

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(75), 2023

Выходит три раза в год

Тирасполь

*Издательство
Приднестровского
Университета*

2023

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия: ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Государственное образовательное учреждение
«Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

В. В. СОКОЛОВ, д-р экон. наук, проф. (ответственный редактор)
И. П. КАПИТАЛЬЧУК, канд. геогр. наук, доц. (зам. ответственного редактора)
К. Д. ЛЯХОМСКАЯ, канд. физ.-мат. наук, доц. (ответственный секретарь)

С. И. БЕРИЛ, д-р физ.-мат. наук, проф.
Л. Г. СЕНОКОСОВА, д-р экон. наук, проф.
А. И. ДИКУСАР, д-р хим. наук, проф.
Ф. Ю. БУРМЕНКО, канд. техн. наук, доц.
О. В. КОРОВАЙ, канд. физ.-мат. наук, доц.
Д. А. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, доц.
Д. А. МАРКОВ, канд. физ.-мат. наук, доц.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

М. В. КИОРСАК, д-р хим. наук, проф. каф. электроэнергетики и электротехники Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко
В. И. ДАНЕЛЮК, канд. техн. наук, доц. каф. технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры
В. И. АВЕРЧЕНКОВ, канд. техн. наук, проф., зав. каф. компьютерных технологий и систем Брянского государственного технического университета
Т. В. ВОРОНЧЕНКО, д-р экон. наук, проф., зав. каф. бухгалтерского учета и аудита Российской академии предпринимательства
Л. Б. ВАРДОМСКИЙ, д-р экон. наук, проф., руководитель Центра постсоветских исследований Института экономики Российской академии наук
В. Т. ЕРЕМЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф. электроники и информационной безопасности Орловского государственного университета им. И. С. Тургенева

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом по информации и печати ПМР 25.04.1997 г.
Регистрационный № 29/97

Вестник Приднестровского университета [Электронное издание] / Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2023. – Текст. Изображение: электронные.

Сер.: Физико-математические и технические науки: № 3(75), 2023. – 320 с.

Системные требования: Windows OS, HDD, 64 Mb, Adobe Acrobat.

E-ISSN 2345-1548

5:378.4(478-24)(082)

П 71

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
3300, г. Тирасполь, 25 Октября, 107

E-ISSN 2345-1548

© ПГУ им. Т. Г. Шевченко, 2023

ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

УДК 537.212:537.533.2

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ.

Часть I. ОБРАЗОВАНИЕ БИПОЛЯРОНОВ В КВАНТОВЫХ СЛОЯХ FeSe В СВЕРХСТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃

С. И. Берил, А. С. Старчук

Теоретически исследован механизм возникновения высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в периодических многослойных структурах (сверхрешетках), образованных на основе «сэндвичей Гинзбурга» SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃. Теория биполяронных состояний большого радиуса развита на основе точного гамильтониана электрон-фононного взаимодействия для композиционных сверхрешеток, адаптированного к многослойным периодическим структурам на основе FeSe(монослой)/SrTiO₃. Показано, что в сверхструктуре на основе SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ может наблюдаться эффект повышения T_c в слоях FeSe в сравнении с исследованным случаем трехслойной структуры SrTiO₃/FeSe(монослой)/SrTiO₃.

Ключевые слова: биполяроны, электрон-фононное взаимодействие, многослойные структуры, квантовые слои.

HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN MULTILAYER PERIODIC SUPERSTRUCTURES

PART I. FORMATION BIPOLARONS IN QUANTUM LAYERS FeSe IN SUPERSTRUCTURE BASED ON SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃

S. I. Beril, A. S. Starchuk

The mechanism of occurrence of high-temperature superconductivity (HTS) in periodic multilayer structures (superlattices) formed on the basis of “Ginzburg sandwiches” SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ is theoretically investigated. The theory of large-radius bipolaronic states is developed on the basis of the exact electron-phonon interaction Hamiltonian for composite superlattices adapted to multilayer periodic structures based on FeSe(monolayer)/SrTiO₃. It is shown that in a superstructure based on FeSe/SrTiO₃, the effect of increasing T_c in FeSe layers can be observed, in comparison with the studied case of the three-layer structure SrTiO₃/FeSe(monolayer)/SrTiO₃.

Keywords: bipolarons, electron-phonon interaction, multilayer structures, quantum layers.

