политики предприятия // Вестник Приднестр. ун-та. Сер.: Физ.-мат. и техн. науки. – 2013. – № 3. – С. 142–145.

7. Приказ Министерства финансов ПМР от 7 октября 2008 г. № 193 «Об утверждении

Инструкции по бухгалтерскому учету в организациях, состоящих на бюджете».

8. Приказ министра экономики от 2 декабря 2005 г. № 761 «Об утверждении Альбома унифицированных форм первичной учетной документации и Перечня регистров бухгалтерского учета».

9. Приказ Министерства финансов и Министерства экономики «Об утверждении инструкции по проведению инвентаризации имущества и финансовых обязательств в бюджетных организациях, включая воинские» № 181/477 от 22 сентября 2008 г.

10. Закон ПМР «О бюджетной классификации ПМР» от 14 января 2003 г. № 225-3-III; Закон ПМР «Об основах налоговой системы в ПМР» от 19 июля 2000 г. № 321-ЗИД.

УДК 657.6

Н.В. Зеленин, ст. преп.

СОСТОЯНИЕ РЫНКА АУДИТОРСКИХ УСЛУГ В ПРИДНЕСТРОВСКОЙ МОЛДАВСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ И МЕРЫ ПО ЕГО РАЗВИТИЮ В РАМКАХ ГАРМОНИЗАЦИИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПРИДНЕСТРОВЬЯ И РОССИИ

Рассматривается состояние рынка аудиторских услуг в России и в Приднестровье. Изучается действующая нормативно-правовая база, регламентирующая аудиторскую деятельность в двух странах. Исследуются характерные особенности и показатели рынков, проводится их сравнительный анализ. В рамках гармонизации законодательства ПМР и РФ раскрываются проблемы, сдерживающие развитие рынка аудиторских услуг в республике, и предлагаются меры по их решению.

Одним из обязательных элементов рыночной экономики является наличие рынка аудиторских услуг. В Приднестровье этот сегмент не развит и даже не просматриваются перспективы его развития. Однако проблема требует решения.

Аудиторско-консультационные услуги как составная часть рынка услуг появились в России с началом рыночных преобразований в 90-е годы и находятся в состоянии динамичного развития: по ста-

тистическим данным в 1998 году рынок аудиторских услуг оценивался в 3 млрд руб., а в 2013 – уже в 50,8 млрд руб. Современные аудиторские фирмы оказывают клиентам более 50 видов услуг, основную долю которых составляет аудит (45–47 %), он обеспечивает 38–45 % дохода крупнейших аудиторских фирм.

Для проведения анализа и исследования рынка аудиторских услуг в ПМР целесообразно определить необходи-

мый уровень и содержание аудиторской деятельности, перечень аудиторских и консультационных услуг, их правовое обеспечение. Кроме того, необходимо разработать систему показателей эффективности работы аудиторских фирм, выявить спрос и предложение отдельных видов услуг, а также определить критерии выбора клиентом аудиторской фирмы, сформулировать проблемы рынка аудиторских услуг и наметить пути их решения.

Аудит – это сфера деятельности, требующая большого опыта, а рынок аудиторских услуг слишком молод не только в Приднестровье, но даже в России. При этом если в РФ он состоялся и действует, имеются отчеты по основным показателям, то в нашей республике рынок аудиторских услуг находится в зачаточном состоянии.

В России система аудита стала складываться в 1987 году, когда была открыта первая аудиторская фирма «Интераудит». С начала 90-х годов на российском рынке функционируют иностранные аудиторские компании.

Основной объем работ исходя из показателя выручки приходится на крупнейшие международные компании «большой четверки» и различные зарубежные аудиторские фирмы (70–82 % общего объема рынка). За ними следуют крупные российские аудиторские организации (15–25 %), а затем средние и небольшие российские фирмы, которые делят рынок между собой поровну (3–5 %). Эти данные носят оценочный характер, так как статистических материалов о деятельности иностранных фирм в России не имеется [1].

В Федеральном законе «Об аудиторской деятельности» определено, что основными исполнителями аудиторской деятельности являются российские аудиторские организации и индивидуальные аудиторы. Их права, обязанности, сфера деятельности регламентируются статьями 3, 4, 5, 7. Аудиторские компании могут иметь такие орга-

низационно-правовые формы, как закрытое акционерное общество (ЗАО) и общество с ограниченной ответственностью (ООО). Аудиторские фирмы классифицируются по характеру деятельности на универсальные и специализированные, а также по объему реализуемых услуг на большие, средние и малые. Основным критерием объема оказываемых услуг следует считать размер выручки от их реализации [2, 3].

Универсальные аудиторские компании занимаются самыми разнообразными видами работ: организацией аудиторских проверок в области общего аудита, банковского аудита и др.; услугами по постановке, восстановлению и ведению бухгалтерского учета, по анализу хозяйственно-финансовой деятельности, оценке активов и пассивов экономического субъекта; консультированием по вопросам финансового, управленческого и налогового учета; обучением персонала предприятий бухгалтерскому учету и аудиту; компьютеризацией учета; другими услугами по профилю своей деятельности. Универсальные аудиторские организации чаще всего бывают большими и средними.

Специализированные аудиторские фирмы выполняют определенные виды деятельности (например, аудиторские проверки, обучение и пр.).

Согласно закону аудиторскую деятельность могут осуществлять и индивидуальные аудиторы. Они должны пройти аттестацию, приобрести лицензию и зарегистрироваться в качестве частных предпринимателей. При этом как аудиторы, так и аудиторские фирмы не вправе заниматься никакими другими видами предпринимательства, кроме аудиторской и связанной с ней деятельностью. Более того, индивидуальному аудитору не разрешается выполнять основной вид аудиторской деятельности – обязательный аудит (это прерогатива только аудиторских организаций). Если индивидуальный аудитор хочет проводить обязательный аудит, он должен

поступить на работу в аудиторскую компанию или создать ее [4].

Для анализа состояния рынка аудиторских услуг в России рассмотрим основные его показатели, опубликованные Министерством финансов РФ по состоянию на 1 января 2012 года (табл. 1), и сопоставим их со статистическими данными рынка нашей республики [5, 6].

Основными показателями состояния рынка аудиторских услуг РФ и ПМР являются его объем (т. е. наличие объектов аудита, самих аудиторов), спрос и предложение аудиторских услуг, финансовые перспективы рынка, наличие законодательной базы для проведения аудиторской деятельности, качество аудиторских услуг. Таким образом, исходя из табл. 1 российский рынок можно охарактеризовать так: 6200 лиц (юридических и физических), оказав за 2011 год услуг на сумму 50,8 млрд руб., заработали каждый по 682 795 руб. (22 759

долл. США) в месяц, а ежемесячный доход 26 800 аудиторов составил 157 960 руб. (5265 долл. США). При этом было проаудировано 75 569 клиентов. В среднем на одного аудитора приходилось по 2,82 аудиторской проверки. Если каждый аудитор заработал за год 1 895 522 руб., то стоимость одной аудиторской проверки (нагрузка на аудитора по доходу) ориентировочно составила $1\ 895\ 522 : 2,82 = 672\ 171$ руб. (201 651 руб. ПМР). Такой доход позволяет аудитору обеспечивать свои экономические потребности [6, 7].

Одним из важных показателей, характеризующих рынок, является его правовое обеспечение. В России действует принятый 30 декабря 2008 года федеральный закон об аудиторской деятельности, а также применяются Правила (стандарты) аудиторской деятельности. Стандарты первой очереди были разработаны Министерством финансов и утверждены Правительством РФ

Таблица 1

Основные показатели рынка аудиторских услуг в РФ за 2009–2011 гг.

Показатель	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Физические и юридические лица, имеющие право на осуществление аудиторской деятельности – всего	6900	4300	6200
В том числе:			
аудиторские организации	6200	3700	5200
индивидуальные аудиторы	700	600	1000
Аудиторы – всего	8400	18300	26800
Доля аудиторов в общем количестве аудиторских организаций, %	47,9	47,4	47,2
Объем оказанных услуг, млрд руб.	49,6	49,1	50,8
Доля доходов от проведения аудита в общем доходе, %	–	47,1	44,9
Количество клиентов аудиторских организаций, деятельность которых проаудирована	92683	87096	75569
Удельный вес в общем количестве проведенных обязательных аудитов, %			
акционерных обществ	–	21,8	25,9
организаций, финансовые показатели которых выше минимальных значений		53,3	47,8
Выдано аудиторских заключений по обязательному аудиту по видам, %:			
с выраженным безоговорочно положительным мнением		58,6	66,2
с выражением мнения с оговоркой		40,2	32,7
с выражением отрицательного мнения		0,8	0,7
с выражением сомнения в возможности клиента продолжить деятельность и с указанием на значительную неопределенность в его деятельности		2,5	2,6

23 сентября 2002 года. На данный момент действуют 29 из 34 принятых правил (5, 6, 13, 14, 15-е утратили силу) и девять Федеральных стандартов аудита, основанных на официальном переводе Международных стандартов аудита. Кроме того, действуют

другие нормативные документы, регламентирующие деятельность на рынке аудиторских услуг. В ПМР стандарты аудита отсутствуют.

Показатели приднестровского рынка аудиторских услуг отражены в табл. 2, 3, 4 [6].

Таблица 2

Организации ПМР с государственной долей собственности в 2013 г.

Город	Организационная форма экономического субъекта						Всего
	ГУП	МУП	ОАО	ЗАО	АОЗТ	Прочие	
Тирасполь	35	26	8	6	1	7	83
Бендеры	8	29	2	3	–	8	50
Рыбница	3	32	–	–	–	7	42
Дубоссары	17	23	2	–	–	4	46
Слободзея	7	13	–	–	–	–	20
Григориополь	4	22	–	1	–	–	27
Каменка	2	7	–	–	–	1	10
Итого	76	152	12	10	1	27	278

Таблица 3

Основные налогоплательщики ПМР в 2013 г.

Город	Организационная форма экономического субъекта				Всего
	ОАО	ЗАО	ООО	Прочие	
Тирасполь	3	15	7	–	25
Бендеры	2	4	1	1	8
Рыбница	2	1	4	–	7
Дубоссары	–	1	1	–	2
Слободзея	–	–	7	–	7
Григориополь	1	–	–	–	1
Каменка	–	–	–	–	–
Итого	8	21	20	1	50

Таблица 4

Сопоставление рынков аудиторских услуг РФ и ПМР

Показатель состояния рынка аудиторских услуг	РФ	ПМР
Количество предприятий, прошедших и подлежащих аудиторской проверке	75 569	328
Количество аудиторских организаций – всего	6 200	2
В том числе индивидуальных аудиторов	1000	–
Количество аудиторов	26 800	2
Нагрузка на одного аудитора в год по количеству аудируемых предприятий	2,82	Данных нет
Доход одного аудитора в год, руб. РФ	1 895 522	Данных нет
долл. США	63 184	
Доход от одной аудиторской проверки, руб. РФ	672 171	Данных нет
долл. США	22 406	

Благодаря выполнению программ, направленных на поддержку малого и среднего бизнеса, в республике произошло развитие организаций разных форм собственности, в результате чего за 2004–2013 годы была создана основа для развития рынка аудиторских услуг. Согласно статистическим данным динамика изменения количества субъектов малого предпринимательства с образованием юридического лица за пять лет показала стабильный рост: с 3393 единиц в 2004 году до 4865 – в 2008-м. На 1 января 2014 года их общее количество составило 7318 единиц. Так, на торговлю и общественное питание приходится 48,3 % субъектов малого бизнеса, на промышленность – 12,3 %, строительство – 7,3 %, сельское хозяйство – 6,0 %, жилищно-коммунальное хозяйство – 0,6 %, на остальные отрасли – 25,5 %.

Общее количество субъектов хозяйственной деятельности в форме юридических лиц составляет 10 352 единицы. Многие из них в аудите не нуждаются, так как их учредители одновременно являются работниками этих фирм и могут отслеживать свой бизнес. Можно, конечно, предположить, что в силу различных обстоятельств на уровне статистической погрешности 1,58 % организаций, т. е. 164 единицы, воспользуются услугами аудиторов. Таким образом, база для рынка аудиторских услуг в ПМР потенциально составляет примерно 164 предприятия, включая имеющие государственную долю собственности [7].

Поскольку один аудитор в год проводит в среднем 2,82 (по данным РФ) проверки, то приднестровский рынок аудиторских услуг в перспективе может ориентировочно потребовать $164 : 2,82 = 58$ аттестованных аудиторов. К слову, в Республике Молдова на 45 300 предприятий приходится 124 аттестованных аудитора, в Украине на 364 900 компаний – 1514 аудиторов, в России на 4 771 904 организации – 26 800 аудиторов.

Таким образом, можно предположить, что перспектива развития рынка аудиторских услуг в ПМР имеется при условии формирования нормативно-правовой базы.

Учитывая, что в Российской Федерации основная масса (более 80 %) аудиторских проверок связана с законом, появляется необходимость внесения аналогичных норм в законодательство Приднестровья. Так, согласно статье 3, п. 1 закона «Об аудиторской деятельности в ПМР» аудиторская проверка может быть обязательной и инициативной [8, 9]. Первая проводится в случаях, прямо установленных актами законодательства ПМР, вторая – по решению экономического субъекта.

Обязательная аудиторская проверка может осуществляться по поручению государственных органов, установленных данным законом. Органы дознания и следствия, прокуратура, суд и Арбитражный суд вправе в соответствии с процессуальными нормами поручить аудитору или аудиторской фирме проведение проверки экономического субъекта при наличии в производстве указанных органов возбужденного и принятого к производству дела. В статье прописана процедура такой проверки. Кроме того, проведение аудиторской проверки регламентировано следующими законами ПМР:

– Закон «О банках и банковской деятельности в ПМР» (от 1 декабря 1993 года), статья 45 «Аудиторские проверки», определяет, что деятельность банков подлежит аудиторской проверке аудиторскими организациями, уполномоченными в соответствии с законодательством Приднестровской Молдавской Республики на осуществление таких проверок [10]. На практике банковский аудит проводят зарубежные аудиторы.

– Закон «Об акционерных обществах в ПМР» (редакция на 12 июня 2007 года), статья 87 «Аудитор общества», устанавливает, что аудиторская проверка осуществляется на основании заключенного договора,

аудитор утверждается общим собранием акционеров, а также прописывает основания проведения аудита, порядок оплаты [11].

– Закон «Об организации страхового дела», статья 11, определяет, что аудит деятельности страховой организации производится аудиторской фирмой (аудитором) в соответствии с действующим законодательством Приднестровской Молдавской Республики [12]. Согласно Приказу Министерства финансов ПМР № 163 от 16 ноября 2012 года «Об опубликовании страховыми организациями годовой финансовой отчетности» страховые организации обязаны публиковать годовую финансовую отчетность после предоставления в органы страхового надзора аудиторского подтверждения достоверности содержащихся в этих отчетах сведений не позднее июля года, следующего за отчетным. Однако в силу того что пункт приказа Минфина не подкреплен требованием соответствующей статьи закона, данная норма страховыми компаниями оспаривается и обжалуется в суде.

– Закон «Об обществах с ограниченной ответственностью» (редакция на 12 июня 2007 года), статья 48, отмечает, что аудиторская проверка проводится по решению общего собрания участников общества [13].

– Закон «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности» (редакция на 23 апреля 2009 года), статья 19, регламентирует, что если организация в соответствии с действующим законодательством ПМР подлежит обязательному аудиту, то финансовая отчетность публикуется вместе с итоговой частью аудиторского заключения [14].

Таким образом, в нормативных актах не содержится прямой ссылки на проведение обязательного аудита и условия, при которых он обязателен. Вместе с тем обязательный аудит является неотъемлемой частью рынка аудиторских услуг и служит основой для создания институтов аудита на начальной стадии развития.

Если рассматривать обязательный аудит в Российской Федерации, то в соответствии с законом от 30 декабря 2008 года «Об аудиторской деятельности» ежегодная обязательная аудиторская проверка ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности организации или индивидуального предпринимателя необходима, если:

1) предприятие имеет организационно-правовую форму открытого акционерного общества;

2) компания является кредитной организацией, бюро кредитных историй, страховой организацией (за исключением сельскохозяйственных кооперативов) или обществом взаимного страхования, товарной либо фондовой биржей, а также инвестиционным фондом, государственным внебюджетным фондом, источником образования средств которого выступают предусмотренные законодательством РФ обязательные и добровольные отчисления, производимые физическими и юридическими лицами;

3) объем выручки организации (за исключением сельскохозяйственных кооперативов и их союзов) или индивидуального предпринимателя от реализации продукции (выполнения работ, оказания услуг) за один год составляет более 50 млн руб. либо сумма активов баланса превышает на конец отчетного года 20 млн руб.;

4) в иных случаях, предусмотренных законом.

Отмечается, что обязательный аудит проводится ежегодно.

Как следует из указанных норм, бюджетные учреждения не подлежат обязательному аудиту по критерию организационно-правовой формы. Однако если сумма выручки бюджетного учреждения от предпринимательской деятельности за год превышает 50 млн руб. или активы баланса приносящей доход деятельности составляют более 20 млн руб., то оно подлежит обязательному аудиту [9].

Министерство финансов России составило подробный перечень организаций, годовая отчетность которых подлежит обязательному аудиту. В 2011 году оно подготовило информацию о проведении обязательного аудита бухгалтерской (финансовой) отчетности с указанием организаций, их организационно-правовой формы, вида деятельности и финансовых показателей. В документе перечислены нормативно-правовые акты, устанавливающие проведение обязательного аудита, виды финансовой отчетности, подлежащие аудиту, субъекты, обладающие правом проведения аудита. Дано также определение обязательного аудита, устанавливающее, что это ежегодная обязательная аудиторская проверка ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности организации или индивидуального предпринимателя, проводимая в соответствии с требованиями статьи 5 закона «Об аудиторской деятельности». Отмечено, что согласно законодательству РФ обязательный аудит проводится только аудиторскими организациями [5].

Обязательный аудит предусматривает подтверждение достоверности бухгалтерской отчетности фирмы, оценку качества организации внутреннего контроля, документооборота и бухгалтерского учета, комментарии и разъяснения в аудиторском заключении по вопросам, касающимся ведения бухгалтерского и налогового учета, составления отчетности и т. д.

В целях гармонизации законодательных баз Приднестровской Молдавской Республики и Российской Федерации, совершенствования нормативно-правового обеспечения аудиторской деятельности и развития рынка аудиторских услуг полагаем целесообразным дополнить закон «Об аудиторской деятельности в ПМР» нормами из аналогичного закона РФ. Это позволит сдвинуть рынок аудиторских услуг республики с мертвой точки, активи-

зировать и стимулировать количественный и качественный рост аудиторов и аудиторских организаций.

1. Необходимо внести в наш закон статью 5 закона РФ, регламентирующую обязательный аудит и критерии, определяющие, какие организации подлежат этой процедуре.

2. В связи с тем что бухгалтерский учет в Приднестровье переведен на Международные стандарты финансовой отчетности (МСФО), для организации работы аудиторов необходимо ввести в действие Международные стандарты аудита, которые в настоящее время приняты и действуют в России. Эта процедура предполагает внесение статьи 7 закона РФ, регламентирующей применение стандартов аудита и отражающей кодекс профессиональной этики аудитора.

3. Следует дополнить закон ПМР статьей 10 закона РФ, отражающей вопросы оценки качества работы аудиторских организаций и аудиторов.

4. Для формирования институтов, способствующих развитию рынка аудиторских услуг в республике, необходимо создание условий для образования общественной некоммерческой организации аудиторов, объединяющей профессиональных аудиторов (саморегулируемые организации аудиторов), для чего надо дополнить закон ПМР статьями 17, 18, 21, 22 закона РФ.

5. Одним из важнейших элементов организации работы аудиторов является профессиональная ответственность за результаты деятельности. Закон ПМР необходимо дополнить статьей 20 закона РФ, предусматривающей меры дисциплинарного воздействия в отношении аудиторских организаций и аудиторов.

6. Аудитор в процессе проверки организации знакомится с документами, составляющими коммерческую тайну, и иными документами ограниченного доступа, поэтому следует дополнить закон ПМР статьей 9 закона РФ об аудиторской тайне.

В данном материале определены первичные шаги, необходимые для создания и активизации приднестровского рынка аудиторских услуг. Принятие дополнений в закон «Об аудиторской деятельности в ПМР» будет способствовать развитию не только указанных процессов, но и сопутствующих этому рынку институтов.

Цитированная литература

1. Гутцвайт Е.М. Анализ рынка аудиторских услуг в России // Аудит. – 2012. – № 2.
2. Подольский В.И., Савин А.А. Аудит: Учебник. – М.: Юрайт, 2011. – 605 с.
3. Шеремет А.Д., Суйц В.П. Аудит: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005 – 448 с.
4. Булыга Р.П. Аудит: Учебник. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2011. – 431 с.
5. Основные показатели рынка аудиторских услуг в Российской Федерации // Официальный сайт Министерства финансов Российской Федерации. – Доступ.: minfin.ru.
6. Сборник показателей финансовой прозрачности Приднестровской Молдавской Рес-

публики – 2013 // Министерство финансов ПМР, Министерство экономического развития ПМР. – Тирасполь, 2014.

7. Статистический ежегодник ПМР – 2013 // Министерство экономического развития ПМР. – Доступ.: mtpmr.org/pechatnye izdaniya.

8. Закон ПМР «Об аудиторской деятельности в Приднестровской Молдавской Республике» от 28 ноября 1995 г. с изменениями.

9. Федеральный закон «Об аудиторской деятельности» от 30 декабря 2008 г.

10. Закон ПМР «О банках и банковской деятельности в Приднестровской Молдавской Республике» от 1 декабря 1993 года.

11. Закон ПМР «Об акционерных обществах в Приднестровской Молдавской Республике» от 10 января 2004 г. (редакция на 12 июня 2007 г.).

12. Закон ПМР «Об организации страхового дела» от 21 января 2008 г.

13. Закон ПМР «Об обществах с ограниченной ответственностью» от 10 июля 2002 г. (редакция на 12 июня 2007 г.).

14. Закон ПМР «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности» от 17 августа 2009 г. (редакция на 23 марта 2009 г.).

УДК 330.34.2

М.И. Трач, канд. экон. наук, проф.

Л.Д. Мельничук, канд. социол. наук, доц.

Д.М. Трач, канд. экон. наук, доц.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НОВЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Рассматриваются проблемы социально-экономического развития нового независимого государственного образования в условиях неопределенностей внешней среды; повышение эффективности использования экономического потенциала; роль государства в регулировании отношений форм собственности.

На протяжении четверти века наша молодая республика наперекор недобро-

желателям продолжает жить и утверждаться. Истории известно немало приме-

ров борьбы за свою государственность, работы в условиях непризнанности, политической и экономической блокады. И всегда эта борьба завершалась победой. Уверены, что новое государственное образование – Приднестровскую Молдавскую Республику ждет признание. Однако пока она пребывает в состоянии непризнанности, необходимо ежедневным упорным трудом развивать ее экономику.

Разумеется, в условиях непризнанности сложно рассчитывать на успешное экономическое развитие, тем более что экономика, как живой организм, питается внешней средой. Речь идет и о ресурсном обеспечении, и о сбыте готовой продукции, которые для ПМР крайне ограничены. Несмотря на довольно выгодное географическое расположение, развитую инфраструктуру, благоприятные природно-климатические условия, республика все же испытывает серьезные затруднения в плане доставшейся в наследство отраслевой структуры экономики, которая была полностью интегрирована в единый народно-хозяйственный механизм СССР.

В советский период на территории нынешней ПМР были созданы такие крупные (по нашим меркам) предприятия, как Рыбницкий цементный комбинат (РЦК), хлопчатобумажный комбинат (ХБК), Молдавский металлургический завод (ММЗ), Рыбницкая трикотажная бельевая фабрика. Все они, кроме РЦК, не были обеспечены местной сырьевой и материальной базой. Их размещение на территории Приднестровья обусловлено необходимостью предоставления рабочих мест экономически активной категории граждан, развития национальных окраин. И это сыграло положительную роль. В регионе с высокой плотностью населения проблемы безработицы не существовало. Более того, наблюдалась положительная динамика в демографии. В экономическом плане наш регион был одним из высокоразвитых.

Однако распад единого хозяйственного механизма в рамках СССР привел к разрыву прямых хозяйственных связей, а для ПМР это означало потерю ресурсных рынков. Как следствие, ситуация коренным образом изменилась. Учитывая непризнанность республики, обеспечение развития ее экономики оказалось серьезной проблемой.

В резко меняющихся условиях существования отдельно взятого индивида, организации или государственного образования первоначальной задачей является сохранение ресурсного потенциала как основы последующего развития. Для этого необходим пересмотр приоритетов дальнейшего развития, которые должны отвечать следующим требованиям:

- наличие собственных ресурсов: сырьевых, материальных, человеческих;
- возможность наращивания экспортного потенциала;
- обеспечение внутреннего спроса;
- обеспечение положительного внешнеторгового баланса.

Соблюдение этих требований и соответствующее качество менеджмента должны обеспечить социально-экономическое развитие государства, что положительно скажется на материальном уровне жизни населения, на демографической ситуации, на формировании имиджа республики.

Вместе с тем смена экономических систем является сложнейшим процессом. Она требует не только правового, нормативного сопровождения, но прежде всего осознания обществом необходимости этих изменений, его готовностью к новым условиям жизни. Если нормативное и правовое обеспечение социально-экономических преобразований возможно провести в сжатые сроки, тем более что это делается, как правило, путем использования опыта других государств с привязкой к региональным условиям, то формирование менталитета граждан представляет собой

длительный процесс, требующий определенного участия в нем государственных институтов.

На протяжении всего периода преобразования главную роль играет государство, и от того, насколько хорошо оно с ней справится, будет зависеть результативность переходного периода. Государство обязано на первом этапе контролировать использование имеющегося экономического потенциала, прежде всего природных ресурсов и бюджетобразующих предприятий, создавать привлекательные условия для развития предпринимательства.

При этом нельзя идеализировать роль рынка и, наоборот, недооценивать роль государства в рыночной экономике, особенно в странах, отказавшихся от централизованного государственного управления экономикой. Опыт работы в новых условиях свидетельствует, что значительная часть проблем вызвана именно недостаточно активным участием государства во многих направлениях хозяйственной деятельности. На наш взгляд, это в первую очередь касается регулирования отношений форм собственности, защиты интересов внутренних товаропроизводителей, государственной поддержки хозяйствующих субъектов в их внешнеэкономической деятельности.

Особо щепетильно следует подходить к привлечению внешних инвестиций. Инвестиции не даются в виде кредитов, а предоставляются в обмен на собственность. И здесь очень важно выяснить, кто является собственником; насколько его интересы совпадают с интересами государства; он – временщик, пришедший достичь только своей экономической цели, или он заинтересован в социально-экономическом развитии региона. Поэтому привлечение инвестиций требует соответствующего уровня профессионального взаимодействия бизнеса и государ-

ственных структур, в процессе которого формируется миссия его участников в социально-экономическом развитии государства.

Прошедшие годы новых экономических условий выявили значительные сложности в консолидации усилий государственных институтов и бизнес-сообщества по эффективному взаимодействию в переходный период. Особенности трудности испытывают новые независимые государственные образования, которые, в частности ПМР, к тому же являются непризнанными в качестве субъекта международного права.

С переходом к рыночной экономике на первом этапе разгосударствления и приватизации государственной собственности, казалось бы, были предприняты правильные шаги. Государственная собственность была распределена между трудовыми коллективами и государством. Однако неготовность (по объективным и субъективным причинам) ни первых, ни вторых обеспечить развитие экономики привело к тому, что государство и трудовые коллективы впоследствии выставили свои объекты на продажу.

Необходимо признать, что некоторые новые собственники, в частности ММЗ и РЦК, смогли обеспечить положительную динамику экономики не только приватизированных предприятий, но и региона в целом. Однако многие хозяйственные субъекты оказались банкротами или близкими к этому, например трикатажно-бельевая фабрика, насосный завод, Рыбницкий молочный комбинат, Каменский консервный завод и др. К тому же, к великому сожалению, продолжает отсутствовать четкая государственная политика в области восстановления и развития агропромышленного комплекса (АПК), который должен стать основным локомотивом повышения уровня экономики республики. Кроме того, государство до сих пор проявляет нерешитель-

тельность в отношении контроля работы приватизированных предприятий.

Совокупность указанных факторов привела к тому, что социально-экономическая ситуация в Приднестровье стала значительно ухудшаться.

Если собственник теряет экономический интерес к приватизированному предприятию, неэффективно управляет им или, хуже того, ведет теневой бизнес, то в этих случаях государство обязано незамедлительно принимать соответствующие меры. Мы сознательно не используем выражение «вмешиваться»(!). Государственная власть не вмешивается, а отслеживает и регулирует экономическую ситуацию. Это является одной из важнейших ее задач.

Необходимо отметить, что в последние годы правительство активизировало работу по мониторингу эффективности использования приватизированных предприятий. Так, в связи с невыполнением условий приватизации в 2012 году в государственную собственность вернулись Каменский консервный завод и Бендерский комбинат хлебопродуктов. За прошедший после смены собственников период оба предприятия существенно улучшили свои показатели и стали лидерами в соответствующих отраслях.

Государственным структурам следует более решительно и, что исключительно важно, более эффективно использовать принадлежащую им регулирующую функцию, а именно принимать превентивные меры по стабилизации экономической ситуации. При этом не нужно опасаться, что государственную власть будут обвинять в нарушении принципов рыночной экономики. Государственная власть в рыночной экономике, также как и хозяйствующие субъекты, является партнером, но партнером, имеющим значительные преимущества перед другими и несущим огромную ответственность за общее положение в

стране (экономическое, социальное, политическое).

Период конца XX – начала XXI века очень убедительно доказывает несостоятельность теории рынков. Это диктует необходимость пересмотра целого ряда правовых актов, обеспечивающих функционирование экономик как на уровне государств, так и на уровне межгосударственных торгово-экономических отношений (Всемирная торговая организация (ВТО), интеграционные образования).

Следует решительнее действовать с проблемными собственниками, т. е. проводить постоянный мониторинг их экономического состояния и при необходимости применять экономические рычаги воздействия, прежде всего стимулирующего характера, или с целью недопущения банкротства расторгать договор приватизации. Это нормальные, законные меры, направленные на регулирование экономического развития.

На данном этапе Приднестровью необходимы серьезные экономические преобразования. При нынешней отраслевой структуре затруднения будут только нарастать. Ярким примером здесь служит один из ведущих доноров государственного бюджета – Молдавский металлургический завод. Для него сейчас наступил крайне важный момент – смена собственника. На государство ложится исключительная ответственность. В наших условиях, когда республика сталкивается с огромными проблемами в осуществлении внешнеэкономической деятельности, речь должна идти о таком собственнике, который будет в состоянии решать две главные задачи: обеспечение производства сырьем и выход на рынки металлов.

На нынешнем, крайне сложном этапе экономического развития правительству необходимо провести тщательный анализ внешних факторов и внутренних возможностей с целью выработки кон-

кретных мер по проведению структурной перестройки экономики. Полагаем, что утвержденная правительством антикризисная программа придаст положительную динамику социально-экономическому развитию республики.

Рассмотрев факторы, оказывающие влияние на формирование и развитие отраслевой структуры экономики ПМР, считаем необходимым проведение преобразований, которые будут способствовать улучшению социально-экономической ситуации. Следует принять ряд краткосрочных и долгосрочных мер по восстановлению и развитию традиционных для региона отраслей, таких как сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность, виноделие, промышленность строительных материалов, легкая промышленность. Также весьма перспективной может быть туристическая сфера. Целесообразность развития данных отраслей обосновывается наличием соответствующих ресурсов: плодородных земель, неиспользуемых резервов перерабатывающих предприятий, квалифицированных трудовых кадров, возможности восстановления оросительной системы.

Кроме того, потребуется наработать законодательную и нормативную базу для упорядочения экономических отношений в новых условиях и повышения инвестиционной привлекательности региона.

В связи с подписанием Молдовой и Украиной Соглашения об ассоциации и экономической интеграции с Евросоюзом внешнеэкономическая деятельность Приднестровья резко замедлила темп.

На протяжении всего периода существования ПМР ее единственным надежным партнером была и остается Россия. Отсюда следует вывод, что развитие экономики республики, ее существование в целом невозможно без России и других стран, имеющих влияние на Украину и Молдову. Таким образом, видится един-

ственный путь – продолжение гармонизации законодательства РФ и ПМР во всех областях, создание зоны свободной торговли, установление тесных экономических отношений между отдельными регионами России и Приднестровьем. Все это будет способствовать интеграции нашей экономики в экономику Российской Федерации, которая, выстраивая свою внешнеэкономическую деятельность с другими партнерами (ПМР, прежде всего, интересуется Украина и Молдова), позаботится и о решении проблем Приднестровья.

Повышение заинтересованности России в такой работе может быть достигнуто путем создания совместных предприятий, учредителями которых будут экономические агенты России и ПМР. Особенно актуальным данный аспект является для агропромышленного сектора. Уже на протяжении нескольких лет Россия субсидирует восстановление и развитие АПК республики. Однако распыление средств по мелким товаропроизводителям малоэффективно. Для ускоренного восстановления и развития данной отрасли важно экономическими методами управления (субсидиями, льготным кредитованием и налогообложением) стимулировать образование хозяйственных обществ, которые соединят всю технологическую цепочку – от выращивания сельскохозяйственного сырья до его полной переработки. Это могут быть крестьянские (фермерские) хозяйства (такие в республике уже есть) или своего рода объединения, участники которых будут специализироваться по соответствующим технологическим цепочкам (подготовка семенного фонда, выращивание, техническое обслуживание, агрозащита, переработка, хранение, сбыт). Например, в США такие объединения созданы в виде кооперативов (один из авторов настоящей статьи посещал их). На наш взгляд, это может стать решением проблемы, так как позволит в разы уве-

личить количество рабочих мест, объемы промышленного производства, а следовательно, значительно улучшит социальную и экономическую ситуацию в республике.

Сейчас важно воспользоваться возможностью подключения республики к разрабатываемой в Российской Федерации программе по импортозамещению. Заниматься этим обязаны Министерство экономического развития и Министерство сельского хозяйства, экологии и природных ресурсов. Данная работа должна проводиться в конкретных регионах, с задействованием оптовой торговли и с установлением долгосрочных взаимовыгодных хозяйственных связей.

Нынешнее состояние агропромышленного комплекса ПМР остро нуждается в инновационном развитии таких областей, как семеноводство, селекционная работа, животноводство, птицеводство, глубокая переработка сельскохозяйственного сырья, хранение и переработка овощей и фруктов. Данный процесс потребует совместных усилий приднестровских и российских ученых и практиков по разработке и внедрению управленческих и технологических инноваций. При этом выгода от инновационных преобразований будет обоюдной: Приднестровье обеспечит развитие своей ведущей отрасли экономики, а Россия пополнит продовольственный рынок высококачественными продуктами питания.

Для перехода на всеобъемлющее экономическое и торговое сотрудничество необходимо привести законодательство ПМР в полное соответствие с законодательными нормами России в области внешнеторгового регулирования, инвестиционного законодательства, антимонопольного регулирования. Более того, возможно, потребуются перевести экономику республики на российскую валюту, а также привлечь

российские финансовые структуры к содействию в приднестровских преобразованиях. Учитывая, что уже начата деятельность по гармонизации законодательства, трансформация системы хозяйства будет проведена постепенно и его радикальной ломки не понадобится. Положительные наработки имеют место в сфере образования, здравоохранения, в отдельных гуманитарных проектах.

Взаимодействие в едином правовом поле с Россией практически будет означать членство ПМР в Таможенном союзе, в единой зоне свободной торговли. Предлагаемое стратегическое развитие республики позволит придать ее экономике инновационный характер, а следовательно, регион будет более привлекательным для инвесторов. Только таким образом возможно избежать международной изоляции.

В обеспечении социально-экономического развития в условиях неопределенности внешней среды особая роль принадлежит кадровому потенциалу. За годы существования республики сделано многое для сохранения и развития всех ступеней системы образования. Успешно функционирует система профессионального образования, которая интегрирована в российское образовательное пространство. Вместе с тем ее модернизация, проводимая в настоящее время, требует активизации участия объединений работодателей, гармонизации взаимоотношений в профессиональном образовательном процессе государства, профессиональных образовательных структур и работодателей. Для этого необходимо разработать концепцию государственной кадровой политики и соответственно образования государственной службы в составе правительства по организации и координации кадровой политики.

УДК 339.5(478.9)

В.В. Лабунский, канд. с.-х. наук, доц.

ХАРАКТЕР И ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИДНЕСТРОВСКОЙ МОЛДАВСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Раскрыта сущность и особенности внешнеэкономической деятельности субъектов ПМР. Показан внешнеторговый оборот, динамика экспорта и импорта, внешнеторговое сальдо за последние 20 лет.

Внешнеэкономическая деятельность представляет собой производственно-коммерческую деятельность экономических субъектов, ориентированную на экспорт продукции, услуг, а также связанную с импортом средств производства, технологий, товаров массового спроса и т. д. Внешнеэкономическая деятельность во всех странах выполняет следующие функции:

- способствует выравниванию экономического развития;
- осуществляет соизмерение национальных и мировых издержек производства;
- реализует преимущества международного разделения труда и, таким образом, способствует повышению эффективности национальной экономики [1].

Внешнеэкономическая деятельность оказывает положительное влияние на развитие экономики в целом в связи с тем, что:

- 1) позволяет получить валютную выручку от экспорта и финансовые поступления от нее (таможенные сборы, НДС, акцизы, неналоговые поступления);
- 2) повышает технологический уровень производства за счет импорта современной техники и технологий;
- 3) способствует развитию экономики благодаря долгосрочному сотрудничеству и стабильным связям между иностранными партнерами в деятельности по производству конкурентоспособной продукции и выходу с ней на мировой рынок [2].

Такая совместная деятельность осуществляется по ряду направлений: закупка комплектного технологического оборудования, консультационные услуги по налаживанию его работы, обучение персонала; закупка патентов и лицензий на новые технологии; привлечение иностранных инвестиций в те отрасли и предприятия, где необходима техническая и технологическая модернизация.

Основными видами внешнеэкономической деятельности выступают:

- внешняя торговля;
- международное производственное сотрудничество;
- международное научно-техническое сотрудничество;
- международное инвестиционное сотрудничество;
- валютно-финансовые операции [3].

Каждый вид внешнеэкономической деятельности осуществляется в различных формах, т. е. через определенные способы связей с иностранными партнерами. Так, формами внешней торговли товарами являются экспорт, импорт, реэкспорт, реимпорт, приграничная торговля. В целом внешняя торговля опосредует практически все формы внешнеэкономической деятельности.

Формами производственного сотрудничества могут быть совместное производство на основе специализации, франчайзинг, переработка давальческого сырья, подрядная кооперация, совместное пред-

приятие двух и более иностранных партнеров [4].

Научно-техническое сотрудничество проявляется в форме технологического обмена, под которым понимается взаимопроникновение научно-технических знаний и производственного опыта как результат совместных исследований на заказных началах, осуществляемых различными странами. Эффективной формой научно-технического сотрудничества представляется передача технологий на основе лицензионных соглашений.

Инвестиционное сотрудничество реализуется в формах кредитных соглашений, предприятий с иностранными инвестициями, международного финансового лизинга.

Валютно-финансовые операции представляют собой международные платежи, международную торговлю валютой, кредитование внешней торговли и т. д.

Практика показывает, что предприятие, осуществляющее внешнеэкономическую деятельность в одной форме, например путем экспорта какого-либо товара, со временем включается и в другие формы, к примеру оно приобретает лицензию на производство нового товара, затем создает совместное предприятие и т. д.

Расширение форм внешнеэкономической деятельности приводит к росту внешнеторгового оборота. Важным аспектом внешнеэкономической деятельности является наличие соответствующей инфраструктуры:

- информационно-консультативных структур;
- кредитно-банковских организаций;
- страховых фирм;
- организованных товарных рынков;
- оптово-посреднических фирм;
- транспортно-экспедиторских служб.

В государствах с рыночной экономикой инфраструктура внешнеэкономической деятельности получила активное раз-

витие. В ряде западных стран существуют институты экспорта, являющиеся некоммерческими организациями, которые оказывают широкий спектр услуг по ряду направлений: информация, маркетинг, выставки, бизнес-сопровождение за рубежом и т. д. В частности, направление «информация» предполагает предоставление сведений:

- об экспортерах, импортерах, оптовиках и дистрибьюторах в различных странах мира;
- выставках и ярмарках, организуемых в разных сферах бизнеса;
- торговых и таможенных правилах различных государств;
- статистических данных, касающихся экономической деятельности в различных отраслях, по различным товарам и странам [5].

Кроме того, в индустриально развитых государствах при министерствах, регулирующих внешнеэкономические связи, имеются фонды для расширения экспорта, которые поддерживают как выходящих на новые рынки участников, так и расширяющих свое присутствие на традиционных для них рынках. Эта поддержка осуществляется по двум направлениям: участие в риске при продвижении товаров и услуг на внешних рынках и разработка эффективных стратегий маркетинга.