1. Введение

Возможность реализации ВТСП в многослойных структурах типа «сэндвичи Гинзбурга» была предсказана в работах [1,2]. В недавно проведенном исследовании биполярного механизма ВТСП в «сэндвичах Гинзбурга» $\text{SrTiO}_3/\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$, $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$ [3] было показано, что экспериментально обнаруженная ВТСП в структурах типа $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$ [4–6] может быть объяснена на основе биполярного механизма. В работе [7] рассмотрены возможные подходы увеличения T_c в монослоях FeSe на подложках SrTiO_3 (или BaTiO_3) за счет создания многослойных структур на основе «сэндвичей Гинзбурга»: монослой $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$, а также в многослойных периодических структурах типа монослой $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3/\text{TiO}_{2-x}$ /монослой FeSe . Предполагается, что наличие многих слоев ($N \gg 1$) приведет к эффективному увеличению константы электрон-фононной связи за счет взаимодействия электронов из слоя FeSe с оптическими фононами других слоев: SrTiO_3 , TiO_{2-x} , SrO . Как отмечалось в большом системном обзоре [8], наличие этих полярных слоев будет служить хорошей защитой проводящих слоев FeSe от внешних воздействий. К весьма перспективным также могут быть отнесены многослойные структуры (сверхструктуры) на основе: монослой $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$. Следует отметить, что биполярная модель сверхпроводимости на основе теории бозе-конденсации биполяронов [9] была применена в работе [10] для объяснения возникновения ВТСП в соединениях BaLaCuO .

Представляет большой прикладной интерес исследование биполярного механизма ВТСП в многослойной периодиче-

ской структуре, образованной чередованием «сэндвичей Гинзбурга» типа $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$.

2. Теория биполяронов большого радиуса в многослойных периодических структурах

Рассматривается периодическая структура, образованная чередованием тонких слоев – слой b толщиной l_b , со статической и высокочастотной диэлектрическими проницаемостями ϵ_{b0} , ϵ_b , на который нанесен тонкий слой FeSe (a) толщиной l_a с диэлектрической проницаемостью ϵ_a .

2.1. Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия в многослойной периодической структуре на основе тонких слоев $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$

В основу теории положен точный гамильтониан электрон-фононного взаимодействия [11, 12] для многослойных периодических структур. Адаптируя общее выражения для гамильтониана (формулы (5.15.27)–(5.15.32) из [12]) к рассматриваемому случаю периодической многослойной структуры, образованной чередованием тонких слоев FeSe , запишем гамильтониан для электрона в слое FeSe , взаимодействующего с пространственно-протяженными оптическими колебаниями, создаваемыми чередующимися полярными слоями SrTiO_3 , в многослойной периодической сверхструктуре $\text{FeSe}/\text{SrTiO}_3$ в виде:

$$\hat{H}_{n-S} = -\frac{e}{\sqrt{\epsilon_0}} \sum_{\mathbf{q}} e^{i(\mathbf{q}, \mathbf{r})} \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\hbar}{2\eta L_x L_y}} \cdot \frac{1}{2 \operatorname{sh}\left(\frac{\eta l_a}{2}\right)} \times$$

$$\begin{aligned}
 & \times \sum_{\kappa} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\Omega_1(\kappa, \boldsymbol{\eta})}} \times [L_{1a,1b0}(\kappa) \operatorname{ch}(\eta z) + \right. \\
 & \quad \left. + L_{2a,1b0}(\kappa) \operatorname{sh}(\eta z) + \right. \\
 & \quad \left. + (L_{1a,2b0}(\kappa) \operatorname{ch}(\eta z) + L_{2a,2b0}(\kappa) \operatorname{sh}(\eta z)) \cdot \right. \\
 & \quad \left. \cdot \left(-\frac{N_{12}}{N_{11}} \right) \right] \cdot \left(1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times \\
 & \quad \times (\hat{b}_1^+(-\kappa, -\boldsymbol{\eta}, 0) + \hat{b}_1(\kappa, \boldsymbol{\eta}, 0) + \\
 & \quad + \frac{1}{\sqrt{\Omega_2(\kappa, \boldsymbol{\eta})}} \times [(L_{1a,1b0}(\kappa) \operatorname{ch}(\eta z) + \\
 & \quad + L_{2a,1b0}(\kappa) \operatorname{sh}(\eta z)) \cdot \left(-\frac{N_{11}}{N_{12}} \right) + \\
 & \quad + (L_{1a,2b0}(\kappa) \operatorname{ch}(\eta z) + L_{2a,2b0}(\kappa) \operatorname{sh}(\eta z)) \times \\
 & \quad \times \left(1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times \\
 & \quad \times (\hat{b}_1^+(-\kappa, -\boldsymbol{\eta}, 0) + \hat{b}_2(\kappa, \boldsymbol{\eta}, 0)), \quad (1)
 \end{aligned}$$