Основными формами внешнеэкономической деятельности в ПМР являются экспорт и импорт товаров и услуг. Анализ агрегированных данных по пятилетним периодам показывает, что внешнеторговый оборот за 2010–2014 гг. в среднем составил 2280,7 млн долл. США и, таким образом, вырос по сравнению с 1995–1999 гг. в 2,9 раза, в том числе со странами ближнего зарубежья в 3,2 и со странами дальнего зарубежья в 2,3 раза (табл. 1).

Положительная динамика внешнеторгового оборота была обусловлена притоком экспорта и импорта. При этом

Таблица 1

Внешнеторговые показатели ПМР, млн долл. США*

Форма внешнеэкономической деятельности	1995–1999 гг.	2000–2004 гг.	2005–2009 гг.	2010–2014 гг.
Внешнеторговый оборот – всего	785,8	950,8	1743,2	2280,7
В том числе:				
со странами ближнего зарубежья	503,1	523,3	1097,1	1634,5
со странами дальнего зарубежья и Балтии	282,7	427,5	646,1	646,2
Экспорт – всего	379,1	383,3	647,0	655,2
В том числе:				
в страны ближнего зарубежья	244,0	168,3	361,7	419,0
в страны дальнего зарубежья и Балтии	135,1	215,0	285,3	236,3
Импорт – всего	406,6	567,6	1096,0	1625,5
В том числе:				
из стран ближнего зарубежья	259,1	355,1	735,5	1215,6
из стран дальнего зарубежья и Балтии	147,5	212,5	360,5	409,9
Сальдо торгового баланса – всего	-27,5	-184,3	-449,0	-970,3
В том числе:				
по странам ближнего зарубежья	-15,1	-186,8	-373,8	-796,6
по странам дальнего зарубежья и Балтии	-12,4	+2,5	-75,2	-173,6
Отношение экспорта к импорту, %	93,0	67,5	59,0	40,3
В том числе:				
со странами ближнего зарубежья	94,2	47,4	49,2	34,5
со странами дальнего зарубежья и Балтии	91,6	101,2	79,1	57,6

* По данным Государственной службы статистики (ГСС), Министерства экономики (МЭ), Государственного таможенного комитета (ГТК) и НИЛ экономического факультета ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

основное влияние на увеличение внешне-торгового оборота оказывали импортные поставки, объем которых в 2010–2014 гг. достиг 1625,5 млн долл. и составил 71,3 % от общего товарного оборота. Рост объемов импорта за указанный период по сравнению с 1995–1999 гг. увеличился на 1218,9 млн долл. Самый высокий прирост объемов импорта был зафиксирован в последнее пятилетие: на 529,5 млн долл. выше по сравнению с 2005–2009 гг. Импортные поставки осуществлялись в основном из стран ближнего зарубежья и составили в 2010–2014 гг. 1215,6 млн долл.

Экспортные поставки в рассматриваемые периоды также имели положительную

динамику. В частности, в 2010–2014 гг. их объем достиг 655,2 млн долл., т. е. по сравнению с 1995–1999 гг. увеличился в 1,7 раза. При этом 63,9 % от общего объема экспорта (419,0 млн долл.) отправлялось в страны ближнего зарубежья.

В целом можно отметить, что в 2010–2014 гг. по сравнению с 1995–1999 гг. темпы роста внешнеторгового оборота составили 2,9 раза, импорта – 4 раза, экспорта – 1,7 раза.

Темпы прироста как отношение показателей текущего периода (2010–2014 гг.) с вычетом показателей предыдущего периода (2005–2009 гг.) к базисному периоду (2000–2004 гг.) с вычетом показателей 1995–1999 гг. составляли:

- внешнеторгового оборота – 3,3 раза;
- импорта – 3,3 раза;
- экспорта – 2,0 раза.

В результате превышения темпов роста и темпов прироста импорта над аналогичными показателями экспорта в 2,3 и 1,3 раза соответственно внешнеторговое сальдо за 2010–2014 гг. составило –970,0 млн долл., что в 1,5 раза превысило экспорт, т. е. степень покрытия импорта экспортом снизилась до 40,3 %. При этом импорт на душу населения составил 3251 долл., а экспорт – 1310 долл. Сложившееся отрицательное внешнеторговое сальдо свидетельствует о нерациональном использовании имеющихся сравнительных конкурентных преимуществ ПМР.

В товарной структуре экспорта в 2010–2014 гг. лидирующую позицию за-

нимали металлы и изделия из них, средний объем поставок которых составил 188,8 млн долл., т. е. 28,8 % от общего объема экспорта (табл. 2). Вместе с тем объем экспортных поставок металла и изделий из них за указанный период снизился на 194,8 млн долл. по сравнению с 2005–2009 гг., т. е. почти в 2 раза. Существенную долю в товарной номенклатуре экспорта стали занимать топливно-энергетические товары, объем которых составил 172,4 млн долл., т. е. увеличился по сравнению с предыдущим периодом на 122,8 млн долл.

Кроме того, можно отметить тенденцию расширения экспортных поставок за период 2010–2014 гг. по сравнению с 2005–2009 гг. по отрасли легкой промышленности (текстильные материалы, одежда, текстильные изделия и обувь) на

Таблица 2

Товарная структура экспорта и импорта ПМР, млн долл. США*

Товарная номенклатура	2000–2004 гг.			2005–2009 гг.			2010–2014 гг.		
	Экс-порт	Им-порт	Саль-до	Экс-порт	Им-порт	Саль-до	Экс-порт	Им-порт	Саль-до
Продовольственные товары и сырье	25,8	120,7	–94,9	23,6	185,8	–162,2	74,5	185,5	–111,0
Минеральные продукты	40,7	156,1	–115,4	41,6	45,5	–3,9	31,8	39,7	–7,9
Топливо-энергетические товары	–	–	–	49,6	286,9	–237,3	172,4	722,1	–549,7
Продукты органической и неорганической химии	2,2	32,1	–29,9	3,4	73,5	–70,1	1,5	47,0	–45,5
Кожевенное сырье, пушнина и изделия	0,1	5,1	–5,0	0,1	9,1	–9,0	0,3	14,0	–13,7
Древесина и целлюлозно-бумажные изделия	9,5	11,9	–2,4	0,2	14,8	–14,6	1,0	21,6	–20,6
Текстильные материалы, изделия и одежда из них	49,0	43,3	+5,7	82,0	57,7	+24,3	97,9	76,4	+21,5
Обувь	13,8	3,6	+10,2	26,2	4,3	+21,9	42,8	5,5	+37,3
Изделия из камня, цемента, асбеста и керамики	1,0	12,5	–11,5	1,4	13,8	–12,4	1,5	13,3	–11,8
Металлы и изделия из них	205,4	121,2	+84,2	383,6	257,4	+126,2	188,8	170,3	+18,5
Машиностроительная продукция	32,8	51,7	–18,9	31,7	128,1	–96,4	31,2	183,4	–152,2
Прочие товары	3,1	9,4	–6,3	3,4	19,1	–15,7	11,7	146,7	–135,0
Всего	383,3	567,6	–184,3	646,8	1096,0	–449,2	655,2	1625,5	–970,1

* По данным ГСС, МЭ, ГТК и НИЛ экономического факультета ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

32,1 млн долл. и по продовольственным товарам и сырью на 50,9 млн долл. Их рост составил соответственно 1,3 и 3,2 раза.

В товарной структуре импортных поставок высокая доля приходилась на топливно-энергетические товары – 44,4 %, или 722,1 млн долл., продовольственные товары и сырье – 11,4 %, или 185,5 млн долл., машиностроительную продукцию – 11,3 %, или 183,4 млн долл., металлы и изделия из них – 10,5 %, или 170,3 млн долл.

К положительным аспектам роста импорта можно отнести увеличение поставок машиностроительной продукции на 150,6 млн долл. по сравнению с 2000–2004 гг. Это свидетельствует о процессе модернизации производства и инвестирования в отрасли национальной экономики.

Анализ товарной номенклатуры экспорта и импорта показал, что определяющим в формировании дефицита торгового баланса было отрицательное сальдо по таким позициям, как топливно-энергетические товары (–549,7 млн долл.), машиностроительная продукция (–152,2 млн долл.), продовольственные товары и сырье (–111,0 млн долл.) и прочие товары (–135,0 млн долл.). В то же время нивелирующий эффект на отрицательное сальдо торгового баланса оказало наращивание профицита по товарам легкой промышленности (+58,8 млн долл.) и металлам и изделиям из них (+18,5 млн долл.).

Более сбалансированным в 2010–2014 гг. внешнеторговый оборот был со странами дальнего зарубежья, где дефицит за последние годы составлял –173,4 млн долл., тогда как со странами ближнего зарубежья он достигал –796,6 млн долл., или 82 %. Резкое наращивание дефицита торгового баланса произошло за последние 10 лет: в 2005–2009 гг. он составил –449 млн долл., в 2010–2014 гг. дефицит был равен –970 млн долл., что обусловле-

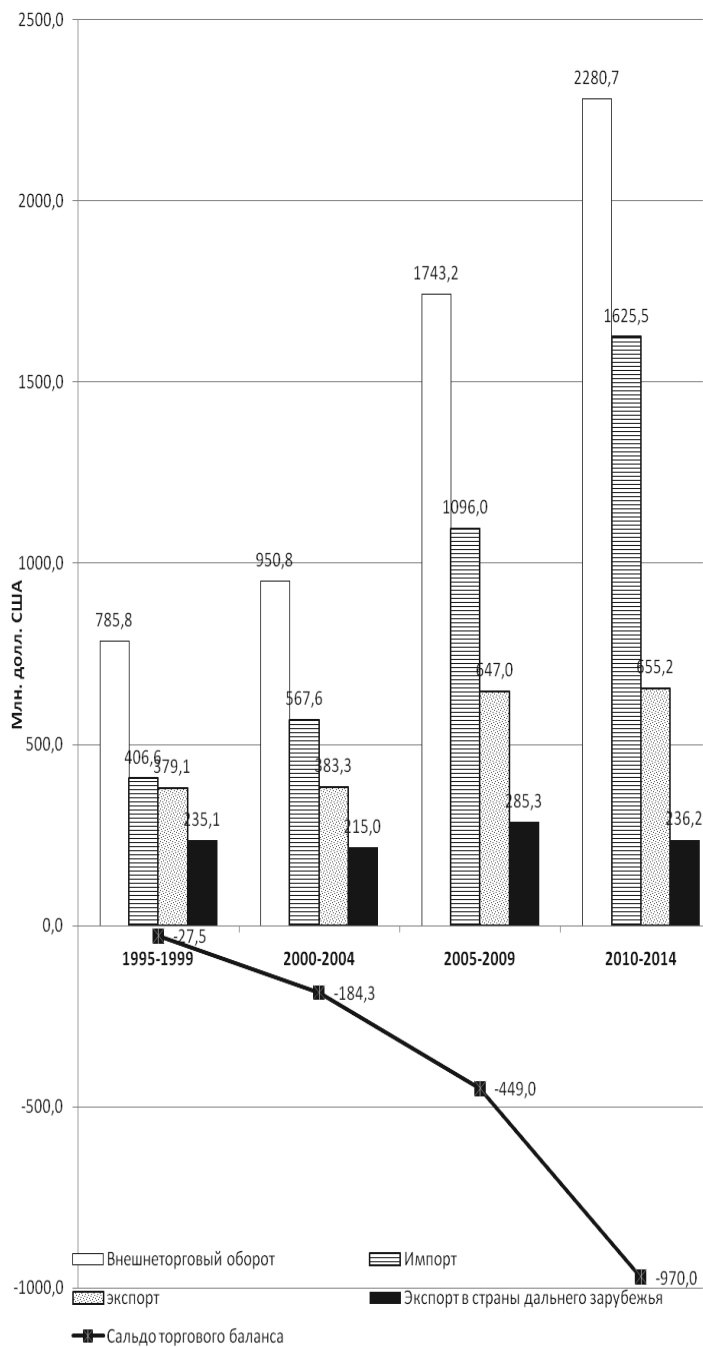
но более высокими темпами прироста импорта по сравнению с аналогичными показателями экспорта. Традиционно самой востребованной являлась топливно-энергетическая продукция из стран ближнего зарубежья, объем которой в 2010–2014 гг. составил 722,1 млн долл., или 44,4 % от общего объема импорта.

Таким образом, характер внешнеторгового оборота ПМР определялся динамикой экспорта и импорта и имел повышательные тенденции при опережающих темпах роста импорта (см. рисунок). Приднестровская Молдавская Республика экспортирует в основном товары энергоемкие и трудоемкие, что характерно для стран с развивающейся экономикой.

К особенностям внешнеторговой деятельности внешнеэкономического комплекса ПМР можно отнести и некоторую диверсификацию экспорта, т. е. уменьшение объемов экспорта металлов и изделий из них и увеличение поставок топливно-энергетических товаров, текстильных материалов и изделий из них, продовольственных товаров и сырья.

Безусловно, на динамику, характер и особенности внешнеэкономической деятельности ПМР значительное влияние оказывали изменяющаяся конъюнктура на мировом рынке, высокий уровень открытости экономики (экспортная квота составляла около 60 %), зависимость от внешних ресурсов в совокупности с международной непризнанностью, что весьма осложняло осуществление экспортно-импортных процессов.

Таким образом, внешнеэкономическая политика Приднестровья должна быть ориентирована на создание благоприятных условий для развития внешнеэкономического комплекса, базирующегося на использовании сравнительных конкурентных преимуществ республики, и осуществляться по принципу «семь раз отмерь, один раз отрежь».



Динамика внешнеторговой деятельности ПМП

Цитированная литература

1. Дегтярева О.И., Полякова Т.Н., Саркисов С.В. Внешнеэкономическая деятельность. – М.: Дело, 2008.
2. Покровская В.В. Организация и регулирование внешнеэкономической деятельности. – М.: Юрист, 2006.

3. Ростовский Ю.М., Гречков В.Ю. Внешнеэкономическая деятельность. – М.: Магистр, 2010.
4. Рубинская Э.Т. Управление внешнеэкономической деятельностью предприятия. – М.: ПРИОР, 2001.
5. Стровинский Л.Е. Внешнеэкономическая деятельность. – М.: ЮНИТИ, 2010.

УДК 316.347(478.9)

А.В. Кривенко, канд. геогр. наук, доц.
В.Г. Фоменко, канд. геогр. наук, доц.
М.П. Бурла, канд. геогр. наук, доц.

**ЭТНИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАСЕЛЕНИЯ ПМР:
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ**

Представлены результаты многолетней работы сотрудников НИЛ «Региональные исследования» по изучению этнической структуры населения Приднестровья и факторов, определяющих ее изменения. Рассмотрены ретроспективный, современный и перспективный тренды этнического состава населения республики. Уделено внимание фундаментальным положениям государственной национальной политики в ПМР.

ПМР – полиэтничное государство, в котором проживают представители десятков национальностей, включая три основные – молдавскую, русскую и украинскую. В таких условиях важнейшей задачей государства и гражданского общества является сохранение межэтнического согласия, которое невозможно без изучения историко-культурного наследия народов, населяющих республику [1].

Необходимость совместного проживания представителей разных этносов, невозможность превращения приднестровского общества в мононациональное определяют значимость изучения разнообразных аспектов положения народов, в том числе истории их возникновения, особенностей естественного движения, причин эмиграции и реэмиграции. Несмотря

на сохраняющийся баланс межнациональных отношений, эта сфера потенциально опасна проявлениями нетерпимости, эмоциональными и малообъективными оценками происходящих событий в общественной жизни, политическими спекуляциями на национальной и межнациональной почве. В атмосфере отсутствия уважения к культурно-историческим особенностям народов, пренебрежения их конституционными правами последствия межнациональных обострений становятся гораздо более значительными. Нередко это происходит и по причине недостаточного внимания к данным вопросам со стороны исследователей различных областей знаний. В таких условиях актуальность изучения этнического состава населения региона остается очень высокой.

На протяжении без малого четверти века НИЛ «Региональные исследования» при кафедре экономической географии и региональной экономики ПГУ им. Т.Г. Шевченко аккумулирует и анализирует сведения о структуре и динамике этнического состава населения, а также изучает факторы этнических процессов и этногеографию Приднестровья. Важной особенностью населения республики является его трехсоставная структура, т. е. основу национального состава региона формируют примерно в равной пропорции три этноса: молдаване, русские и украинцы.

Ретроспективный анализ этнического состава населения ПМР представляет определенные сложности, обусловленные, прежде всего, подвижностью границ региона и особенностями учета численности населения. В табл. 1 включены обобщенные данные об изменении этнического состава в крае, являвшемся в разные исторические периоды частью различных государственных образований.

Молдавская АССР, созданная в 1924 г. в составе Украинской ССР, включала в себя всю территорию современного Приднестровья, за исключением его правобережной части (г. Бендеры и ряда сел), находившейся в составе Румынии. Наиболее представительной этнической группой в

МАССР были украинцы, составлявшие около половины населения республики. Анализ данных всесоюзных переписей населения 1926 и 1936 гг. свидетельствует об определенной динамике этнической структуры. При некотором сокращении доли молдавского, еврейского и польского населения заметно вырос процент русских и болгар, увеличилось количество украинцев и немцев [2, 3].

В этот период в регионе значимым являлся фактор индустриальной миграции. Промышленное строительство, развернувшееся в городах МАССР (в первую очередь, в столице – Тирасполе), а также развитие социальной сферы требовали привлечения большого числа профессиональных кадров, что обусловило приток мигрантов из республик СССР (в основном из России, Украины и Белоруссии). Доля русского населения в межпереписной период увеличилась на четверть. Довольно существенным компонентом национального состава стали белорусы, численность которых возросла более чем в 2,5 раза [3, 4].

МАССР в 1940 г. была упразднена, а ее западная, приднестровская, часть – включена в состав Молдавской ССР. К этому времени на территории, соответствующей современной ПМР, выделились районы с

Таблица 1

Этнический состав Приднестровья в разные годы

Год	Доля, %				Всего, тыс. чел.
	Молдаване	Русские	Украинцы	Прочие	
1926*	30,1	8,5	48,5	12,9	572,339
1939*	28,6	10,2	50,7	10,9	475,144
1989**	33,5	30,5	28,3	7,7	678,281
1993***	34,1	30,1	28	7,8	712,5
1995***	33,5	28,8	28	9,7	696,1
2004 (перепись)	31,9	30,3	28,8	9,0	550,0

* В границах МАССР в составе УССР.

** В составе МССР, с уточняющими коррективами [2, 3].

*** В нынешних границах ПМР.

преобладанием молдавского (Дубоссарский, Слободзейский и Григориопольский) и украинского (Каменский и Рыбницкий) населения, а также города Тирасполь и Бендеры, где численно доминировали русские [4, 5].

Великая Отечественная война и оккупация нашего края немецко-румынскими войсками изменили этническую структуру населения. Приднестровье вошло в состав губернаторства «Транснистрия», включавшего также части оккупированных Винницкой, Одесской и Николаевской областей Украинской ССР. Осуществляемая в регионе политика румынизации привела к некоторому увеличению доли молдавского населения. Так, в ноябре 1941 г. румынский диктатор И. Антонеску инициировал меры по колонизации Транснистрии путем переселения сюда этнических молдаван (румын) с территории Приднепровья, Приазовья, Крыма и Северного Кавказа. Вместе с тем многие украинские и русские семьи были отправлены в восточные районы Транснистрии (ныне Одесская и Николаевская области Украины). Еврейское (а также цыганское) население, не успевшее покинуть регион с отступавшими советскими войсками, оказалось беззащитным перед карательной политикой оккупантов, предполагавшей его полное уничтожение [6].

Окончание войны ознаменовало собой новые масштабные изменения в этнической структуре населения левобережной Молдавии. Во-первых, вместе с румынской администрацией регион покинули несколько тысяч румын и многие «фольксдойче» – этнические немцы. Во-вторых, сразу же после освобождения края советскими войсками в Приднестровье стали возвращаться, причем в организованном порядке, жители, эвакуированные летом 1941 г. В-третьих, с целью восстановления республики сюда были направлены тысячи партийно-государственных чиновни-

ков, инженеров, рабочих, представителей интеллигенции [6].

В 1946–1947 гг. сельскую местность Молдавской ССР охватил голод, унесший жизни (по усредненным оценкам) 120–150 тыс. человек, из них около 1/5 пришлось на жителей левобережных районов. Жертвами голода в основном стали украинцы и молдаване, поскольку они составляли абсолютное большинство в селах региона. Сокращение населения произошло еще и вследствие того, что часть граждан (преимущественно молдаван), активно сотрудничавших с немецко-румынскими оккупационными властями, были высланы в восточные районы СССР [7].

Политика советской власти стимулировала активную внутреннюю миграцию в рамках большого государства, в том числе в целях более эффективного использования трудовых ресурсов. В 60–80-е гг. XX в. благоприятные условия проживания, большое количество рабочих мест вследствие бурного экономического (в первую очередь, промышленного) развития Молдавии способствовали массовому привлечению мигрантов из других республик СССР (в основном из России и Украины). Этот процесс привел к существенному повышению этнического разнообразия региона при сохранении определяющего значения молдаван, украинцев и русских, о чем свидетельствуют данные всесоюзных переписей населения в 1959, 1970, 1979 и 1989 гг. Демоэтнические процессы в левобережных районах Молдавской ССР повторяли общереспубликанские тенденции: в сельской местности, где проживали преимущественно молдаване и украинцы, рождаемость была гораздо выше, чем в городах. Однако города привлекали большее число мигрантов. Значимым в тот период был учетный фактор. Так, многие молдавские семьи нередко регистрировали своих детей как русских исходя из конъюнктурных соображений [8, 9].

**Этнический состав населения Приднестровья
по данным переписей 1989 и 2004 гг.**

Год	Всего	В том числе								
		молдаване	русские	украинцы	болгары	гагаузы	белорусы	немцы	евреи	другие
12.01.1989, % чел.	100 678 281	33,5 227 084	30,5 207 219	28,3 192 078	2,2 14 616	0,7 4691	0,8 5357	0,7 4467	1,9 12 926	1,4 9843
11.11.2004, % чел.	100 555 347	31,9 177 382	30,4 168 678	28,8 160 069	2,5 13 858	0,7 4096	0,7 3811	0,4 2071	0,2 1259	4,4 24 123
Разница, %	–	–1,6	–0,1	0,5	0,3	–	–0,1	–0,3	–1,7	3,0

Этническая структура Приднестровья в 70–80-е гг. XX в. характеризовалась относительной стабильностью доли молдаван (около 1/3), некоторым сокращением числа украинцев, евреев и немцев и ростом доли русских и болгар. По данным переписи 1989 г. (табл. 2) в общей численности населения Приднестровья молдаване составляли 33,5 %, русские – 30,5, украинцы – 28,3, болгары – 2,2, евреи – 1,9, белорусы – 0,8, гагаузы – 0,7, немцы – 0,7, представители других этносов – 1,4 % [10].

Современный этнический состав населения ПМР. В современном населении республики преобладают этносы романской (молдаване), славянской (украинцы, русские, болгары, белорусы, поляки), германской (немцы, евреи) и индоарийской (цыгане) языковых групп индоевропейской семьи. Из представителей других национальностей выделяются гагаузы (тюркская группа алтайской языковой семьи). Остальные этносы не играют существенной роли в этногенезе Приднестровья [1].

В начале 90-х гг., на заре независимости Молдовы, нередкими были критические оценки процесса миграционного притока нетитульного (немолдавского) населения в республику. Однако социально-экономический кризис, разразившийся в результате распада СССР, привел к утрате прежней привлекательности региона для

мигрантов и стал служить основным выталкивающим фактором для его жителей. Пресловутая проблема «излишнего» миграционного притока в Молдову перестала быть актуальной. Более того, стремительно усиливался отток граждан: вначале в форме этнической миграции и последующей репатриации еврейского, немецкого и русского населения, а затем в форме трудовой миграции [9].

Всплеск этнической миграции пришелся на первую половину 90-х гг., когда после снятия советских миграционных ограничений страну массово стали покидать немцы и евреи, переселявшиеся на историческую родину. Обострение общественно-политической ситуации, лингвистическая политика новой молдавской власти привели к выталкиванию русскоязычных граждан республики, часть из которых предпочли обосноваться в Приднестровье [11].

Начиная со второй половины 90-х гг., особенно после финансово-экономического кризиса 1998 г., и вплоть до настоящего времени распространение получает трудовая эмиграция, которая охватывает все этнические группы. Миграционная убыль является основной причиной неуклонного сокращения численности населения региона и негативно отражается на возрастной структуре, показателях трудовых ресурсов [11].

Сегодня этническая составляющая не является значимым фактором, детерминирующим миграционное поведение жителей региона. Однако направленность миграционных потоков в определенной степени зависит от лингвистических характеристик мигрантов. Русские и украинцы предпочитают уезжать в Россию и Украину. Этнические молдаване являются билингвами, что позволяет им адаптироваться как в странах СНГ, где распространен русский язык, так и в романоязычных государствах (Италии, Португалии, Испании и Румынии). Для болгар и гагаузов, тоже билингов, наряду с Россией привлекательным направлением трудовой миграции выступает Болгария и Турция соответственно [11].

Сопоставление данных переписей 1989 и 2004 гг. свидетельствует об абсолютном сокращении численности представителей всех национальностей [10, 12]. Вместе с тем этническая структура региона сохранила устойчивость. Соотношение между основными этносами существенно не изменилось: на 1,6 % сократилась доля

молдаван, почти неизменной осталась доля гагаузов и русских, немного выросла доля украинцев и болгар. Значительно уменьшилась лишь доля евреев – с 1,9 до 0,2 % и немцев – с 0,7 до 0,4 % (см. табл. 2).

В то же время в межпереписной период с 1989 по 2004 г. этнический состав населения Республики Молдова существенно изменился в направлении увеличения доли молдавского населения и значительного сокращения славяноязычных этносов – русских, украинцев и болгар [12, 13]. Так, доля молдаван возросла с 64,5 до 75,8 % (т. е. на 11,3 процентных пункта), доля украинцев снизилась с 13,8 до 8,4 % (на 5,9 процентных пункта), русских – с 13,0 до 5,9 % (на 7,1 процентных пункта), болгар – с 2,0 до 1,9 % (на 0,1 процентных пункта). Заметно увеличилась доля лиц, признавших свою румынскую идентичность, и составила 2,2 % [10, 12].

Анализ данных, полученных в результате переписи 2004 г. в ПМР, выявил ряд особенностей этнической структуры (рис. 1). Произошли изменения в разных возрастных группах трех основных наци-



Рис. 1. Национальный состав населения ПМР по возрастным группам

Этнический состав населения городов и районов ПМР

Город, район	Число национальностей и народностей
Тирасполь	66
Слободзея и Слободзейский район	61
Бендеры	58
Рыбница и Рыбницкий район	55
Дубоссары и Дубоссарский район	44
Григориополь и Григориопольский район	40
Каменка и Каменский район	33
Всего	82

ональностей. В младшей возрастной группе, которую составили дети до 10 лет (т. е. родившиеся после 1994 г.), преобладали русские. В группе от 10 до 20 лет (1984–1994 гг. рождения) на первое место выдвинулись молдаване. Однако уже в группе от 20 до 35 лет (1969–1984 гг. рождения) их доля сравнялась с русскими, а в группе от 35 до 55 лет (1949–1969 гг. рождения) – снова стала преобладать. Среди лиц старших возрастных групп (от 55 лет, т. е. до 1949 г. рождения) первое место занимали украинцы [12, 14].

Объяснение такой картины кроется не только в изменении доли основных этнических групп в регионе в отдельные исторические периоды, но и в их возрастном составе (т. е. численности лиц репродуктивного возраста и других возрастных групп). Эти данные можно рассматривать в качестве маркеров эволюции этнической структуры населения края на протяжении всего XX в.

Перепись 2004 г. зафиксировала в Приднестровье представителей 82 национальностей, большая часть которых происходит с территории бывшего СССР. Именно миграцией в рамках общей страны можно объяснить такой высокий показатель этнического разнообразия. Следует отметить, что представители многих национальностей насчитывают всего несколько десятков человек, в то время как доля некоторых этнических групп, например белорусов, татар, армян и азербайджанцев, заметно больше [12].

В табл. 3 отражена численность национальностей и народностей, зафиксированных переписью в каждой административно-территориальной единице республики. В «сельских» районах – Каменском, Григориопольском и Дубоссарском – количество национальностей заметно меньше, чем в больших городах – Тирасполе и Бендерах и в Слободзейском районе, примыкающем к Тираспольско-

Бендерской агломерации. Этот показатель этнического разнообразия может рассматриваться нами как индикатор степени влияния миграционных процессов в рамках СССР на каждый из городов и районов ПМР [12].

При разработке данных по признаку национальности были выделены две вспомогательные единицы этнической номенклатуры: «лица других национальностей», не выделенных при переписи (127 человек, или 0,02 %), и «лица, не указавшие национальность в переписном листе» (17 199 человек, или 3,1 %) [12].

Интересным является факт достаточно высокой доли (3–6 %) лиц средней возрастной группы 20–55 лет, не указавших свою национальность (рис. 2). Отчасти это можно объяснить особенностями учета проводимой переписи. Однако мы понимаем, что для весьма значимого числа жителей Приднестровья, предположительно родившихся в смешанных семьях и использующих в разговорной речи смесь русского, украинского и молдавского языков, вопрос выбора национальности из представленных в анкете является непростым. Мы не исключаем, что предложенный для самоидентификации вариант

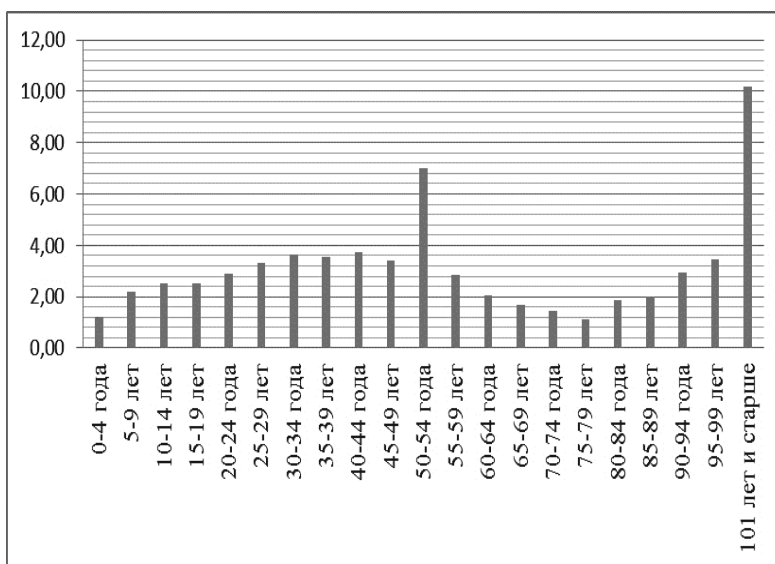


Рис. 2. Доля лиц, не указавших национальность, по возрастным группам (по материалам переписи населения ПМР 2004 г.)

«приднестровец» для кого-то мог бы показаться приемлемым, что можно проверить социологическими опросами и ближайшей переписью.

Используемое в регионе наименование жителей «приднестровский народ» видится нам не как квазиэтническая, а как полиэтническая общность, сформированная в результате взаимодействия славянских, романских, тюркоязычных, германских и иных этносов, для которой характерна единая территория, единая история, особый менталитет, преимущественно региональная (по признаку землячества), а не этническая идентичность [13, 15].

Факторы динамики этнической структуры населения ПМР. В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что этнический состав населения Приднестровья в процессе своей эволюции испытывает влияние различных факторов, среди которых выделяются:

– географическое положение – регион расположен вдоль русла Днестра, между

черноморским побережьем и дугой Карпатских гор, что благоприятствовало миграции через его территорию представителей различных племен и народов;

– цивилизационный фактор – порубежное (контактное) положение Приднестровья на стыке славянской и романской культур;

– исторический – длительное развитие региона в составе Российской империи (с конца XVIII по начало XX в.), вхождение в Молдавскую АССР – часть Украинской ССР с 1924 по 1940 г., пребывание в составе Молдавской ССР с 1940 по 1991 г.;

– экономический – строительство в 50–80-е гг. XX в. крупных промышленных объектов общесоюзного значения, которое способствовало иммиграции специалистов (представителей этносов республик бывшего СССР, в основном из России, Украины, Беларуси);

– политический – национальная политика Республики Молдова на рубеже 80–90-х гг., обусловившая приток русскоязыч-

ных иммигрантов; распад СССР; создание ПМР; военные действия начала 90-х гг.; политическая и социально-экономическая нестабильность; желание значительной части населения (немцев, евреев, болгар, русских, украинцев) воссоединиться со своей исторической родиной;

– геополитический – дестабилизация политической и экономической ситуации в соседней Украине, ведущая к оттоку украинцев за пределы страны, в том числе в Приднестровье;

– демоэтнический – особенности естественного движения, характерные для различных этнических групп населения;

– учетно-организационный – выбор гражданства и этнической принадлежности в гетероэтнических семьях в зависимости от складывающихся межэтнических отношений, а также исходя из прагматических целей;

– эмиграционный – политика государств, образовавшихся на территории бывшего СССР, которые активно «выкачивают» из Приднестровья как рядовую рабочую силу, так и высококвалифицированных специалистов;

– территориальный – контрасты в этническом составе населения между городами и сельской местностью, северной и южной частями республики [8, 11, 13, 15].

Перспективный анализ этнической структуры населения ПМР. Многие из перечисленных факторов в значительной мере предопределили и продолжают определять этнические процессы в республике. Очевидно, они будут влиять на динамику этнической структуры и в будущем. Основную роль в динамике этнической структуры населения будут, как и прежде, играть миграционные процессы. Трудовая миграция остается важнейшей причиной непрекращающейся депопуляции региона [11].

Главным выталкивающим фактором для приднестровских мигрантов вне зави-

симости от их национальности выступает экономическая ситуация в стране: бедность, отсутствие надлежащих условий для занятости и низкая заработная плата. Негативное влияние оказывает и эрозия социальной инфраструктуры (образования, здравоохранения, жилищно-коммунального хозяйства), выражающаяся в снижении качества услуг и сокращении их доступности. Влияние выталкивающих факторов несколько выше в сельской местности, где преобладает молдавское и украинское население. Значительная часть мигрантов из сел направляются в города, что приводит к существенному сглаживанию контрастов в этнической структуре населения ПМР.

Продолжает оказывать влияние фактор образовательной миграции, который превратился в канал выезда на постоянное место жительства в другую страну. Россия, Украина и Молдова предоставляют образовательные квоты приднестровским абитуриентам, которые по окончании обучения не спешат возвращаться домой. В первую очередь, это относится к выпускникам молдавских и особенно румынских школ¹, стремящимся продолжить свое обучение в Республике Молдова [14].

Заметна роль обратного по своей направленности процесса образовательной миграции, когда выпускники русских школ, преобладающих в автономном территориальном образовании Гагаузия в Республике Молдова, направляются в учебные заведения Приднестровья. Образовательная и трудовая миграция делают ощутимым приток гагаузского населения в ПМР, преимущественно в города.

Миграционный отток негативно отражается на возрастной структуре насе-

¹ На территории ПМР функционирует восемь румынских школ, или школ с молдавским языком обучения на латинской графике, где, по подсчетам ОБСЕ, в 2013 г. обучалось около 1800 детей.

ления, усугубляя процесс его старения, особенно заметный в северных районах Приднестровья, где преобладает украинское и молдавское население.

Роль воспроизводства населения в динамике показателей национального состава незначительна, так как показатели естественного движения населения не отличаются существенной межэтнической дифференциацией. Весомый вклад в формирование национального состава вносят межэтнические браки, доля которых постоянно увеличивается. Определенную роль способен сыграть процесс увеличения числа лиц, признающих свою румынскую идентичность, который получил широкое распространение в Молдове. Он может привести к уменьшению доли молдаван.

Сложная общественно-политическая и социально-экономическая ситуация в соседней Украине ведет к сокращению числа мигрантов из Приднестровья в эту страну. Таким образом, может произойти обратный процесс – приток мигрантов в ПМР.

Предполагается, что в целом этническая структура населения Приднестровья останется стабильной. Три основные этнические группы: молдаване, русские и украинцы – сохраняют свою определяющую значимость. Несмотря на небольшое сокращение, их суммарная доля будет составлять около 90 % населения республики.

Развитие наметившихся в 90-е гг. тенденций и указанных факторов может привести к некоторому увеличению доли русских при незначительном сокращении доли молдаван. В результате в ближайшем будущем доля русских может превысить долю молдаван, разница между которыми была незначительной уже в 2004 г. – всего 1,5 % (т. е. 30,4 % и 31,9 % соответственно). Несколько возрастет общая доля других национальностей вследствие разнонаправленных процессов – увеличения

численности болгар и гагаузов при сокращении количества евреев и немцев. Перепись населения 2015 г. позволит получить достаточно объективную картину национального состава в регионе [12].

Три языка основных этносов (молдавский, русский и украинский) в соответствии с Конституцией ПМР (ст. 12) имеют статус официальных. Они широко используются в печатных, аудио- и аудиовизуальных средствах массовой информации, для рекламных целей, для обозначения названий поселений, учреждений, улиц и т. п. Для большей части населения характерен билингвизм и трилингвизм. В то же время преимущественное распространение получил русский язык, который используется в качестве официального языка и языка межнационального общения. Он является основным в органах законодательной, исполнительной и судебной власти. На нем, за редким исключением, осуществляется делопроизводство. Его считают родным представители многих этносов [13]. Среди других наиболее распространенных языков следует отметить молдавский, украинский и болгарский. В последние годы в приднестровских городах все чаще можно слышать гагаузскую речь.

Изменение этнического и языкового состава населения имеет принципиально важное значение для развития социальной инфраструктуры региона, и прежде всего системы образования. Дальнейшее развитие системы образования должно учитывать изменения этнического состава населения с целью формирования оптимальной этнокультурной среды и соответствия потребностям общества. Демоэтнические процессы в регионе сопровождаются этногенетической миксацией, частичной ассимиляцией и межэтнической консолидацией населения.

Проводимая в Приднестровье этническая и языковая политика способствует межэтнической консолидации населения

для решения общих задач государственного строительства и социально-экономического развития. В противовес межэтническим конфликтам, получившим распространение во многих регионах СНГ, в Приднестровье сохранилась межэтническая консолидация, которая выражается в отсутствии этнократического руководства и официального объявления «титовых» наций. Для этносов, проживающих в ПМР, характерен интернациональный менталитет, неприятие национализма, этническая толерантность, взаимодополнение культур [15, 16].

Только сбалансированная интернациональная государственная политика может быть гарантом сохранения межэтнической стабильности, консолидации и максимальной реализации этнических потребностей населения республики в обозримом будущем.

Цитированная литература

1. **Бурла М.П., Бурла О.Н.** География населения: Учебно-методическое пособие. – Тирасполь: КЭГРЭ, 2009. – 112 с.
2. Всесоюзная перепись населения 1926 г. Народность и родной язык населения СССР. – М., 1928.
3. Всесоюзная перепись населения СССР 1939 г. Основные итоги. – М., 1992.
4. **Галущенко О.С.** Население Молдавской АССР (1924–1940 гг.). – Кишинев: АН РМ, 2001. – С. 35.
5. **Табак И.В.** Русское население в Молдавии. Численность, расселение, межэтнические связи. – Кишинев, 1990. – 59 с.
6. **Додик С.Д.** Судьба евреев Транснистрии // Ежегодный исторический альманах Приднестровья. – 2004. – № 8. – С. 16–22.
7. **Дигол С.** Операция «Юг» 1949 года в левобережной Молдавии: забытый фрагмент «реабилитированной» памяти // AbImperio. – 2004. – № 2. – С. 269–296.
8. **Зеленчук В.С., Урсул Д.Т.** Население Молдавской ССР (этнодемографические аспекты) // Проблемы исторической демографии СССР. – Кишинев: Штиинца, 1985. – С. 109–123.
9. **Репида Л.Е.** Население Молдовы в интеграционных процессах (40–50-е гг. XX в.). – Кишинев, 2000. – 224 с.
10. Итоги Всесоюзной переписи населения 1989 года. Т. VII. Национальный и языковой состав населения, возраст, уровень образования, состояние в браке лиц отдельных национальностей. Таблица «Распределение населения союзных республик по наиболее многочисленным национальностям и языку».
11. **Кривенко А.В.** Молдова: страна массовой трудовой эмиграции // Демоскоп Weekly. – 2014. – № 605–606. – Доступ.: <http://demoscope.ru/weekly/2014/0605/analit05.php>.
12. Аналитическая записка «Об итогах переписи населения ПМР 2004 г.». – Тирасполь, 2005.
13. **Сухинин С.А., Фоменко В.Г.** Факторы и тренды воспроизводства русской культуры в постсоветской Молдове // Международная научно-практическая конференция «Феномен культуры в российской общественной географии: экспертные мнения, аналитика, концепты. – Ростов н/Д., 2014. – С. 433–451.
14. Статистический ежегодник Приднестровской Молдавской Республики. 2008–2012 гг. – Тирасполь: ГСС ПМР, 2013. – С. 31.
15. **Степанов В.П.** Грани идентичностей: этногражданские процессы в среде национальных меньшинств Республики Молдова на примере украинского населения (1989–2009 гг.). – Кишинев: «Elan Inc» SRL, 2010. – 596 с.
16. **Дымченко Н.В.** Национальные культуры Приднестровья: опыт взаимодействия и диалог культур // Сборник конференций НИЦ «Социосфера». – 2014. – С. 73–74.