где $\Omega_{1,2}(\kappa, \boldsymbol{\eta})$ – частоты пространственно-протяженных колебаний, которые имеют вид:

$$\begin{aligned}
 & \Omega_{1,2}^2(\kappa, \boldsymbol{\eta}) = A \pm \sqrt{A^2 - B}; \quad (2) \\
 & A = \omega_b^2 \left[1 + \frac{(\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b) \eta}{2(v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L))} \times \right. \\
 & \quad \times \left\{ \operatorname{th} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right) \times (v + \mu_a \cos(\kappa L) + \mu_b) + \right. \\
 & \quad \left. \left. + \operatorname{cth} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right) (v - \mu_a \cos(\kappa L) - \mu_b) \right\} \right]; \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & B = \omega_b^4 \left\{ \left[1 + (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b) \frac{\eta \operatorname{th} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right) (v + \mu_a \cos(\kappa L) + \mu_b)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L)} \right] \times \right. \\
 & \quad \times \left[1 + (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b) \frac{\eta \operatorname{cth} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right) (v - \mu_a \cos(\kappa L) - \mu_b)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L)} \right] - \\
 & \quad \left. - (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b)^2 \frac{\eta^2 \mu_a^2 \sin^2(\kappa L)}{(v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L))^2} \right\}; \quad (4) \\
 & \mu_{a,b} = \frac{\eta \varepsilon_{a,b}}{\operatorname{sh}(\eta l_{a,b})}; v = \eta (\varepsilon_a \operatorname{cth}(\eta l_a) + \\
 & \quad + \varepsilon_b \operatorname{cth}(\eta l_b)); L = l_a + l_b; \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_{1a,1b0}(\kappa) = -\sqrt{2} \omega_b \sqrt{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b} \sqrt{\operatorname{th} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right) \operatorname{th} \left(\frac{\eta l_a}{2} \right)} \times \\
 & \quad \times \frac{\eta (v + \mu_a + \mu_b) \cos \left(\frac{\kappa L}{2} \right)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L)}; \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_{2a,1b0}(\kappa) = -i\sqrt{2} \omega_b \sqrt{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b} \sqrt{\operatorname{th} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right)} \times \\
 & \quad \times \frac{\eta (v - \mu_a + \mu_b) \sin \left(\frac{\kappa L}{2} \right)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L)}; \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & L_{1a,2b0}(\kappa) = i\sqrt{2} \omega_b \sqrt{\frac{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b}{\operatorname{th} \left(\frac{\eta l_b}{2} \right)}} \operatorname{th} \left(\frac{\eta l_a}{2} \right) \times \\
 & \quad \times \frac{\eta (v + \mu_a - \mu_b) \sin \left(\frac{\kappa L}{2} \right)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a \mu_b \cos(\kappa L)}; \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$L_{2a,2b0}(\kappa) = \sqrt{2}\omega_b \sqrt{\frac{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b}{\operatorname{th}\left(\frac{\eta l_b}{2}\right)}} \times \frac{\eta(v - \mu_a - \mu_b) \cos\left(\frac{\kappa L}{2}\right)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a\mu_b \cos(\kappa L)}; \quad (9)$$

$$N_{11}(\omega, \kappa) = \omega^2 - \omega_b^2 \times \left[1 + (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b) \operatorname{th}\left(\frac{\eta l_b}{2}\right) \times \frac{\eta(v + \mu_a \cos(\kappa L) + \mu_b)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a\mu_b \cos(\kappa L)} \right]; \quad (10)$$

$$N_{12}(\omega, \kappa) = i\omega_b^2 (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b) \times \frac{\eta \cdot \mu_a \sin(\kappa L)}{v^2 - \mu_a^2 - \mu_b^2 - 2\mu_a\mu_b \cos(\kappa L)}. \quad (11)$$

На рис. 1 приведены дисперсионные кривые для поверхностных пространственно-протяженных оптических колебаний в многослойных периодических структурах на основе «сэндвичей Гинзбурга» FeSe/SrTiO₃.

Если $l_a \sim a_0$, где a_0 – размер элементарной ячейки, то формулы (2)–(4) преобразуются в следующий вид:

$$A = \omega_b^2 \frac{\varepsilon_{b0} + \varepsilon_b}{2\varepsilon_b}; \quad B = \omega_b^4 \frac{\varepsilon_{b0}}{\varepsilon_b}; \quad (12)$$

$$\Omega_{1,2}^2(\kappa, \boldsymbol{\eta}) = \omega_b^2 \left(\frac{\varepsilon_{b0} + \varepsilon_b}{2\varepsilon_b} \pm \frac{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_b}{2\varepsilon_b} \right), \quad (13)$$

откуда для каждой из частот получаем:

$$\Omega_1^2(\kappa, \boldsymbol{\eta}) = \omega_b^2 \left(\frac{\varepsilon_{b0}}{\varepsilon_b} \right) = \omega_{LO}^2; \quad \Omega_2^2(\kappa, \boldsymbol{\eta}) = \omega_b^2 = \omega_{TO}^2,$$

где ω_{LO} , ω_{TO} – соответственно частота продольных и поперечных оптических колебаний в кристалле SrTiO₃.

Полный гамильтониан рассматриваемой многослойной периодической структуры на основе FeSe/SrTiO₃ с двумя электронами в слое FeSe имеет вид:

$$\hat{H} = \hat{K}_{e_1} + \hat{K}_{e_2} + V(\rho, z_{e_1}, z_{e_2}) + V_{SA}(z_{e_1}, z_{e_2}) + \hat{H}_{ph}^S + \hat{H}_{e_1-ph}^S + \hat{H}_{e_2-ph}^S + V_B(z_{e_1}, z_{e_2}), \quad (15)$$

где \hat{K}_{e_n} , $n=1,2$ – операторы кинетических энергий электронов:

$$\hat{K}_{e_n} = \frac{\hat{p}_{\parallel e_n}^2}{2m_{e_{\parallel}}^*} + \frac{\hat{p}_{\perp e_n}^2}{2m_{e_{\perp}}^*} \quad (16)$$

(обозначения « \parallel » и « \perp » относятся соответственно к параллельному и перпендикулярному оси z направлениям; последняя перпендикулярна границам слоев a и b).

Поместим начало системы координат в середину слоя a (слои FeSe), тогда в пределах слоя выполняется неравенство для координат электронов:

$$-\frac{l_a}{2} \leq z_{e_1, e_2} \leq \frac{l_a}{2}.$$

Потенциальная энергия, обусловленная прямым взаимодействием электронов и взаимодействием каждого из электронов в слое a с быстрой поляризацией, наведенной электронами в соседних слоях a и b , имеет вид:

$$V(\rho, z_{e_1}, z_{e_2}) = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_a} \int_0^\infty d\eta J_0(\eta\rho) \{ e^{-\eta|z_{e_1} - z_{e_2}|} + \frac{1}{\operatorname{sh}(\eta l_a) \sqrt{\psi^2 - 1}} \left[e^{-\eta l_a} \sqrt{\psi^2 - 1} + \frac{\operatorname{ch}(\eta l_a)}{\psi + \sqrt{\psi^2 - 1}} \right] \}$$

$$-ch(\eta l_a)ch(z_{e_1} - z_{e_2}) + \left. + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a\varepsilon_b} sh(\eta l_a)sh(\eta l_b)ch(\eta(z_{e_1} + z_{e_2})) \right\}, (17)$$

где функция ψ определяется следующим выражением [19]:

$$\psi = ch(\eta l_a)ch(\eta l_b) + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a\varepsilon_b} sh(\eta l_a)sh(\eta l_b); (18)$$

$J_0(x)$ – функция Бесселя нулевого порядка; $V_{SA}(z_{e_1}, z_{e_2})$ – потенциальная энергия взаимодействия каждого электрона с наведенной им быстрой поляризацией слоев a и b в многослойной периодической структуре, энергия самовоздействия, имеющая вид

$$V_{SA}(z_{e_1, e_2}) = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_a} \int_0^\infty \frac{d\eta}{sh(\eta l_a)\sqrt{\psi^2 - 1}} \times$$