УДК 347.771

Г.Г. Мамедов, канд. экон. наук, доц.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО В ПРИДНЕСТРОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО В 2006–2013 ГОДАХ

Рассматриваются тенденции развития изобретательства в ПГУ им. Т.Г. Шевченко. Обосновываются актуальность и задачи создания основ инновационной экономики. Анализируются статистические данные результатов патентования изобретений с учетом Международной патентной классификации. Выявлены основные факторы, влиявшие на изобретательскую активность и формирование изобретательского потенциала университета.

Рост приднестровской экономики зависит от уровня развития и использования интеллектуального потенциала республики. В долгосрочной перспективе он должен стать определяющим фактором повышения производительности труда и конкурентоспособности экономики, проведения прогрессивных структурных изменений и решения острых социально-экономических задач.

В указе Президента ПМР от 26 ноября 2013 года отмечены факторы, негативно влияющие на экономическую безопасность государства, среди которых:

- высокий уровень ресурсоемкости производства и недостаточно эффективное применение ресурсо- и энергосберегающих технологий;

- структурные диспропорции в экономике вследствие преобладания материало- и энергоемких производств и недостаточности развития высокотехнологичных секторов;

- в обеспечении экономического роста низка роль инновационных производств и капитальных затрат в человеческий капитал;

- отставание технико-технологического состояния экономики от достигнутого мирового уровня и, как следствие, ее низкая конкурентоспособность.

По оценке Министерства экономики ПМР износ активной части основных промышленно-производственных фондов к 2010 году составил 82 % [1]. Острота тех-

нологической модернизации приднестровской экономики в последующие годы не снизилась.

В настоящее время в постсоветских государствах сложилось понимание того, что формирование условий инновационного развития национальных экономик является приоритетной задачей, решение которой непосредственно связано с интеллектуальной собственностью и созданием инновационных продуктов.

Последние десятилетия мирового экономического и научно-технического развития отмечены становлением экономики знаний с происходящими технологическими изменениями, которые воздействуют на развитие социальных процессов. Знания как интеллектуальный капитал (ресурс) составляют главное содержание интеллектуальной собственности (ИС). Данный термин предполагает «идеи, изобретения, технологии, произведения искусства и музыки, а также литературы, которые являются нематериальными при их создании, но затем становятся ценностями в материальной форме, как любой другой продукт» [2].

С правовой точки зрения ИС – это закрепленные законом имущественные и неимущественные права собственников на результаты интеллектуальной деятельности. Среди объектов ИС изобретениям отводится доминирующая роль в технологических преобразованиях в экономике

и обеспечении устойчивых темпов экономического роста. Изобретения определяют отличительные особенности смены технологических укладов, конкурентность изобретательских идей и ценность создаваемых на их основе рыночных продуктов, способность привлекать инвестиции с целью реализации различных проектов (таких, как инновационные проекты, диверсификация производства, слияние и поглощение фирм, инновационное предпринимательство, создание технических альянсов и совместных предприятий, лицензирование и торговля лицензиями и др).

Научная деятельность, целью которой является создание научной продукции, в том числе объектов ИС, всегда представлялась актуальной для университетов и научно-исследовательских центров. В странах с развитой экономикой они занимают ведущие позиции в проведении фундаментальных и прикладных исследований, активно участвуют в реализации инновационной политики государства, в решении конкретных задач технологической модернизации производства. Такая взаимосвязь между университетскими исследованиями и экономическим развитием страны компенсирует нехватку ресурсов для проведения научно-исследовательской работы, а также относительное отсутствие иностранных инвестиций [2].

Таким образом, главное содержание ИС составляют новые знания как результат творческой деятельности. Реализуясь в наукоемких технологиях и продуктах, они обеспечивают переход экономики от сырьевой к инновационной модели функционирования. В качестве объектов ИС знания влияют на обновление научно-технического и экономического потенциалов, создание высокотехнологичных секторов экономики, уровень конкурентных преимуществ, использование новых источников экономического развития.

При этом возрастает роль университетов и научно-исследовательских центров в

создании и использовании новых знаний, в привлечении будущих профессиональных специалистов к участию в научно-исследовательской и изобретательской деятельности, в выборе организационных форм управления ИС и эффективного функционирования интеллектуального потенциала университетов.

Для приднестровской экономики создание основ инновационного развития является жизненно острой проблемой. Это обусловлено потребностями технологического обновления производства; задачами обеспечения экономической безопасности, определенными Президентом ПМР; необходимостью обеспечения экономики как инвестиционными, так и трудовыми ресурсами; требованием существенного повышения эффективности и конкурентоспособности экономики. Решение указанных вопросов предполагает разработку и реализацию государственной инновационной политики, составным звеном которой должна быть политика в сфере создания и использования объектов ИС. «Факт создания интеллектуальной собственности – отправное начало инновационного процесса» [3].

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко является ведущим учебным и научно-исследовательским учреждением республики. В процессе регистрации и выдачи патентов на охрану объектов ИС вуз занимает лидирующие позиции.

За 2006–2013 годы отделом регистрации объектов ИС Министерства юстиции ПМР по результатам проведения формальной экспертизы университету выдано 70 патентов на изобретения (табл. 1). Это составило 59,3 % от общего количества зарегистрированных за данный период изобретений. В отдельные годы показатели существенно колебались.

Патентование изобретений в рассматриваемый период имело тенденцию к сни-

Количество патентов на изобретения, выданных ПГУ за 2006–2013 гг.

Год	Кол-во патентов	% от итога	% от общего количества по республике	% от предыдущего года
2006	15	21,4	60,0	–
2007	13	18,6	61,9	86,7
2008	11	15,7	55,0	92,3
2009	7	10,0	70,0	58,3
2010	2	2,9	40,0	28,6
2011	9	12,9	69,2	в 4,5 раза
2012	8	11,4	72,7	77,8
2013	5	7,1	38,5	71,4
Итого	70	100	59,3	–

жению. В предкризисные 2006–2008 годы среднегодовая выдача составила 13 патентов, в годы наиболее острого кризиса – четыре-пять патентов и в последующие три года – семь патентов. Основными причинами неустойчивой динамики патентования изобретений являлись:

- сложившаяся в экономике за предыдущие годы неблагоприятная технологическая среда, обусловленная высоким уровнем физического и морального износа производственного потенциала и низкой восприимчивостью хозяйственных субъектов к созданию и внедрению инноваций (нововведений);

- начавшийся в конце 2007 года мировой финансово-экономический кризис. В процессе его развития изобретательская активность в университете снижалась. Вместе с тем, как свидетельствует мировой опыт, в кризисные годы возрастает патентование изобретений, которые расширяют возможности использования решений, основанных на знаниях [4];

- незавершенность формирования патентной системы, которая влияла бы на развитие изобретательства, распространение знаний и информации посредством публикации выдаваемых патентов, на стимулирование инновационной деятельности и привлечение инвестиций, в том числе иностранных;

- отсутствие у ПГУ эффективной научно-технической политики, в рамках которой определялись бы проблемы, механизмы и направления изобретательской деятельности, а также ее место и роль в реализации инновационной политики Правительства ПМР.

Распределение выданных за 2006–2013 годы патентов на изобретения по разделам международной патентной классификации (МПК) оказалось очень неравномерным (табл. 2–5). Из восьми разделов МПК по одному (текстиль, бумага) не было подано ни единой заявки и, следовательно, не выдавались патенты. Более 54 % патентов приходилось на раздел «А», а по другим разделам изобретательская активность была низкой.

В указанный период тематический диапазон изобретений сузился. Если в 2006 году выданные патенты включали 11 тематических направлений, то в 2013 – только три. Несмотря на это, университет занимал лидирующие позиции в патентовании изобретений.

За восемь лет в создании изобретений участвовало 83 автора (табл. 6). С каждым годом их численность снижалась, т. е. изобретательская активность шла на убыль. Так, в 2006 году насчитывалось 39 авторов, в 2007 – 31, в 2008 – 17, в 2009 – 10, в 2010 – 4, в 2011 – 14, в 2012 – 10, в 2013 году – 7 авторов.

**Распределение патентов, выданных ПГУ за 2006–2013 гг.,
по классам разделов МПК**

Класс МПК	Название класса МПК	Количество патентов	% от итога
A01	Сельское хозяйство, лесное хозяйство, животноводство, охота и отлов животных, рыболовство и рыбоводство	5	7,1
A61–A63, кроме A61K	Медицина и ветеринария; гигиена; игры; массовые развлечения	30	42,9
A61K	Лекарства и медикаменты для терапевтических, стоматологических или гигиенических целей	2	2,9
B07	Разделение и сортировка твердых металлов	1	1,4
B22	Литейное производство; порошковая металлургия	1	1,4
B28	Обработка цемента, глины и камня	1	1,4
B32	Слоистые изделия или материалы	1	1,4
C04	Цементы; бетон; искусственные камни; керамика; огнеупоры	2	2,9
C08	Органические высокомолекулярные соединения; их получение или химическая обработка; композиции на основе этих соединений	7	10,0
C12–C13	Биохимия; пиво; алкогольные напитки; вино; уксус; микробиология; энзимология; получение мутаций; генная инженерия; производство сахара	1	1,4
C25	Электролитические способы; электрофорез; устройство для них	1	1,4
C28	Металлургия; сплавы черных и цветных металлов; обработка сплавов и цветных металлов	1	1,4
E02	Гидротехнические сооружения; основания и фундаменты; перемещение грунта	1	1,4
F02	Двигатели внутреннего сгорания; силовые установки, работающие на горячих газах или продуктах сгорания	2	2,9
F17	Хранение и распределение газов и жидкостей	2	2,9
F24	Отопление; вентиляция; печатные и плиты	3	4,3
G01	Измерение	2	2,9
G03	Фотография; кинематография; аналогичное оборудование, электрография, голография	2	2,9
G06	Часы и прочие измерители времени, управление; регулирование; вычисление; счет	1	1,4
G09	Средства обучения, тайнопись, дисплеи, рекламное и выставочное дело, печати и печатывание	1	1,4
H01	Основные элементы электрического оборудования	1	1,4
H02	Производство; преобразование и распределение электрической энергии	1	1,4
H05	Специальные отрасли электротехники, не отнесенные к другим классам	1	1,4
	Итого	70	100

Таблица 5

Распределение выданных ПГУ за 2006–2013 гг. патентов по классам разделов МПК и по годам

Класс МПК	Патенты																	
	2006 г.		2007 г.		2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.		2013 г.		Итого	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
A01	1	6,7	-	-	2	18,2	-	-	-	-	2	22,2	-	-	-	-	5	7,1
A61, кроме A61K	4	26,6	5	38,4	6	54,5	2	28,6	-	-	5	55,6	5	62,5	3	60,0	30	42,9
A61K	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	11,1	-	-	-	-	2	2,9
B07	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
B22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	12,5	-	-	1	1,4
B28	-	-	1	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
B32	-	-	-	-	-	-	1	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
C04	-	-	-	-	1	9,1	1	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,9
C08	-	-	2	15,4	-	-	3	42,8	-	-	-	-	2	25,0	-	-	7	10,0
C12-13	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
C25	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
C28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
E02	-	-	-	-	1	9,1	-	-	1	50,0	-	-	-	-	-	-	1	1,4
F02	-	-	1	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	20,0	2	2,9
F17	-	-	1	7,7	-	-	-	-	1	50,0	-	-	-	-	-	-	2	2,9
F24	1	6,7	1	7,7	1	9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4,3
G01	1	6,7	1	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,9
G03	2	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,9
G06	-	-	1	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
G09	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
H01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
H02	1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,4
H05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	11,1	-	-	-	-	1	1,4
Итого	15	100	13	100	11	100	7	100	2	100	9	100	8	100	5	100	70	100

Участники изобретательской деятельности в ПГУ в 2006–2013 гг.

№ п/п	Изобретатель	Количество изобретений							
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
1	Бурменко Ф.Ю.	2	4	5	5	2	2	3	–
2	Окушко В.Р.	3	–	–	–	–	–	–	–
3	Дементьев И.В.	2	1	–	–	–	–	–	–
4	Гоглидзе Т.И.	2	1	–	–	–	–	–	–
5	Кортюкова Ю.Е.	2	1	–	–	–	–	–	–
6	Мацкова Н.И.	2	1	–	–	–	–	–	–
7	Сенокосов Э.А.	2	1	–	–	–	–	–	–
8	Катаева Е.Ю.	2	–	–	–	–	–	–	–
9	Подолинный Г.И.	3	1	1	–	–	–	1	–
10	Дикусар А.И.	1	–	–	–	–	–	–	–
11	Бабанова Ж.И.	1	–	–	–	–	–	–	–
12	Яковец В.Г.	1	–	–	–	–	–	–	–
13	Звонкий В.Г.	1	–	–	–	–	–	–	–
14	Хлебников В.Ф.	1	–	1	–	–	–	–	–
15	Ионова Л.Г.	1	–	–	–	–	–	–	–
16	Тараканов И.Т.	1	–	–	–	–	–	–	–
17	Шептицкий В.А.	1	–	–	–	–	–	–	–
18	Косюк В.В.	1	–	–	–	–	–	–	–
19	Пынзарь Р.Л.	1	–	–	–	–	–	–	–
20	Ставинский Р.А.	1	1	1	–	–	–	–	–
21	Якубовская Ю.Л.	1	–	–	–	–	–	–	–
22	Маракуца Е.В.	1	1	–	–	–	–	–	–
23	Яровая Ю.В.	1	–	–	–	–	–	–	–
24	Радченко В.Н.	1	–	–	–	–	–	–	–
25	Самоброд В.В.	1	–	–	–	–	–	–	–
26	Бурменко Ю.Ф.	1	–	–	4	2	1	3	–
27	Окушко Р.В.	1	1	–	–	–	–	–	–
28	Лысенко Н.М.	1	–	–	–	–	–	–	–
29	Лунгу А.И.	1	–	–	–	–	–	–	–
30	Анисимов И.Ф.	1	1	–	–	–	–	–	–
31	Соколов В.А.	1	1	1	–	–	–	1	–
32	Нудненко И.Н.	1	1	–	–	–	–	–	–
33	Чевычелов С.С.	1	–	–	–	–	–	–	–
34	Кубасов В.В.	1	–	–	–	–	–	–	–
35	Корчанская Ю.Л.	1	–	–	–	–	–	–	–
36	Кожеваткин В.Л.	1	–	–	–	–	–	–	–
37	Юров Л.Л.	1	4	5	5	2	2	3	–
38	Леорда А.И.	1	–	–	–	–	–	–	–
39	Бурдиян И.И.	1	–	–	–	–	–	–	1
40	Молотков А.Н.	–	1	–	–	–	–	–	–
41	Берил С.И.	–	2	–	–	–	–	–	–
42	Мельник А.Д.	–	1	–	–	–	–	–	–

№ п/п	Изобретатель	Количество изобретений							
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
43	Прокопенко Д.С.								
44	Хлебникова Е.В.	–	1	–	–	–	–	–	–
45	Цушко В.В.	–	1	–	–	–	–	–	–
46	Химич С.Д.	–	1	–	–	–	–	–	–
47	Бутеску Д.А.	–	1	–	–	–	–	–	–
48	Димогло А.В.	–	1	–	–	–	–	–	1
49	Чернобрисов С.Ф.	–	1	–	–	–	–	–	–
50	Кручинин Н.Н.	–	1	–	–	–	–	–	–
51	Гуза Н.Д.	–	1	–	–	–	–	–	–
52	Гайман К.К.	–	1	–	–	–	–	–	–
53	Ботезату А.А.	–	2	5	–	–	–	–	–
54	Анисимов П.А.	–	1	–	–	–	–	–	–
55	Бодюл В.Г.	–	1	–	–	–	–	–	–
56	Мунтян В.М.	–	1	–	–	–	–	–	–
57	Грудко С.Г.	–	–	2	–	–	–	–	–
58	Гарбуз В.А.	–	–	1	–	–	–	–	–
59	Горя А.В.	–	–	1	–	–	–	–	–
60	Гарбуз А.И.	–	–	1	1	–	3	1	3
61	Юрченко В.И.	–	–	1	1	–	–	–	–
62	Боровик Т.И.	–	–	1	2	2	1	1	–
63	Коцюруба А.М.	–	–	1	–	–	–	–	–
64	Бурсак М.С.	–	–	1	–	–	–	–	–
65	Царалунга О.О.	–	–	1	–	–	–	–	–
66	Райляну Р.И.	–	–	1	–	–	–	–	–
67	Гарбуз И.Ф.	–	–	–	2	–	6	4	3
68	Гарбуз Т.Н.	–	–	–	1	–	–	–	–
69	Паламарчук В.М.	–	–	–	1	–	–	–	–
70	Чигирева В.В.	–	–	–	1	–	–	–	–
71	Царюк Е.А.	–	–	–	–	–	1	–	–
72	Леонтьев В.С.	–	–	–	–	–	3	–	–
73	Игнатов А.Д.	–	–	–	–	–	1	–	–
74	Панасенко Р.Д.	–	–	–	–	–	1	–	–
75	Гарбуз И.И.	–	–	–	–	–	1	–	–
76	Берил И.И.	–	–	–	–	–	1	–	1
77	Луценко В.Т.	–	–	–	–	–	1	–	–
78	Луценко Р.И.	–	–	–	–	–	1	–	–
79	Гарбуз А.Г.	–	–	–	–	–	–	1	–
80	Алексеева Л.И.	–	–	–	–	–	–	1	–
81	Морозенко С.Ф.	–	–	–	–	–	–	–	2
82	Жекова Ю.С.	–	–	–	–	–	–	–	1
83	Болога М.К.	–	–	–	–	–	–	–	1
	Итого	39	31	17	10	4	14	10	7

Из общего числа авторов 53 человека (63,9 %) участвовали в создании одного изобретения, 13 (15,7 %) – двух изобретений, 8 (9,6 %) – трех, по одному человеку – от 4 до 23 изобретений (10,8 %) (табл. 7). Наиболее активно изобретательской деятельностью занимались: Ф.Ю. Бурменко – 23 изобретения, А.Л. Юров – 22, И.Ф. Гарбуз – 15, Ю.Ф. Бурменко – 11, А.И. Гарбуз – 9, Т.И. Боровик – 7, Г.И. Подолинный – 6, А.А. Ботезату – 5. Они выступали и в качестве соавторов 36 изобретений, что составило 51,4 % от общего числа запатентованных.

Коллективное изобретательское творчество являлось доминирующей организационной формой, что обусловлено его целями, функциями и решаемыми задачами. Оно позитивно влияет на развитие и эффективное использование интеллектуальных способностей, позволяет максимально сочетать научные исследования с решением практических проблем инновационного развития экономики, предприятий и фирм. В его рамках формируются и развиваются изобретательские способности, характеризующие качественный уровень изобретательского потенциала. К основным из них относятся: способность к изобретательству, конкретное мышление, наблюдательность (чувство нового), на-

учно-техническая эрудиция, воображение (фантазия), умение четко и ясно выражать свои мысли и др. [5].

За 2006–2013 годы индивидуальным изобретательством занималось 5 (6 %) авторов, а коллективным – 78 (94 %). Первые создали и получили 8 патентов на изобретения (11,4 %), а вторые – 62 (88,6 %), в том числе в группе из двух соавторов – 16 (22,9 %), из трех – 27 (38,6 %), из четырех – 11 (15,7 %), из пяти – 7 (10 %), из шести соавторов – один (1,4 %).

В этот период неустойчивость патентования была присуща всем группам коллективного творчества. Если за 2006–2009 годы они получили 43 патента на изобретения, то за 2010–2013 – 19, т. е. на 55,8 % меньше, в том числе в группах из двух соавторов – на 76,9 %, из трех – на 31,2 %, из четырех – на 16,7 %. В группах из пяти и шести соавторов не было получено ни одного патента.