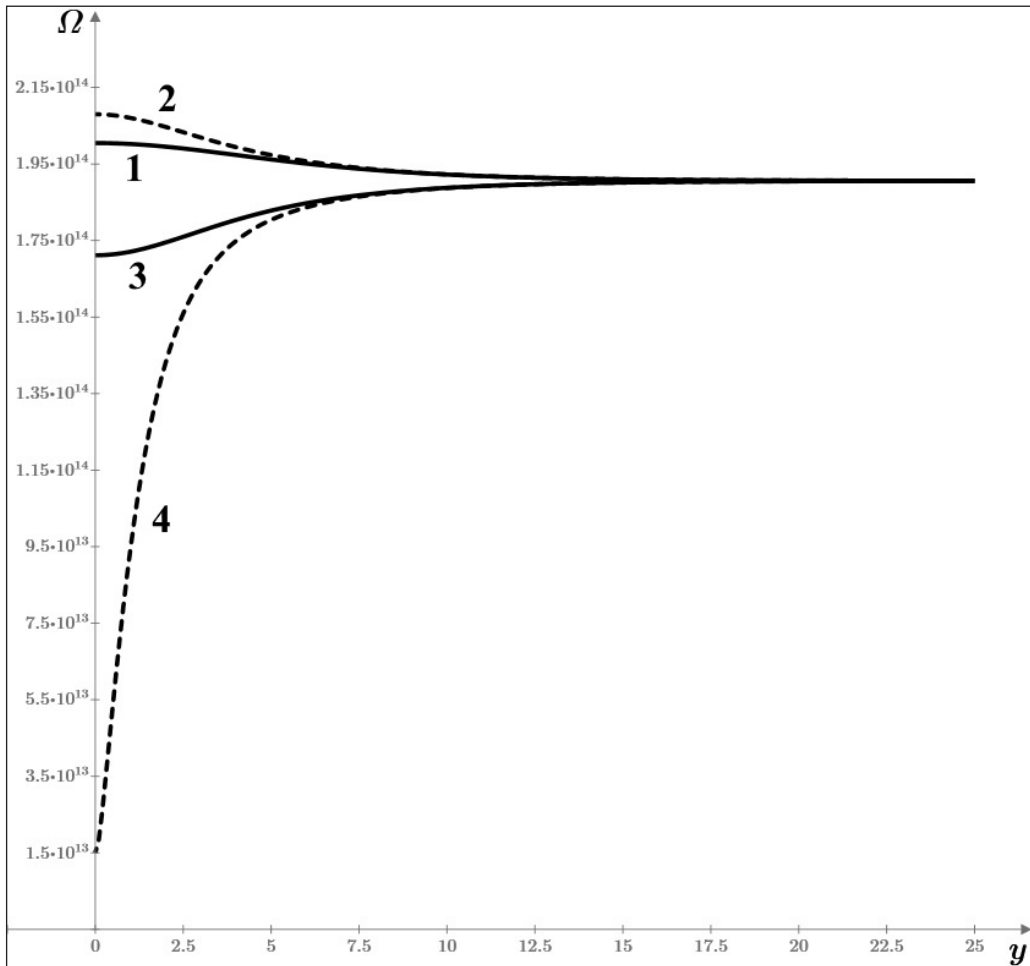


Рис. 1. Дисперсионные кривые для поверхностных пространственно-протяженных оптических колебаний в многослойных периодических структурах на основе «сэндвичей Гинзбурга» FeSe/SrTiO₃ для следующих значений параметров слоев: $l_a = 2$ нм; $l_b = 5$ нм. По горизонтальной оси отложена величина $y = \eta L$.

Кривая 1 – $\Omega_1(0, \eta L)$; кривая 2 – $\Omega_1(\pi, \eta L)$; кривая 3 – $\Omega_2(0, \eta L)$; кривая 4 – $\Omega_2(\pi, \eta L)$

$$\times \left[e^{-\eta l_a} \sqrt{\psi^2 - 1} + \frac{\text{ch}(\eta l_a)}{\psi + \sqrt{\psi^2 - 1}} - \right. \\ \left. - \text{ch}(\eta l_b) + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a \varepsilon_b} \text{sh}(\eta l_a) \text{sh}(\eta l_b) \text{ch}(2\eta z_{e_{1,2}}) \right];$$

\hat{H}_{ph}^S – оператор энергии поверхностных поляризационных оптических мод [11]:

$$\hat{H}_{ph}^S = \sum_{\eta, s=1,2} \hbar \Omega_s(\kappa, \eta) \hat{b}_{\eta, s}^+ \hat{b}_{\eta, s}, \quad (20)$$

где $\Omega_s(\kappa, \eta)$ – частоты поверхностных пространственно-протяженных оптических мод, которые находятся по формулам (2)–(5); $\hat{H}_{e_n-ph}^S$ ($n=1,2$) – гамильтониан взаимодействия электронов с поверхностными пространственно-протяженными оптическими модами, имеющий вид (1); $V_b(z_{e_1}, z_{e_2})$ ($n=1,2$) – потенциальная энергия электронов в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими барьерами:

$$V_b(z_{e_n})|_{n=1,2} = 0, -\frac{d}{2} < z_{e_n} < \frac{d}{2}; \quad (21a)$$

$$V_b(z_{e_n})|_{n=1,2} = \infty, z_{e_n} \leq -\frac{d}{2}, z_{e_n} \geq \frac{d}{2}. \quad (21б)$$

2.2. Эффективный

гамильтониан системы

Будем считать, что толщина l_a слоя a столь мала, что энергия размерного квантования электронов в этом слое намного больше энергии фононов и электрон-фононного взаимодействия. В этом приближении движение электронов вдоль оси z может рассматриваться как быстрое и волновые функции могут выбраны в виде,

описывающем основное размерно-квантованное состояние:

$$\psi(z_{e_1}, z_{e_2}) = \left(\frac{2}{l_a}\right) \cos\left(\frac{\pi z_{e_1}}{l_a}\right) \cos\left(\frac{\pi z_{e_2}}{l_a}\right). \quad (22)$$

После усреднения гамильтониана (15)–(21) на волновой функции (22) можно исключить переменные z_{e_1} и z_{e_2} и рассматривать квазидвумерную задачу с гамильтонианом

$$\hat{H}_1(\rho) = \langle \psi(z_{e_1}, z_{e_2}) | \hat{H}(\rho, z_{e_1}, z_{e_2}) | \psi(z_{e_1}, z_{e_2}) \rangle. \quad (23)$$

Выполняя интегрирование в (23), получим:

$$\hat{H}_1(\rho) = \frac{\hat{p}_{\parallel e_n}^2}{2m_{e_n}^*} + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_{e_n\perp}^* l_a^2} + \\ + \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_a} \int_0^\infty d\eta J_0(\eta\rho) \left\{ I_1(\eta l_a) + \right. \\ + \frac{1}{\text{sh}(\eta l_a) \sqrt{\psi^2 - 1}} \left[\left(e^{-\eta l_a} \sqrt{\psi^2 - 1} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\text{ch}(\eta l_a)}{\psi + \sqrt{\psi^2 - 1}} - \text{ch}(\eta l_a) \right) I_2(\eta l_a) + \right. \\ \left. \left. + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a \varepsilon_b} \text{sh}(\eta l_a) \text{sh}(\eta l_b) I_3(\eta l_a) \right] \right\} + \\ + \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_a} \int_0^\infty \frac{d\eta}{\text{sh}(\eta l_a) \sqrt{\psi^2 - 1}} \left[e^{-\eta l_a} \sqrt{\psi^2 - 1} + \right. \\ \left. + \frac{\text{ch}(\eta l_a)}{\psi + \sqrt{\psi^2 - 1}} - \text{ch}(\eta l_b) + \right. \\ \left. \left. + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a \varepsilon_b} \text{sh}(\eta l_a) \text{sh}(\eta l_b) I_4(\eta, l_a) \right] \right\} -$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{e}{\sqrt{\varepsilon_0}} \sum_{\kappa, \eta} e^{i(\eta, \rho)} \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\hbar}{2\eta L_x L_y}} \cdot \frac{1}{2 \operatorname{sh}\left(\frac{\eta l_a}{2}\right)} \times \\
& \times \sum_{\kappa} \left\{ \frac{I_4}{\sqrt{\Omega_1(\kappa, \eta)}} \left[L_{1a, 1b0}(\kappa, \eta) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + L_{1a, 2b0}(\kappa, \eta) \left(-\frac{N_{12}}{N_{11}} \right) \right] \times \right. \\
& \times \left(1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}} (\hat{b}_1^+(-\kappa, -\eta, 0) + \hat{b}_1(\kappa, \eta, 0) + \\
& \quad \left. + \frac{1}{\sqrt{\Omega_1(\kappa, \eta)}} \left[L_{1a, 1b0}(\kappa, \eta) \left(-\frac{N_{11}}{N_{12}} \right) + \right. \right. \\
& \quad \quad \left. \left. + L_{1a, 2b0}(\kappa, \eta) \right] \times \right. \\
& \times \left(1 + \left| \frac{N_{11}}{N_{12}} \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}} (\hat{b}_2^+(-\kappa, -\eta, 0) + \hat{b}_2(\kappa, \eta, 0)), \quad (24)
\end{aligned}$$

где:

$$\begin{aligned}
I_1(\eta l_a) &= ((96\pi^4 + 16\pi\eta^2 l_a^2) e^{-\eta l} + 96 \\
& + 96\pi^4 (\eta l_a - 1) + \pi^2 (52\eta^3 l_a^3 - 16\eta^2 l_a^2) + \\
& + 7\eta^5 l_a^5) / (2\eta^2 l_a^2 (4\pi^2 + \eta^2 l_a^2)^2); \quad (25)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{2,3}(\eta l_a) &= 64\pi^4 \operatorname{sh}^2\left(\frac{\eta l_a}{2}\right) / \\
& / (\eta^2 l_a^2 (4\pi^2 + \eta^2 l_a^2)^2); \quad (26)
\end{aligned}$$

$$I_4(\eta l_a) = \pi^2 \operatorname{sh}(\eta l_a) / (\eta l_a (\pi^2 + \eta^2 l_a^2)). \quad (27)$$

Выполним над гамильтонианом $\hat{H}_1(\rho)$ унитарное преобразование

$$\hat{H}_2(\rho) = \hat{U}_1^{-1} \hat{H}_1 \hat{U}_1, \quad (28)$$

где оператор преобразования \hat{U}_1 имеет вид $\hat{U}_1 = \exp \left\{ \sum_{\kappa, \eta, s=1,2} f(\kappa, \eta, \rho_{e_1}, \rho_{e_2}) \hat{b}_{s,\eta}^+ \hat{b}_{s,\eta} \right\}$. (29)

Здесь $f(\kappa, \eta, \rho_{e_1}, \rho_{e_2})$ – вариационные амплитуды смещения операторов фоновых мод.

При усреднении полученного гамильтониана \hat{H}_2 по фоновому вакууму $|\Phi_0\rangle$ получим эффективный гамильтониан, не содержащий фоновых переменных:

$$\hat{H}_3(\rho_{e_1}, \rho_{e_2}) = \langle \Phi_0 | \hat{H}_2 | \Phi_0 \rangle. \quad (30)$$

Выберем вариационные амплитуды смещения фоновых мод в (29) в виде, аналогичном [12–14,20]:

$$\begin{aligned}
f(\kappa, \eta, \rho_{e_1}, \rho_{e_2}) &= \frac{C(\eta) F_s(\eta)}{\hbar \Omega_s(\kappa, \eta)} \left\{ \frac{e^{i\eta \rho_{e_1}} + e^{i\eta \rho_{e_2}}}{1 + \eta^2 R_s^2} + \right. \\
& \quad \left. + \frac{\lambda}{(1 + \beta^2 \eta^2 R_s^2)^2} \right\}, \quad (31)
\end{aligned}$$