Динамика патентования изобретений университетскими изобретателями влияла на уровень продуктивности изобретательской деятельности, которая рассматривается как отношение выданных патентов к численности изобретателей, участвовавших в создании изобретений. За 2006–2013 годы продуктивность изобретателя составила 0,84. Данный коэффициент ха-

Таблица 7

Распределение патентов ПГУ в зависимости от формы организации изобретательской деятельности

Форма деятельности	Количество запатентованных изобретений							
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Индивидуальное творчество	–	1	2	–	–	1	3	1
Коллективное творчество – всего	15	12	9	7	2	8	5	4
В том числе:								
два соавтора	4	5	4	–	–	2	–	1
три соавтора	5	3	3	5	–	4	4	3
четыре соавтора	2	1	1	2	2	2	1	–
пять соавторов	4	2	1	–	–	–	–	–
шесть соавторов	–	1	–	–	–	–	–	–
Итого	15	13	11	7	2	9	8	5

рактирует количество патентов, пришедших на одного изобретателя.

Продуктивность изобретательства по отдельным годам составила: в 2006 году – 0,38, в 2007 – 0,39, в 2008 – 0,65, в 2009 – 0,7, в 2010 – 0,5, в 2011 – 0,64, в 2012 – 0,8 и в 2013 году – 0,71. Если рассматривать по типам изобретателей, то их продуктивность характеризуется следующими показателями: единственные авторы – 2,0; первые изобретатели, включая единственных, – 3,62. К первым изобретателям относятся лица, фигурирующие в команде изобретателей первыми, считающиеся автором одного патента независимо от числа других изобретателей. Они осуществляют научное наставничество, вносят наибольший вклад в качестве первого изобретателя и меньший вклад как соавтор, влияют на поиск и формирование изобретательской идеи и возможности ее реализации в изобретении. Соавторы – это лица, которые никогда не являлись первыми изобретателями [6]. Оценочные расчеты показывают, что коэффициент продуктивности первых университетских изобретателей, включая единственных, составил за 2006–2013 годы 3,62, по отдельным годам: в 2006 – 1,25, в 2007 – 1,3, в 2008 – 2,2, в 2009 – 3,5, в 2010 – 1,0, в 2011 – 3,0, в 2012 – 2,67 и в 2013 – 1,67. Продуктивность изобретательской активности в этот период была нестабильной, вследствие чего разрыв между максимальным и минимальным значениями составил 3,5 раза.

Если же рассматривать продуктивность изобретательской деятельности первых авторов и соавторов, то она характеризовалась по отдельным годам следующими данными: 2006 год – 0,39; 2007 – 0,6; 2008 – 0,9; 2009 – 1,4; 2010 – 0,5; 2011 – 1,0; 2012 – 0,71; 2013 – 2,0.

Из сопоставления коэффициентов продуктивности по типам изобретателей видно, что первые не только являются бо-

лее продуктивными, но и оказывают преимущественное влияние на результаты изобретательской деятельности университета. Вместе с тем от года к году их численность сокращается и почти не обновляется. Если в 2006 году первых изобретателей насчитывалось 25, в 2008 – пять, то в 2013 году – двое. На первых авторов (Ф.Ю. Бурменко, А.И. Гарбуз, Л.Л. Юров) приходилось почти 53 % полученных патентов, а с учетом их участия в качестве соавторов – 77 %. Поэтому развитие и повышение продуктивности изобретательства связано как с количественным ростом первых авторов, так и с их стремлением быть генератором изобретательских идей, влиять на развитие изобретательских способностей, осуществлять целенаправленное наставничество в процессе создания изобретений и др.

К сожалению, количественный потенциал действующих университетских изобретателей скромнен. К ним можно отнести Т.И. Боровик, А.И. Гарбуза, Ю.Ф. Бурменко, имеющих опыт изобретательского творчества и способных руководить и быть наставниками изобретателей.

Решение непростых проблем изобретательской деятельности требует разработки патентной политики, которая должна стать неотъемлемой составляющей научно-технической политики, реализация которой связана с достижениями стратегических (долгосрочных) целей ПГУ.

В университетах европейских стран и США накоплен значительный опыт формирования и развития патентной политики. За последние годы он используется в ряде вузов Российской Федерации. Например, Иркутский государственный университет путей сообщения рассматривает патентную политику как концепцию стратегического развития учебного заведения в области управления интеллектуальной собственностью, определяющую цели, принципы и основные правила развития

патентно-лицензионной деятельности для соблюдения баланса интересов авторов и патентообладателя и направленную на реализацию этапов управления: планирования, организации, мотивации (стимулирования) и контроля [7].

Российским федеральным институтом сертификации и оценки интеллектуальной собственности и бизнеса определены функции объектов ИС, влияющие на результативность патентной политики:

- техническая функция – наделение товара особыми потребительскими свойствами;
- технологическая функция – обеспечение технологического превосходства над конкурентами;
- правовая функция – обеспечение высокой и стабильной правовой защищенности юридических лиц;
- экономическая функция – экономическое управление капиталом с целью устойчивого извлечения сверхприбылей и наращивания его стоимости;
- социологическая функция – идентификация бизнеса в сознании потребителя на основе бренд-стратегии;
- психологическая функция – формирование высокой корпоративной культуры индивидуального и массового творчества в конкретной бизнес-среде;
- общеорганизационная функция – совокупность всех названных функций [8].

Исходя из отмеченного можно сделать некоторые выводы.

Во-первых, патентная политика университета включает все стадии регулирования интеллектуальной деятельности: от идеи до экономической и коммерческой реализации, без которых она лишается всякого смысла. ПГУ как доминирующий создатель интеллектуальных продуктов сформировал значительный патентный портфель изобретений, но вопрос в том, какова от него отдача, т. е. экономическая и финансовая эффективность?

Во-вторых, патентная политика университета является локальной. С одной стороны, она базируется на действующей законодательной и нормативной базе, регламентирующей интеллектуальную деятельность, качество разработки и учет полноты объективных характеристик при оценке ее результатов. С другой стороны, данная политика учитывает особенности организационной структуры вуза и патентной службы, экономическую ситуацию в стране, особенности форм и методов стимулирования, условия подготовки изобретательских кадров, соглашение о распределении доходов и др.

В-третьих, патентная политика является элементом (подсистемой) общей системы управления университетом. Ее проведение основывается на базовом пакете локальных нормативных документов. На этапе их формирования анализируется взаимодействие структурных подразделений с патентной службой, а также действующие локальные нормативы, регламентирующие жизненные циклы патентно-лицензионной деятельности, организация условий труда, информационное и кадровое обеспечение, уровень патентной культуры потенциальных изобретателей.

В-четвертых, сложно говорить о сотрудничестве между правительством, учебными учреждениями и бизнесом, когда в Приднестровье система охраны интеллектуальной собственности организационно не завершена как с позиции функционирования соответствующих институтов, так и с позиции законодательного регулирования интеллектуальной деятельности. Это снижает возможности инновационного развития экономики, реализацию конкретных инновационных проектов, ослабляет процесс изобретательства, использование имеющегося опыта, который накоплен зарубежными университетами в разработке и осуществлении патентной политики начиная с 30-х годов прошедшего столетия.

Например, в США в 1980 году в области интеллектуальной собственности были приняты законы Байа-Доула (Бэя-Доула) и Стивенсона-Уайдлера. Закон Байа-Доула закрепляет за авторами права собственности на продукты интеллектуального труда, созданные за счет государственного финансирования. То есть «отказываясь от собственности, государство ввело на рынок реальных собственников научно-технических результатов университеты, стимулировало создание необходимых инфраструктур по правовой охране, передаче, коммерциализации технологий и тем самым сформировало базовые условия для взаимодействия всех участников процесса создания, охраны, передачи и использования технологий в экономике страны» [9].

Основные положения закона Байа-Доула для университетов устанавливают, что его действие распространяется на все изобретения; каждый университет оставляет за собой право собственности на изобретение, созданное за счет правительственного финансирования НИОКР. Кроме того, вузы могут оставлять за собой право собственности на изобретение с предоставлением правительству неисключительной, безотзывной и безвозмездной лицензии на использование изобретения; отдавать предпочтение малым предприятиям на стадии предоставления лицензий; отчислять часть полученного дохода в виде роялти или лицензионных платежей изобретателю, а оставшиеся средства направлять на содержание центра по передаче технологий, на обеспечение научных исследований и изобретательского процесса и на другие нужды [10].

Закон Стивенсона-Уайдлера «О технологических нововведениях» регламентирует реализацию основополагающего принципа – создание связей между принадлежащими федеральному правительству лабораториями, проводящими фун-

даментальные исследования, и частными предприятиями; а также организацию лабораторий по выявлению коммерчески значимых технологий и их последующую передачу в частный сектор. Такие лаборатории должны стать органами по сбору и передаче информации о принадлежащих государству технологиях с целью их использования в государственном и частном секторах экономики.

Значимость законов заключается в том, что они создают условия для развития и использования преимуществ механизма государственно-частного партнерства в сфере интеллектуальной деятельности.

Формирование патентной политики Приднестровским университетом должно учитывать действующие мировые тенденции в сфере создания и управления интеллектуальной собственностью, ориентировать патентообладателей на достижение конкретных коммерческих результатов и использовать эффективные механизмы мотивации интеллектуального труда.

Цитированная литература

1. **Черненко Е.** Экономическая стратегия и тактика государственной политики в сфере экономической безопасности // Экономика Приднестровья. – 2010. – № 9. – С. 9.
2. **Камил Идрис.** Интеллектуальная собственность – мощный инструмент экономического роста // ВОИС / Пер. с англ. – 2004. – С. 9.
3. **Грибанов Д.** Роль института интеллектуальной собственности в инновационном развитии общества // ИС. Промышленная собственность. – 2011. – № 12. – С. 14.
4. **Попов Е.В., Власов М.В.** Моделирование генерации технологических знаний // Экономический анализ: теория и практика. – 2009. – № 4. – С. 17.
5. **Мамедов Г.** Потенциал изобретателя. Что за ним стоит? // ИС. Промышленная собственность. – 2000. – № 6. – С. 54–58.

6. **Перель И.М.** Исследование продуктивности деятельности индийских изобретателей // Патентное право. – 2005. – № 6. – С. 48–49.

7. **Видякина О.** Патентная политика университетов для обеспечения коммерциализации изобретений, результатов интеллектуальной деятельности // ИС. Промышленная собственность. – 2011. – № 11. – С. 28.

8. **Леонтьев Б.** Семь функций промышленной собственности в управлении бизнесом //

ИС. Промышленная собственность. – 2008. – № 3. – С. 23.

9. **Видякина О., Тюкавкин-Плотников А.** Патентная политика университета: разработка локальных нормативных документов // ИС. Промышленная собственность. – 2010. – № 6. – С. 35.

10. **Беляев Н.** Стимулирование инновационной деятельности: опыт США // ИС. Промышленная собственность. – 2010. – № 5. – С. 50–52.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
зарегистрированных в Министерстве юстиции
Приднестровской Молдавской Республики

Селекционные достижения

(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, д. 50

(11) 73

(21) 10400058

(22) 15.03.2010

(72) А.В. Фоминова, Н.Е. Клименко, Е.Н. Святская, М.В. Палкин и Е.С. Демидов

(54) Сорт арбуза Бриз (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum et Nakaine) относится к группе среднеспелых сортов, период от всходов до начала плодоношения составляет 82–86 дней (стандарт – сорт Таврийский). Растение длинноплетистое, средней мощности. Листья сильноорассеченные, серо-зеленого цвета.

Плод удлиненно-овальной формы, массой 3,0–3,5 кг. Поверхность плода гладкая, светло-зеленая с темно-зелеными средней ширины шиповатыми полосами. Мякоть густо-розовая, нежная, хрустящая, вкусовые качества очень хорошие (дегустационная оценка 4,6–4,9 балла). Содержит сухого вещества 8,1–10,2 %, общего сахара 4,8–9,0 %. Транспортабельность плодов хорошая, лежкость составляет 15 дней. По ранней урожайности превосходит стандарт на 3,6 т/га, по общей урожайности – на 4,7 т/га и составляет 23,9 т/га. Урожайность на богаре составляет 18,2–29,8 т/га.

Сорт арбуза Бриз предназначен для товарного производства, пригоден для местного потребления и для транспортировки.

Реакция сорта арбуза Бриз на абиотические факторы средняя, отзывчивость на удобрение и орошение высокая. Сорт по сравнению со стандартом несколько более устойчив к фузариозному увяданию, поражаемость ложной мучнистой росой на уровне стандарта.

(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, д. 50

(11) 74

(21) 11400071

(22) 01.02.2011

(72) А.В. Фомина, Н.Е. Клименко, М.В. Палкин, Л.И. Голуб, Е.С. Демидов, О.Е. Яновчик и Е.Н. Святская

(54) Гибрид F₁ кабачка Каскад (*Cucurbita pepo* L.), стандарт – сорт Хелена, относится к группе раннеспелых, период от всходов до созревания плодов составляет 31–41 день. Растение кустовое, средней мощности. Лист среднего размера, средне рассеченный, без пятнистости. Плоды булавовидной формы, со слабо бугорчатой поверхностью. Окраска плода в технической спелости желтая, мякоть кремовая. Масса товарного плода 400–600 г, длина 20–25 см. Семена кремовые с ободком. Отличается от стандарта формой плода, отсутствием пятнистости на листьях и более высокой и ранней общей урожайностью (соответственно на 4,6 т/га и 13, 3 т/га). Средняя урожайность 22–30 т/га. Гибрид F₁ кабачка Каскад среднеустойчив к мучнистой и ложной мучнистой росе, толерантен к бактериозу. За период вегетации обязательны две обработки против пероноспороза. Технология возделывания характерная для кабачка.

Предназначен для домашней кулинарии и консервной промышленности.

(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, д. 50

(11) 75

(21) 10400069

(22) 07.07.2010

(72) Л.И. Шпак, Г.Ф. Монахос (RU), В.В. Раецкий, А.Г. Сибилева, О.Е. Яновчик, Н.В. Цуркан и Г.В. Гажий

(54) Гибрид F₁ капусты белокочанной Вернисаж (*Brassica Oleracea* L. convar capitata (L.) Alef. var. alba D.C.), стандарт – гибрид F₁ капусты белокочанной Валентина, относится к позднеспелым, лежким гибридам. Характеризуется компактным типом розетки, средней высотой растения. Кочан имеет округлую форму, очень плотный, крупный, наружная окраска светло-зеленая, на разрезе белая. Высота кочана 16,6 см (на 1,8 см превосходит стандарт), диаметр 17,3 см (превосходит стандарт на 3,9 см). Кочаны прекрасно выровнены (отклонения составляют 0,09 %). Наружная кочерыга веретенообразной формы, средней величины.

Гибрид Вернисаж отличается от стандарта устойчивостью к растрескиванию, жаростойкостью, выносливостью к бактериозам, хорошей лежкостью (с ноября по март), которая составляет 78,8 %, высокими дегустационной оценкой и урожайностью на протяжении всего периода вегетации. Общая урожайность гибрида Вернисаж составляет 710 ц/га, что превосходит стандарт на 110 ц/га.

(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, д. 50

(11) 76

(21) 10400070

(22) 07.07.2010

(72) Л.И. Шпак, Г.Ф. Монахос (RU), В.В. Раецкий, А.Г. Сибилева, О.Е. Яновчик и Н.В. Цуркан

(54) Гибрид F₁ капусты белокочаннойпейзаж (*Brassica Oleracea* L. convar capitata (L.) Alef. var. alba D.C.), стандарт – гибрид F₁ капусты белокочанной Валентина, характеризуется компактным типом розетки, растение средней высоты с хорошо развитой

наружной кочерыгой. Кочерыга веретенообразной формы, средней величины, высотой 7,7 см. Кочан округло-плоский по форме, очень плотный, крупный, наружная окраска светло-зеленая, на разрезе белая. Высота кочана 17,0 см, диаметр 19,4 см. Кочаны прекрасно выровнены (отклонения составляют 0,09 %).

Гибрид Пейзаж отличается от стандарта устойчивостью к растрескиванию, пригодностью к квашению, длительностью хранения (с ноября по март), высокими дегустационными качествами и высокой урожайностью на протяжении всего периода испытаний. Общая урожайность гибрида Пейзаж превосходит стандарт на 126 ц/га и составляет 726 ц/га.

(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, д. 50

(11) 77

(21) 10400063

(22) 15.03.2010

(72) М.В. Кравцова, Т.Р. Стрельникова, О.В. Рыжова и О.Ф. Волошина

(54) Сорт моркови Комета (*Daucus carota* L. 1) относится к группе раннеспелых сортов: вегетационный период от массовых всходов до технической спелости корнеплодов составляет 87 дней, что на 5 дней меньше, чем у стандарта (стандарт – сорт моркови Артек). Кроме того, сорт Комета отличается ранним и дружным формированием товарных корнеплодов. Сорт отличается более укороченными и утолщенно-коническими по форме, ярко-оранжевыми по окраске и хорошими по вкусовым качествам корнеплодами, что обусловлено быстрым накоплением и высоким содержанием β -каротина (15,3 мг/100 г), сахаров (9,1 %), сухого вещества (16,8 %). В то же время сорт характеризуется низким содержанием нитратов (от 20 до 54 мг/кг). Средняя масса товарного корнеплода – 53 г. Корнеплоды предназначены для использования в свежем и консервированном виде, в том числе для изготовления продуктов детского и диетического питания, а также для хранения. Сорт превосходит по общей и товарной урожайности стандарт соответственно на 3,9 и 2,7 т/га и составляет в среднем 302 ц/га.

Растения сорта устойчивы к засухе, холоду, повышенным и пониженным температурам.

Изобретения

(76) Маручек Сергей Павлович и Белявская Анна Сергеевна

г. Тирасполь, ул. Ларионова, д. 37, кв. 34

(11) 468

(21) 15100521

(51) А 61 В 5/04, 5/05, А 61 Н 25/32

(22) 09.06.2015

(15) 07.08.2015

(56) Жуков В.В., Курик М.В. Прикладная метрология в электропунктурных измерениях. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2004. № 8, 9.

(54) Прибор для электропунктурной диагностики и коррекции состояния здоровья человека, включающий активный и пассивный электроды, источник постоянно электрического тока, переменное сопротивление и микроамперметр, *отличающийся* тем, что, с целью снижения негативного воздействия на кожные покровы человека за счет повышения чувствительности прибора, в нем дополнительно установлены

транзистор, конденсатор, два микроамперметра, вольтметр и пять переключателей, при этом к положительному полюсу источника тока параллельно подключены микроамперметр 0–300 мкА, микроамперметр 0–50 мкА и клеммы для подключения к другим приборам, затем последовательно – переменное сопротивление, микроамперметр 0–100 мкА, вольтметр 0–10 В и переключатель полярности электродов, к выходу которого присоединены пассивный электрод и активный с разъемными клеммами в цепи для включения контейнера с тест-объектом, а к отрицательному полюсу источника тока подключены параллельно два переключателя, один из которых соединен с базой транзистора и переключателем полярности электродов, другой с конденсатором и эмиттером транзистора, коллектор которого соединен с конденсатором и переключателем, вторая клемма которого соединена с переменным сопротивлением и микроамперметром 0–100 мкА.

(71)(73) Государственное образовательное учреждение «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 128

(11) 469

(21) 15100524

(51) A 01 G 13/02

(22) 12.08.2015

(15) 25.08.2015

(72) Ф.Ю. Бурменко, Л.Л. Юров, Ю.Ф. Бурменко, Г.П. Лупашко и С.Л. Чирвина

(56) Патент РФ № 2236779, А 01 G 13/02, 2009

(54) Способ формирования устройства для выращивания культурных растений, заключающийся в том, что формируют закрытую по периметру прямоугольную конструкцию в виде панели с ячейками для растений, отверстия которых расположены на уровне почвы, с возможностью закрепления на грунте, *отличающийся* тем, что, с целью упрощения способа и расширения функциональных возможностей устройства, его формируют непосредственно на месте применения из прямоугольных пластин, располагая одни вертикально с заглублением в грунт, а другие наклонно под углом к вертикальным пластинам, при этом ячейки для растений образуют свободным пространством между наклонными пластинами на уровне грунта, плотность растений по длине ячейки выбирают в зависимости от требований агротехники, а расстояния между рядом растений задают расстоянием между параллельными рядами вертикальных пластин.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что прямоугольные пластины для формирования устройства изготавливают из пластмасс, металла или композитных материалов, в том числе керамических и цементно-волокнистых.

3. Способ по п. 1 и 2, отличающийся тем, что пластины для продольных рядов выполняют с продольным ребрением.