где λ и β – вариационные параметры,

$$R_s = \left(\frac{\hbar}{2m^* \Omega_s} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad s=1,2.$$

При $\lambda=0$ функция $f(\kappa, \eta, \rho_1, \rho_2)$ принимает форму амплитуды Хакена [15], с учетом специфического характера рассматриваемой системы. Множители $C(\eta)$ и $F_s(\eta)$ имеют вид:

$$C(\eta) = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{\hbar}{2\eta L_x L_y}} \cdot \frac{1}{\operatorname{sh}\left(\frac{\eta l_a}{2}\right)}.$$

$$F_{S_{1,2}}(\eta) = \frac{\pi^2 \operatorname{sh}\left(\frac{\eta l_a}{2}\right) \mathcal{L}_{1,2}(\kappa, \eta)}{\frac{\eta l_a}{4} \left(\frac{\eta^2 l_a^2}{16} + \pi^2\right) \hbar \Omega_1(\kappa, \eta)}. \quad (32)$$

Здесь $\mathcal{L}_1(\kappa, \eta)$, $\mathcal{L}_2(\kappa, \eta)$ имеют вид:

$$\mathcal{L}_1(\kappa, \eta) = \left[L_{1a,1b0}(\kappa, \eta) + L_{1a,2b0}(\kappa, \eta) \left(-\frac{N_{12}}{N_{11}}\right) \right] \left[1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (33)$$

$$\mathcal{L}_2(\kappa, \eta) = \left[L_{1a,1b0}(\kappa, \eta) \left(-\frac{N_{11}}{N_{12}}\right) + L_{1a,2b0}(\kappa, \eta) \right] \left[1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (34)$$

Второе слагаемое в формуле (31) введено в работах [12–14] с целью более точного описания распределения медленной поляризации, индуцированной полем двухзарядовой системы: два электрона в биполяроне [12,13] или электрон и дырка в экситоне [16,17]. Отметим, что вариационный параметр λ описывает величину поляризационного заряда, возникающего в двухэлектронной системе, который локализован вблизи центра масс. Вариационный параметр β учитывает размеры области, в которой распределены индуцированные поляронные заряды. В результате получаем эффективный гамильтониан системы:

$$\hat{H}_{eff} = E_0(l_a) - \sum_{n=1,2} \frac{\hbar^2}{2m_{e_{n\parallel}}} \Delta_{e_n} +$$

$$+ W_{eff}(\rho, l_a, l_b) + W_p(\rho, l_a, l_b) + E_p(l_a). \quad (35)$$

Слагаемое

$$E_0(l_a) = \sum_{n=1,2} \frac{\pi^2 \hbar^2}{m_{e_{n\parallel}} l_a^2} + \langle V_{SA} \rangle \quad (36)$$

включает в себя энергию основного уровня размерного квантования и энергию самовоздействия (формула (19)).

Слагаемое $W_{eff}(\rho, l_a, l_b)$ представляет собой эффективный потенциал электрон-фононного взаимодействия и включает в себя энергию $V_{e_1-e_2}(\rho, l_a, l_b)$ после усреднения гамильтониана (15) на волновой функции квантовой ямы шириной l_a и энергию взаимодействия каждого из электронов с индуцированной поляризацией:

$$W_{eff}(\rho, l_a, l_b) = V_{e_1, e_2}(\rho, l_a, l_b) + \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 l_a} \int_0^\infty dx J_0\left(\frac{x\rho}{l_a}\right) \cdot \{F_1^2(x) a_{11}(a_{11}-2) + F_2^2(x) a_{12}(a_{12}-2)\} dx, \quad (37)$$

где:

$$a_{1s}(x) = \left(1 + \frac{R_s^2 x^2}{l_a^2} \right)^{-1}, \quad s = 1, 2. \quad (38)$$

Слагаемое W_p в правой части выражения (35)

$$W_p(\rho_{e_1}, \rho_{e_2}, l_a) = \sum_{\substack{\kappa, \eta, n=1,2 \\ s=1,2}} |C(\eta) F_s(\eta)|^2 \times \left\{ (2a_{1s} - 1) 2a_{2s} \cos(\boldsymbol{\eta} \boldsymbol{\rho}_{e_n}) \right\} \quad (39)$$

определяется вторым членом в формуле (31):

$$a_{2s} = \lambda \left(1 + \beta^2 \eta^2 R_s^2\right)^{-2}. \quad (40)$$

Он описывает потенциальную энергию взаимодействия электрона с поляризационным зарядом, индуцированным совместным действием обоих электронов и расположенным в области центра масс двухэлектронной системы. $W_p(\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}, l_a)$ является дополнительным вкладом в притяжение электронов в многослойной периодической структуре и в образовании биполярона.