(71)(73) Государственное образовательное учреждение «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 128

(11) 470

(21) 15100520

(51) C 25 D 3/02

(22) 25.05.2015

(15) 06.10.2015

(72) А.И. Дикусар, С.А. Силкин, И.В. Яковец и А.В. Готеляк

(56) Патент ПМР № 460, C 25 D 3/02, 2014

(54) Способ получения нанокристаллических кобальт-вольфрамовых (Co-W) покрытий, включающий подготовку глюконатного электролита путем последовательного и полного растворения из водных растворов с концентрацией (моль/л) сульфата кобальта (0,053), вольфрамата натрия (0,05), глюконата натрия (0,55), борной кислоты (0,65), хлорида натрия (0,51) при pH раствора 6,5, выдержку раствора до начала электролиза не менее четырех дней, электролиз при плотности тока 2 А/дм² и температуре 80–90 °С, *отличительной* тем, что, с целью повышения микротвердости покрытий, процесс проводят при объемной плотности тока не превышающей 3 мА/л.

Программа для ЭВМ

(76) Глазов Анатолий Борисович,

г. Рыбница, ул. Мичурина, д. 27, корпус 2, кв. 53

(11) 328

(21) 13300361

(22) 13.07.2015

(15) 15.07.2015

(57) Программа для ЭВМ «Динамическая библиотека СУБД “DBSN”» предназначена для формирования и обслуживания системы управления базами данных (СУБД) NoSQL-типа для различных сред программирования в Windows. В настоящее время она апробирована в приложениях MS Excel, C++ Builder, WSH на языках VBScript, JavaScript, Python. Внутренняя организация библиотеки выполнена по стандартам написания функций для ядра Windows, что позволяет расширить область ее применимости. В библиотеке реализовано около 100 функций, закрывающих основные потребности СУБД. Их можно подразделить на разделы:

1. Операции с таблицами (13 функций);
2. Операции с записями (24 функции);
3. Операции с полями записей (31 функция);
4. Прочие (сюда относятся, в частности, средства обработки ошибок).

Алгоритм обработки данных в этой СУБД основан на следующих положениях:

- записи в любой таблице могут иметь различный размер в зависимости от хранимых данных;
- число полей в записях одной таблицы может быть различным и зависит от имеющихся данных;
- уникальный идентификатор каждой записи (Id) не хранится в отдельном поле;
- Id-записи имеют физический смысл и позволяют максимально быстро получить доступ к данным записи;
- все операции СУБД ориентированы на минимальное время выполнения.

Программа позволяет уменьшить время доступа к отдельным записям и их полям в реальном режиме. В отличие от известных NoSQL СУБД, например MongoDB, предлагаемая библиотека не использует ассоциативных полей. Кроме того, каждое поле в записи может существовать в нескольких экземплярах в зависимости от потребностей. Для этого применяется аналог JSON. Фактически каждая запись таблицы является массивом полей, каждое из которых может быть как скалярным значением, так и массивом. Это позволяет увеличить скорость работы приложений, так как сокращается количество дисковых операций, а обработка данных в памяти выполняется быстрее, чем обращение к диску.

Интерфейс библиотеки выполнен для облегченного подключения к произвольным средам программирования.

Продукт разработан как библиотека динамической компоновки (DLL) для Windows. Среда разработки C++ Builder 6. В продукте учтены общие требования к DLL-файлам, поэтому его можно использовать из различных программ, например из Microsoft Office, WSH, JavaScript, VBScript, Delphi, C++ Builder, Python .

Данная СУБД является оригинальной и предназначена для использования во всех задачах с NoSQL-организацией данных.

Минимальные требования для устойчивой работы СУБД следующие:

- оперативная память 256 Мб;
- процессор с тактовой частотой 300 МГц.

(71)(73) Государственное унитарное предприятие «Республиканское бюро технической инвентаризации»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 114

(11) 329

(21) 15300362

(22) 28.08.2015

(15) 03.09.2015

(72) В.И. Гроза

(57) Программа для ЭВМ «Подпрограмма “Статистический учет”» в программном обеспечении «Электронная система технической инвентаризации и государственного учета объектов недвижимости» предназначена для сбора, оперативной обработки, анализа, распространения, сохранения и использования статистической информации объектов недвижимости.

Программа для ЭВМ накапливает и систематизирует данные по статистической инвентаризации объектов недвижимости.

Данная программа формирует статистические карточки, журналы и отчеты на основе информации, находящейся в программном продукте «Электронная система технической инвентаризации и государственного учета объектов недвижимости», выводит на печать текстовую информацию в утвержденных формах, упрощает формирование государственной статистической отчетности.

При печати необходимой документации программный продукт использует пакет Microsoft Office, в частности приложения Microsoft Word, Microsoft Excel.

Представленная программа разработана в среде Lotus Notes Designer с использованием нескольких языков программирования: Lotus Script и @-формула.

Программный продукт является неотъемлемой частью программы для ЭВМ «Электронная система технической инвентаризации и государственного учета объектов недвижимости».

(71)(73) Совместное закрытое акционерное общество «Интерднестрком»,

г. Тирасполь, ул. Восстания, д. 41

(11) 330

(21) 15300363

(22) 12.10.2015

(15) 13.10.2015

(72) Д.К. Лаврека

(57) Программа для ЭВМ «Автоматизированная система централизованного оповещения „Набат”» (далее – АСЦО «Набат») обеспечивает:

– дистанционное управление запуском любой группы (от одной до восьми, в зависимости от существующей конфигурации объекта) электросирен, подключенных к одному станционному блоку на территории ПМР, включенной в компьютерную систему централизованного оповещения (КСЦО);

– дистанционное управление запуском группы электросирен по территориальному принципу (вся республика, отдельный район, населенный пункт, отдельные районы городов Тирасполь и Бендеры);

– контроль в режиме реального времени исправности линий управления, генераторов блоков управления и коммутационных схем, наличие рабочего напряжения питания электросирен;

– контроль в режиме реального времени наличия связи с удаленными контроллерами и программным обеспечением, организующим механизм взаимодействия между исполнительным интерфейсом оперативного дежурного и контроллерами;

– аутентификацию пользователей, разграничение прав пользователей по территориальному признаку и признаку «центральный пост». Территориальный признак обеспечивает доступ только к заданной территориальной единице. Оперативный дежурный города Бендеры контролирует все электросирены всех районов города Бендеры и т. п. Центральный пост контролирует все сирены всех районов, всех городов и населенных пунктов республики без каких-либо исключений (полный доступ);

– аудит действий пользователя и событий программы;

– отчет по запуску электросирены, группы электросирен. Фиксируется время запуска, продолжительность запуска, статус выполнения, инициатор выполнения и т. п. Отчет выводится в отдельном окне сразу по завершении выполнения.

Программа разработана как приложение для оперативной системы и написана на языке Pascal, поддерживающем объективно-ориентированное программирование, с помощью которого удобно манипулировать большими объемами данных. Средой программирования является Delphi 7.0 компании Borland. Программа предназначена для функционирования в операционной системе Windows 2000/XP/7 с использованием стандартных элементов управления.

Товарные знаки

(730) Интел Корпорейшн (Intel Corporation),

2200 Мишен Колледж бульвар, 95052-8119
Санта-Клара, Калифорния, США
2200 Mission College Boulevard, 95052-8119
Santa Clara, California, U.S.A.)

(111) 1619

(210) 15201603

(151) 15.07.2015

(310) 67188

(320) 19.05.2015

(330) JM

(540)

(220) 19.06.2015

(180) 19.06.2025

OPTANE

(511)

09 – многослойные запоминающие устройства для компьютеров; энергонезависимые запоминающие устройства для компьютеров; быстродействующие, масштабируемые запоминающие устройства для компьютеров; компьютерное аппаратное обеспечение; твердотельные накопители; жесткие диски; интегральные схемы; микропроцессоры; запоминающие устройства.

(730) Интел Корпорейшн (Intel Corporation),

2200 Мишен Колледж бульвар, 95052-8119
Санта-Клара, Калифорния, США
2200 Mission College Boulevard, 95052-8119
Santa Clara, California, U.S.A.)

(111) 1620

(210) 15201604

(220) 19.06.2015

(151) 15.07.2015

(180) 19.06.2025

(310) 67187

(320) 19.05.2015

(330) JM

(540)**INTEL OPTANE**

(511)

09 – многослойные запоминающие устройства для компьютеров; энергонезависимые запоминающие устройства для компьютеров; быстродействующие, масштабируемые запоминающие устройства для компьютеров; компьютерное аппаратное обеспечение; твердотельные накопители; жесткие диски; интегральные схемы; микропроцессоры; запоминающие устройства.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «ПапирСан»,

г. Бендеры, ул. Борисовская, д. 2

(111) 1621

(210) 15201599

(220) 02.06.2015

(151) 15.07.2015

(180) 02.06.2025

(540)

(511)

16 – бумага, картон и изделия из них.

35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

(730) Михайлова Галина Васильевна,

г. Бендеры, ул. С. Лазо, д. 30

(111) 1622

(210) 15201597

(220) 22.05.2015

(151) 15.07.2015

(180) 22.05.2025

(540)



(526) antikafe

(591) Бордовый, оттенки золотого, белый, оранжевый.

(511)

35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

41 – мюзик-холлы; организация выставок с культурно-просветительной целью; организация досугов; организация и проведение концертов; организация и проведение мастер-классов; организация и проведение семинаров; организация конкурсов красоты; организация конкурсов учебных или развлекательных; развлечение гостей; услуги образовательно-воспитательные; шоу-программы.

43 – кафе.

(730) Баркова Юлия Викторовна,

г. Тирасполь, ул. К. Маркса, д. 129, кв. 110

(111) 1623

(210) 15201602

(220) 19.06.2015

(151) 15.07.2015

(180) 19.06.2025

(540)



(526) РЕКЛАМНОЕ АГЕНТСТВО.

(591) Оттенки красного, оттенки оранжевого.

(511)

35 – реклама наружная; оформление витрин.

(730) Ковалив Александр Николаевич,

г. Тирасполь, ул. Луначарского, д. 31, кв. 5

(111) 1624

(210) 15201606

(220) 25.06.2015

(151) 15.07.2015

(180) 25.06.2025

(540)



(511)

35 – продвижение товаров (для третьих лиц); услуги снабженческие для третьих лиц [закупка и обеспечение предпринимателей товарами]; демонстрация товаров; организация выставок в коммерческих или рекламных целях; продажа аукционная.

37 – восстановление двигателей полностью или частично изношенных; восстановление машин полностью или частично изношенных; восстановление протектора на шинах; вулканизация покрышек [ремонт]; мытье автомобилей; мытье транспортных средств; обработка антикоррозионная транспортных средств; обслуживание техническое транспортных средств; полирование транспортных средств; помощь при поломке, повреждении транспортных средств [ремонт]; работы малярные; ремонт и техническое обслуживание автомобилей; смазка транспортных средств; станции технического обслуживания транспортных средств [заправка топливом и обслуживание]; установка и ремонт электроприборов; установка, ремонт и техническое обслуживание машинного оборудования; чистка транспортных средств.

39 – перевозки автомобильные; перевозки пассажирские; помощь в случае повреждения транспортных средств [буксирование]; прокат автомобилей; прокат транспортных средств; услуги автостоянок; услуги водителей; услуги такси.

43 – агентства по обеспечению мест [гостиницы, пансионаты]; гостиницы; закусочные; кафе; кафетерии; мотели; рестораны; рестораны самообслуживания; услуги баз отдыха [предоставление жилья]; услуги баров; услуги кемпингов; услуги по приготовлению блюд и доставке их на дом.

(730) Ковалив Александр Николаевич,

г. Тирасполь, ул. Луначарского, д. 31, кв. 5

(111) 1625

(210) 15201605

(151) 15.07.2015

(540)

(220) 25.06.2015

(180) 25.06.2025

АВТОЛЯЛЕЧКА

(511)

35 – продвижение товаров (для третьих лиц); услуги снабженческие для третьих лиц [закупка и обеспечение предпринимателей товарами]; демонстрация товаров; организация выставок в коммерческих или рекламных целях; продажа аукционная.

37 – восстановление двигателей полностью или частично изношенных; восстановление машин полностью или частично изношенных; восстановление протектора на шинах; вулканизация покрышек [ремонт]; мытье автомобилей; мытье транспортных средств; обработка антикоррозионная транспортных средств; обслуживание техническое транспортных средств; полирование транспортных средств; помощь при поломке, повреждении транспортных средств [ремонт]; работы малярные; ремонт и техническое обслуживание автомобилей;

смазка транспортных средств; станции технического обслуживания транспортных средств [заправка топливом и обслуживание]; установка и ремонт электроприборов; установка, ремонт и техническое обслуживание машинного оборудования; чистка транспортных средств.

39 – перевозки автомобильные; перевозки пассажирские; помощь в случае повреждения транспортных средств [буксирование]; прокат автомобилей; прокат транспортных средств; услуги автостоянок; услуги водителей; услуги такси.

43 – агентства по обеспечению мест [гостиницы, пансионаты]; гостиницы; закусочные; кафе; кафетерии; мотели; рестораны; рестораны самообслуживания; услуги баз отдыха [предоставление жилья]; услуги баров; услуги кемпингов; услуги по приготовлению блюд и доставке их на дом.

(730) КЕНДА РУББЕР ИНДУСТРИАЛ КО. ЛТД, ТВ (KENDA RUBBER INDUSTRIAL CO. LTD, TW)

№ 146, Сек. 1, Жонгшан Рд., Юанлин Тоуншип,
Чангхуа Коунти 510, Тайвань (Р.О.К.)

№ 146, Sec. 1, Zhongshan Rd., Yuanlin Township,
Changhua County 510, Taiwan (R.O.C.))

(111) 1626

(210) 15201593

(151) 21.07.2015

(540)

(220) 05.05.2015

(180) 05.05.2025

KENDA

(511)

12 – колеса транспортных средств, шины, камеры для пневматических шин, камеры велосипедов, покрышки для пневматических шин, накладки для ремонта шин, автомобильные шины, велосипедные шины, шины для мотоциклов, камеры, накладки для ремонта камер шин, поверхности катания для восстановленных протекторов на шине; приспособления, предохраняющие от скольжения для шин транспортных средств, шипы для шин, противоскользкие шпильки для автомобильных шин, цепи противоскольжения; наборы инструментов и принадлежностей для ремонта шин и камер шин.

(730) Акционерное общество «Нижегородский химико-фармацевтический завод»,
г. Нижний Новгород, 603950, ул. Салганская, д. 7, РФ

(111) 1627

(210) 15201600

(151) 21.07.2015

(540)

(220) 15.06.2015

(180) 15.06.2025

ЛЕВОМЕКОЛЬ

(511)

05 – вещества диетические для медицинских целей; добавки минеральные пищевые; добавки пищевые; капсулы для лекарств; капсулы для фармацевтических целей; мази; мази для фармацевтических целей; медикаменты; медикаменты для человека; препараты биологические для медицинских целей; препараты с микроэлементами для человека или животных; препараты фармацевтические; препараты химико-фармацевти-

ческие; препараты химические для медицинских целей; препараты химические для фармацевтических целей; суппозитории.

(730) Акционерное общество «Нижегородский химико-фармацевтический завод»,

г. Нижний Новгород, 603950, ул. Салганская, д. 7, РФ

(111) 1628

(210) 15201601

(151) 21.07.2015

(540)

(220) 15.06.2015

(180) 15.06.2025

ХОНДРОКСИД

(511)

05 – вещества диетические для медицинских целей; добавки минеральные пищевые; добавки пищевые; капсулы для лекарств; капсулы для фармацевтических целей; мази; мази для фармацевтических целей; медикаменты; медикаменты для человека; препараты биологические для медицинских целей; препараты с микроэлементами для человека или животных; препараты фармацевтические; препараты химико-фармацевтические; препараты химические для медицинских целей; препараты химические для фармацевтических целей; суппозитории.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Окей-сервис»,

г. Тирасполь, ул. К. Либкнехта, д. 159/3

(111) 1629

(210) 15201607

(151) 06.08.2015

(540)

(220) 30.06.2015

(180) 30.06.2025



(526) РЕСТОРАН.

(591) Черный, бежево-розовый, красный, желтый, коричневый.

(511)

35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Вивафарм»,

Слободзейский район, с. Парканы, ул. Гоголя, д. 1

(111) 1630

(210) 15201610

(151) 06.08.2015

(540)

(220) 21.07.2015

(180) 21.07.2025



(526) АПТЕКА.
 (591) Красный, синий.
 (511)
 35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

(730) Владов Олег Валентинович,
 Слободзейский район, с. Парканы, ул. Мира, д. 65

(111) 1631
 (210) 15201612 (220) 23.07.2015
 (151) 06.08.2015 (180) 23.07.2025
(540)



(511)
 37 – уборка зданий (внутренняя); мытье окон; очистка зданий (наружной поверхности); уборка улиц; уход за мебелью, уход за бассейнами, чистка сухая; глажение белья; чистка транспортных средств.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Аква Фарм»,
 г. Тирасполь, ул. Юности, д. 10/4

(111) 1632
 (210) 15201611 (220) 22.07.2015
 (151) 10.08.2015 (180) 22.07.2025
(540)



(526) СЛОВЕСНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.
 (591) Зеленый, темно-зеленый, красный, белый.
 (511)
 35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

(730) Закрытое акционерное общество «Бендерский мясокомбинат»,
 г. Бендеры, ул. Индустриальная, д. 35

(111) 1633
 (210) 15201609 (220) 02.07.2015
 (151) 10.08.2015 (180) 02.07.2025
(540)



(511)

29 – мясо, рыба, птица и дичь; мясные экстракты; овощи и фрукты консервированные, сушеные и подвергнутые тепловой обработке; желе, варенье, компоты; яйца, молоко и молочные продукты; масла и жиры пищевые.

30 – мука и зерновые продукты, хлебобулочные изделия, кондитерские изделия, мороженое; мед, сироп из патоки; пищевой лед.

(730) Закрытое акционерное общество «Бендерский мяскокомбинат»,

г. Бендеры, ул. Индустриальная, д. 35

(111) 1634

(210) 15201608

(220) 02.07.2015

(151) 10.08.2015

(180) 02.07.2025

(540)

(511)

29 – мясо, рыба, птица и дичь; мясные экстракты; овощи и фрукты консервированные, сушеные и подвергнутые тепловой обработке; желе, варенье, компоты; яйца, молоко и молочные продукты; масла и жиры пищевые.

30 – мука и зерновые продукты, хлебобулочные изделия, кондитерские изделия, мороженое; мед, сироп из патоки; пищевой лед.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Кейсер»,

г. Тирасполь, ул. Манойлова, д. 57/2

(111) 1635

(210) 15201617

(220) 21.08.2015

(151) 03.09.2015

(180) 21.08.2025

(540)

(526) аптечная сеть

(591) Зеленый, белый, желтый.

(511)

35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

(730) Государственное унитарное предприятие «Промышленно-производственное объединение»,

г. Тирасполь, ул. Шевченко, д. 84

(111) 1636

(210) 15201614

(151) 03.09.2015

(540)

(220) 11.08.2015

(180) 11.08.2025



(526) Словесные обозначения, «+».

(511)

19 – материалы строительные обработанные; бетон.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Бэн энд Дигсер»,

г. Тирасполь, ул. 28 Июня, д. 118

(111) 1637

(210) 15201616

(151) 03.09.2015

(540)

(220) 18.08.2015

(180) 18.08.2025



Natali Kuka

(511)

24 – ткани и текстильные изделия; белье и постельные принадлежности.

25 – одежда, обувь, головные уборы.

26 – украшения для одежды и обуви; фурнитура; изделия декоративные; изделия текстильные для украшения.

40 – пошив и переделка одежды; раскрой ткани.

42 – моделирование одежды; рисование; оформление интерьера.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Каменский Колос»,

г. Каменка, ул. УЖД, д. 1

(111) 1638

(210) 15201613

(151) 16.09.2015

(540)

(220) 30.07.2015

(180) 30.07.2025



(511)

31 – кукуруза; подсолнечник; пшеница; рапс.

(730) Государственное унитарное предприятие «Бендерский хлеб»,
г. Бендеры, ул. Суворова, д. 116

(111) 1639

(210) 15201618

(151) 18.09.2015

(540)

(220) 27.08.2015

(180) 27.08.2025



(526) ГУП; ХЛЕБ.

(591) Бежевый, шоколадный.

(511)

30 – хлебобулочные изделия; кондитерские изделия.

32 – квас [безалкогольный напиток], минеральные и газированные воды и прочие безалкогольные напитки.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Шериф»,

г. Тирасполь, ул. Шевченко, 81/11

(111) 1640

(210) 15201615

(151) 01.10.2015

(540)

(220) 17.08.2015

(180) 17.08.2025



(526) Производственная маркировка.

(511)

32 – пиво; минеральные и газированные воды и прочие безалкогольные напитки; фруктовые напитки и фруктовые соки; сиропы и прочие составы для изготовления напитков.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Матикс»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 20, кв. 2

(111) 1641

(210) 15201623

(151) 09.10.2015

(540)

(220) 08.10.2015

(180) 08.10.2025

MARBELLA

(511)

34 – табак; курительные принадлежности; спички.

35 – ведение бухгалтерских документов; выписка счетов; демонстрация товаров; запись сообщений; изучение общественного мнения; изучение рынка; информация деловая; информация и советы коммерческие потребителям [информация потребительская товарная]; исследования в области бизнеса; исследования конъюнктурные; исследования маркетинговые; комплектование штата сотрудников; консультации по вопросам организации управления бизнесом; консультации по организации бизнеса; консультации по управлению бизнесом; консультации по управлению персоналом; консультации профессиональные в области бизнеса; макетирование рекламы; маркетинг; менеджмент в области творческого бизнеса.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Матикс»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 20, кв. 2

(111) 1642

(210) 15201624

(220) 08.10.2015

(151) 09.10.2015

(180) 08.10.2025

(540)

MILAND

(511)

34 – табак; курительные принадлежности; спички.

35 – ведение бухгалтерских документов; выписка счетов; демонстрация товаров; запись сообщений; изучение общественного мнения; изучение рынка; информация деловая; информация и советы коммерческие потребителям [информация потребительская товарная]; исследования в области бизнеса; исследования конъюнктурные; исследования маркетинговые; комплектование штата сотрудников; консультации по вопросам организации управления бизнесом; консультации по организации бизнеса; консультации по управлению бизнесом; консультации по управлению персоналом; консультации профессиональные в области бизнеса; макетирование рекламы; маркетинг; менеджмент в области творческого бизнеса.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Матикс»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 20, кв. 2

(111) 1643

(210) 15201625

(220) 08.10.2015

(151) 09.10.2015

(180) 08.10.2025

(540)

ARKA

(511)

34 – табак; курительные принадлежности; спички.

35 – ведение бухгалтерских документов; выписка счетов; демонстрация товаров; запись сообщений; изучение общественного мнения; изучение рынка; информация деловая; информация и советы коммерческие потребителям [информация потребительская товарная]; исследования в области бизнеса; исследования конъюнктурные; исследования маркетинговые; комплектование штата сотрудников; консультации по вопросам ор-

ганизации управления бизнесом; консультации по организации бизнеса; консультации по управлению бизнесом; консультации по управлению персоналом; консультации профессиональные в области бизнеса; макетирование рекламы; маркетинг; менеджмент в области творческого бизнеса.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Матикс»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 20, кв. 2

(111) 1644

(210) 15201626

(220) 08.10.2015

(151) 09.10.2015

(180) 08.10.2025

(540)

DUBAU

(511)

34 – табак; курительные принадлежности; спички.

35 – ведение бухгалтерских документов; выписка счетов; демонстрация товаров; запись сообщений; изучение общественного мнения; изучение рынка; информация деловая; информация и советы коммерческие потребителям [информация потребительская товарная]; исследования в области бизнеса; исследования конъюнктурные; исследования маркетинговые; комплектование штата сотрудников; консультации по вопросам организации управления бизнесом; консультации по организации бизнеса; консультации по управлению бизнесом; консультации по управлению персоналом; консультации профессиональные в области бизнеса; макетирование рекламы; маркетинг; менеджмент в области творческого бизнеса.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Матикс»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 20, кв. 2

(111) 1645

(210) 15201627

(220) 08.10.2015

(151) 09.10.2015

(180) 08.10.2025

(540)

MILANO

(511)

34 – табак; курительные принадлежности; спички.

35 – ведение бухгалтерских документов; выписка счетов; демонстрация товаров; запись сообщений; изучение общественного мнения; изучение рынка; информация деловая; информация и советы коммерческие потребителям [информация потребительская товарная]; исследования в области бизнеса; исследования конъюнктурные; исследования маркетинговые; комплектование штата сотрудников; консультации по вопросам организации управления бизнесом; консультации по организации бизнеса; консультации по управлению бизнесом; консультации по управлению персоналом; консультации профессиональные в области бизнеса; макетирование рекламы; маркетинг; менеджмент в области творческого бизнеса.

(730) Закрытое акционерное общество «Тираспольская ассоциация электронных технологий «ТирАЭТ»,

г. Тирасполь, ул. Восстания, д. 46

(111) 1646

(210) 15201619

(151) 09.10.2015

(540)

(220) 14.09.2015

(180) 14.09.2025



(526) КОМПЬЮТЕРЫ.

(511)

9 – оборудование для обработки информации и компьютеры; программы для компьютеров.

35 – продвижение товаров (для третьих лиц).

Объекты авторского права

№ п/п	Наименование объекта	Ф.И.О. автора	Дата регистрации
1	2	3	4
258	Документальный фильм «Август», посвященный Яско-Кишиневской операции	И.В. Авренев	03.09.2015
259	Справочник «Почвы Приднестровья»	А.Н. Мунтян	24.09.2015
260	Название печатного издания «А у нас на округе»	А.В. Губарева	30.09.2015
261	Экологические карты города Тирасполь	Е.В. Сокольская	01.10.2015
262	Методика прибыльной торговли на валютной бирже «Форекс»	А.И. Попик	08.10.2015
263	Научная работа «Оценка эрозии почв Приднестровья»	А.И. Мунтян	12.10.2015
264	Научная работа «Противоэрозионное обустройство земель Приднестровья» (комплекс расчетных материалов, отображенных в виде таблиц и карт)	А.И. Мунтян и Е.А. Аникеев	12.10.2015

Передача права на использование объекта интеллектуальной собственности (договоры)

1. № 74/247 Передаточный акт уступки (отчуждения) товарного знака по свидетельству № 247 (заявка № 00200208) с приоритетом от 28 ноября 2000 года в отношении всех товаров, указанных в свидетельстве. Дата регистрации договора – 29.07.2015. **Правообладатель – Бритиш Американ Тобэкко Экспорт Б.В. (British American Tobacco Exports B.V.)**, Ханделсвег 53А, Амстелвеен 1181 ЗА, Нидерланды (Handelsweg 53A, Amstelveen, 1181 ZA, The Netherlands (NL)). **Правопреемник – Скандинавиэн Тобэкко**

Групп Ассенс А/С (SCANDINAVIAN TOBACCO GROUP ASSENS A/S), Тобаксвей 1, 5610 Ассенс, Дания (Tobaksvej 1, 5610 Assens, Denmark (DK)).

Территория действия договора – Приднестровская Молдавская Республика.

2. № 75/1609 Неисключительная лицензия на использование товарного знака по свидетельству № 1609 (заявка 15201589) с приоритетом от 14 апреля 2015 года в отношении всех товаров и услуг, указанных в свидетельстве. Дата регистрации договора – 21.08.2015. Лицензиар – Приднестровский республиканский банк, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 71. Лицензиат – открытое акционерное общество «Экспортно-импортный банк», г. Тирасполь, ул. Свердлова, д. 80а.

Территория действия договора – Приднестровская Молдавская Республика.

Срок действия договора – до момента прекращения лицензиатом участия в Национальной платежной системе (НПС).

3. Расторжение лицензионного договора № 57/839 от 31.10.2012 между лицензиаром – Муниципальным унитарным предприятием «Бендерский магазин „Аурелола“», 3200, г. Бендеры, ул. Коммунистическая, д. 63 и лицензиатом – обществом с ограниченной ответственностью «Тигина маркет плюс», 3200, г. Бендеры, ул. Кишиневская, д. 30, кв. 2.

ИЗВЕЩЕНИЯ

1. В перечень товаров в свидетельстве № 1543 (заявка № 14201504) с приоритетом от 7 марта 2014 года на товарный знак внесены следующие изменения:

(511)

09 – компьютеры; портативные компьютеры; миникомпьютеры; компьютерное аппаратное обеспечение; интегральные схемы; память (запоминающие устройства) на интегральных схемах; чипы интегральных схем; наборы микросхем для компьютеров; полупроводниковые процессоры; чипы полупроводниковых процессоров; полупроводниковые чипы; микропроцессоры; печатные платы; печатные платы, а именно платы интегральных схем, платы печатных схем и платы электрических схем; электронные платы; компьютерные материнские платы; компьютерные запоминающие устройства; операционные системы; микроконтроллеры; процессоры обработки данных; центральные блоки обработки информации; полупроводниковые запоминающие устройства, полупроводниковые запоминающие устройства и блоки полупроводниковых запоминающих устройств; программно-управляемые процессоры; цифровые и оптические микропроцессоры; компьютерное периферийное оборудование; платы видеосхем; платы аудиосхем; платы аудиовидеосхем; видеографические акселераторы; мультимедийные акселераторы; видеопроцессоры; платы видеопроцессоров; память для хранения данных; электронные устройства защиты и устройства наблюдения; компьютерное аппаратное обеспечение, компьютерные чипы и микропроцессоры, оптимизированные для электронного наблюдения за безопасностью; программное обеспечение для компьютерной операционной системы; компьютерные операционные системы; расширения, инструменты и утилиты компьютерной системы в области прикладного программного обеспечения для соединения персональных компьютеров, сетей, телекоммуникационной аппаратуры и приложений всемирной компьютерной сети, исключая динамическое, цифровое, настольное и другое программное обеспечение для издательских систем; компьютеризированное телекоммуникационное и сетевое оборудование, состоящее

из программного обеспечения операционной системы; компьютерное аппаратное обеспечение и компьютерное программное обеспечение оборудование для повышения и обеспечения пересылки, передачи, приема, обработки и оцифровывания аудио- и видеографической информации в режиме реального времени, исключая динамическое, цифровое, настольное и другое программное обеспечение для издательских систем; компьютерное сервисное программное обеспечение (утилиты) и другое компьютерное программное обеспечение, используемое для обслуживания и функционирования компьютерных систем, исключая динамическое, цифровое, настольное и другое программное обеспечение для издательских систем; компьютерные установки; платы памяти; персональные цифровые помощники; портативные и карманные электронные персональные органайзеры; устройства хранения, а именно флэш-ки, флэш-диски и флэш-накопители; системы безопасности для компьютерного программного обеспечения и компьютерного аппаратного обеспечения, а именно межсетевые экраны, аппаратное обеспечение для сервера сетевого доступа для создания и поддержки межсетевых экранов, компьютерное аппаратное обеспечение для виртуальной частной сети (VPN) и компьютерное операционное программное обеспечение для серверов для создания и поддержки межсетевых экранов; программное обеспечение для безопасности компьютерных сетей; программное обеспечение для контроля и безопасности доступа; компьютерное аппаратное обеспечение и программное обеспечение, используемое для защиты компьютерных сетей от хищения или повреждения данных незарегистрированными пользователями; компоненты для компьютеров; компьютерные платы для голосового ускорителя; компьютерные платы для голосового ускорителя, ускорителя данных, изображения и видеоускорителя; платы флэш-памяти и карты флэш-памяти; телекоммуникационное оборудование и компьютерные сети, а именно системы обработки и операционные системы; телекоммуникационные устройства и приборы, а именно компьютерные маршрутизаторы, концентраторы, серверы и коммутаторы; компьютерное аппаратное обеспечение и программное обеспечение для разработки, поддержки и использования локальных и глобальных компьютерных сетей; компьютерные приставки к телевизору; электронные устройства управления для интерфейса и управления компьютерами и глобальным компьютером и телекоммуникационными сетями с телевизионным и кабельным вещанием и оборудованием; аппаратура для тестирования и программирования интегральных схем; аппараты и устройства компьютерной периферийной памяти; компьютерные серверы фиксированной функции; компьютерное сетевое оборудование; компьютерные аппаратное обеспечение и программное обеспечение для создания, облегчения и управления удаленным доступом и связи с локальными сетями (LANs), виртуальными частными сетями (VPN), глобальными сетями (WANs) и глобальными компьютерными сетями; операционное программное обеспечение для маршрутизатора, коммутатора, концентратора и сервера; компьютерное программное и аппаратное обеспечение для использования при предоставлении многопользовательского доступа к глобальной компьютерной информационной сети для поиска, выборки, пересылки, передачи, обработки и распространения разнообразного алгоритмического программного обеспечения для работы и управления компьютерами; компьютерное оборудование и программное обеспечение для беспроводной сетевой связи; комплектующие детали и фитинги для всех вышеупомянутых товаров; инструкции по эксплуатации, продаваемые вместе с вышеупомянутыми товарами, и электронные инструкции по эксплуатации, скачиваемые из глобальной компьютерной сети.

2. В перечень товаров в свидетельстве № 1577 (заявка № 14201549) с приоритетом от 2 октября 2014 года на товарный знак внесены следующие изменения:

(511)

10 – датчики, мониторинговые компоненты и устройства для сбора биометрических и физиологических данных; измерители пульса; кардиомониторы и мониторы сна; приборы для измерения кровяного давления; инструменты и устройства для измерения физического состояния.

3. Адрес владельца в свидетельстве № **1396** (заявка № 12201374) с приоритетом от 4 декабря 2012 года на товарный знак изменен на следующий:

(730) – 3200 г. Бендеры, ул. Коммунистическая, д. 45.

4. Срок действия свидетельства № **651** (заявка № 05200581) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

5. Срок действия свидетельства № **664** (заявка № 05200595) с приоритетом от 24 июня 2005 года на товарный знак продлен с 24 июня 2015 года на 10 лет.

6. Срок действия свидетельства № **653** (заявка № 05200585) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

7. Срок действия свидетельства № **650** (заявка № 05200580) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

8. Срок действия свидетельства № **643** (заявка № 05200568) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

9. Срок действия свидетельства № **644** (заявка № 05200570) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

10. Срок действия свидетельства № **645** (заявка № 05200571) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

11. Срок действия свидетельства № **646** (заявка № 05200572) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

12. Срок действия свидетельства № **647** (заявка № 05200574) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

13. Срок действия свидетельства № **648** (заявка № 05200578) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

14. Срок действия свидетельства № **652** (заявка № 05200584) с приоритетом от 19 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 19 мая 2015 года на 10 лет.

15. Срок действия свидетельства № **698** (заявка № 05200632) с приоритетом от 15 сентября 2005 года на товарный знак продлен с 15 сентября 2015 года на 10 лет.

16. Срок действия свидетельства № **699** (заявка № 05200633) с приоритетом от 15 сентября 2005 года на товарный знак продлен с 15 сентября 2015 года на 10 лет.

17. Срок действия свидетельства № **703** (заявка № 05200637) с приоритетом от 4 октября 2005 года на товарный знак продлен с 4 октября 2015 года на 10 лет.

18. Срок действия свидетельства № **705** (заявка № 05200639) с приоритетом от 4 октября 2005 года на товарный знак продлен с 4 октября 2015 года на 10 лет.

19. Срок действия свидетельства № **724** (заявка № 05200649) с приоритетом от 11 октября 2005 года на товарный знак продлен с 11 октября 2015 года на 10 лет.

20. Срок действия свидетельства № **726** (заявка № 05200651) с приоритетом от 11 октября 2005 года на товарный знак продлен с 11 октября 2015 года на 10 лет.

21. Срок действия свидетельства № **635** (заявка № 05200558) с приоритетом от 14 марта 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 14 марта 2015 года на 10 лет.

22. Срок действия свидетельства № **660** (заявка № 05200603) с приоритетом от 27 мая 2005 года на товарный знак восстановлен и продлен с 27 мая 2015 года на 10 лет.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

<i>О.Ф. Васильева, П.И. Хаджи.</i> ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ТУННЕЛИРОВАНИЯ БОЗЕ-КОНДЕНСИРОВАННЫХ АТОМОВ	3
<i>А.В. Коровай, П.И. Хаджи.</i> ПРОПУСКАНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛЕНКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКА В УСЛОВИЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭКСИТОНОВ И БИЭКСИТОНОВ	10
<i>Д.А. Марков, Л.Ю. Надькин, П.И. Хаджи.</i> УСИЛЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗОНАНСНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭКСИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ	26
<i>Л.Ю. Надькин, Д.А. Марков, П.И. Хаджи.</i> ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ЭКСИТОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА	31
<i>Э.А. Сенокосов, В.И. Чуquita, И.Н. Один, М.В. Чукичев.</i> СВЯЗЬ КВАНТОВОГО ВЫХОДА КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ С УСЛОВИЯМИ ВЫРАЩИВАНИЯ В КВАЗИЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ n -CdSe/СЛЮДА И УРОВНЕМ ИХ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ	41
<i>И.А. Флоря, Н.Н. Дидурик.</i> КВАЗИГРУППЫ ШРЕДЕРА	49
<i>К.Д. Ляхомская.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В «ДВУМЕРНОМ» МАССИВЕ СВЕТОВОДОВ	53
<i>М.С. Токарь, А.Л. Макаревич.</i> ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МНОГОАНТЕННЫХ РАДИОСИСТЕМ	59
<i>А.Л. Макаревич, С.М. Соковнич, М.С. Токарь.</i> СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В МИКРОСХЕМАХ НА КМОП-ТРАНЗИСТОРАХ	69
<i>Е.Г. Шинкаренко, Г.Х. Гайдаржи.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ – ОСНОВА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ	73
<i>В.М. Ишимов, Ф.И. Карабаджак, И.В. Демиденко, А.В. Вербина.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СУЛЬФИДА КАДМИЯ	77
<i>Ю.А. Баренгольц.</i> ТАБУЛИРУЕМЫЕ ФУНКЦИИ В УРАВНЕНИИ АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ	81
<i>С. Гроздев, В. Ненков, А.А. Русаков.</i> ФОРМИРАНЕ НА ЗНАНИЯ ВЪРХУ КРИВИТЕ ОТ ВТОРА СТЕПЕН	83

ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

<i>Ю.А. Долгов, А.Ю. Долгов, Е.В. Терещенко.</i> МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ФЕХНЕРА КАК МЕРА ТЕСНОТЫ ЛИНЕЙНОЙ СВЯЗИ	92
--	----

<i>О.М. Фурдуй, А.В. Деткова.</i> РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ» НА ОСНОВЕ ГОС-3	98
<i>Н.И. Корнейчук.</i> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ	103
<i>А.В. Кирсанова, А.И. Паламарчук.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАБОРОМ ПАРАМЕТРОВ ПАЦИЕНТА И СЛОЖНОСТЬЮ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ	109
<i>А.В. Кирсанова, А.И. Паламарчук.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	115
<i>А.В. Кирсанова, С.И. Бурдиян.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧИ SAT ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ.	119
<i>С.Г. Федорченко, О.С. Белоконь.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПОРТРЕТА НАПРАВЛЕНИЯ	124
<i>Н.В. Дмитриева, И.П. Агафонова.</i> ГАЗОПРОВОДЫ г. БЕНДЕРЫ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	133

ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

<i>Л.Г. Сенокосова, Д.П. Осадчук.</i> ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РЕСУРСОВ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА КАК ИСТОЧНИК СНИЖЕНИЯ БАНКОВСКОГО РИСКА.	139
<i>Т.П. Стасюк, В.Н. Черныш.</i> НЕОБХОДИМОСТЬ, СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕТНОЙ ПОЛИТИКИ БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ	144
<i>Н.В. Зеленин.</i> СОСТОЯНИЕ РЫНКА АУДИТОРСКИХ УСЛУГ В ПРИДНЕСТРОВСКОЙ МОЛДАВСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ И МЕРЫ ПО ЕГО РАЗВИТИЮ В РАМКАХ ГАРМОНИЗАЦИИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПРИДНЕСТРОВЬЯ И РОССИИ.	150
<i>М.И. Трач, Л.Д. Мельничук, Д.М. Трач.</i> НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НОВЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	157
<i>В.В. Лабунский.</i> ХАРАКТЕР И ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИДНЕСТРОВСКОЙ МОЛДАВСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	163
<i>А.В. Кривенко, В.Г. Фоменко, М.П. Бурла.</i> ЭТНИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАСЕЛЕНИЯ ПМР: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ	169
<i>Г.Г. Мамедов.</i> ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО В ПРИДНЕСТРОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО В 2006–2013 ГОДАХ	179

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, зарегистрированных в Министерстве юстиции Приднестровской Молдавской Республики	192
---	-----

Научно-методический журнал

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия: **Физико-математические и технические науки**

Редактор *Ю.Н. Ткаченко*
Компьютерная верстка *А.Н. Федоренко*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.
Подписано в печать 16.12.2015. Формат 70×100/16.
Уч.-изд. л. 13,5. Усл. печ. л. 17,42. Тираж 500 экз. Заказ №

Изд-во Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18.