Независящая от координат часть потенциальной энергии $E_p(l_a)$ в формуле (35) имеет вид:

$$E_p(l_a) = \sum_{\substack{\kappa, \eta, n=1,2, \\ s=1,2}} |C(\eta)F_s(\eta)|^2 (2a_{1s}^2 - 4a_{1s} + 2 + 2a_{1s}^2 R_s^2 \eta^2 + a_{2s}^2) \quad (41)$$

и учитывает поляронную энергию, а также взаимодействие каждого из электронов с созданной им поляризацией и энергию упруго деформированной многослойной периодической структуры.

2.3. Исследование эффективного потенциала электрон-электронного взаимодействия

Представляет интерес исследовать профиль эффективного потенциала электрон-фононного взаимодействия $W_{eff}(\rho, l_a, l_b)$ в многослойной периодической структуре, определенный форму-

лами (37), (38), для актуального случая многослойной периодической структуры, образованной из «сэндвичей Гинзбурга» FeSe/SrTiO₃, и сравнить с результатами для трехслойной структуры SrTiO₃ / монослой FeSe / SrTiO₃ на предмет возможного увеличения критической температуры T_c перехода в состояние ВТСП.

Как было показано в [11,12,18], в силу граничных условий объемные продольные оптические колебания в слоях SrTiO₃ не создают электрических полей в квантовых слоях FeSe вследствие конфайнмента-эффекта, поэтому электроны в квантовых слоях FeSe будут взаимодействовать только с пространственно-протяженными поверхностными оптическими колебаниями слоев SrTiO₃. Эффективный потенциал электрон-электронного взаимодействия может быть получен из формул (24)–(27), (37)–(38):

$$W_{eff}(\rho, l_a, l_b) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_a} \int_0^\infty d\eta J_0(\eta\rho) I_1(\eta, l_a) +$$

$$+ \frac{1}{\text{sh}(\eta l_a) \sqrt{\psi^2 - 1}} \times$$

$$\times \left[\left(e^{-\eta l_a} \sqrt{\psi^2 - 1} + \frac{\text{ch}(\eta l_a)}{\psi + \sqrt{\psi^2 - 1}} - \right.$$

$$\left. - \text{ch}(\eta l_b) \text{ch}(\eta l_b) \right) I_2(\eta, l_a) +$$

$$\begin{aligned}
& \left. + \frac{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}{2\varepsilon_a\varepsilon_b} \operatorname{sh}(\eta l_a) \operatorname{sh}(\eta l_b) I_3(\eta, l_a) \right] \Bigg\} + \\
& \quad + \frac{e^2}{16\pi\varepsilon_0 l_a} \int_0^\infty dx J_0 \left(x \frac{\rho}{l_a} \right) \times \\
& \quad \times \left[\left(1 + \left| \frac{N_{11}}{N_{12}} \right|^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right]^2 \left[\left(1 + \frac{R_{S_2}^2 x^2}{l_a^2} \right)^{-1} \times \right. \\
& \quad \left. \times \left[\left(1 + \frac{R_{S_2}^2 x^2}{l_a^2} \right)^{-1} - 2 \right] \right] \Bigg\}. \quad (42) \\
& \quad \times \left\{ \frac{\pi^2 \operatorname{sh} \left(\frac{\eta l_a}{2} \right) I_4(\eta, l_a)}{\frac{\eta l_a}{4} \left(\frac{\eta^2 l_a^2}{16} + \pi^2 \right)} \Omega_1(\kappa, \eta) \times \right. \\
& \quad \times \left[L_{1a,1b0}(\kappa, \eta) + L_{1a,2b0}(\kappa, \eta) \times \right. \\
& \quad \times \left. \left. \left(-\frac{N_{12}}{N_{11}} \right) \left[\left(1 + \left| \frac{N_{12}}{N_{11}} \right|^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right]^2 \right] \right] \times \\
& \quad \times \left[\left(1 + \frac{R_{S_1}^2 x^2}{l_a^2} \right)^{-1} \left[\left(1 + \frac{R_{S_1}^2 x^2}{l_a^2} \right)^{-1} - 2 \right] \right] + \\
& \quad + \left[\frac{\pi^2 \operatorname{sh} \left(\frac{\eta l_a}{2} \right)}{\frac{\eta l_a}{4} \left(\frac{\eta^2 l_a^2}{16} + \pi^2 \right)} \Omega_2(\kappa, \eta) \times \right. \\
& \quad \times \left. \left[L_{1a,1b0}(\kappa, \eta) \left(-\frac{N_{11}}{N_{12}} \right) + L_{1a,2b0}(\kappa, \eta) \right] \times \right.
\end{aligned}$$

Здесь $I_i(\eta, l_a)$ ($i=1,2,3,4$) определяется выражениями (25)–(27); $\Omega_{1,2}(\kappa, \eta)$ – частоты поверхностных пространственно-протяженных оптических колебаний.

2.3.1. Биполярные состояния в квазидвумерных слоях FeSe трехслойных структур на основе «сэндвичей Гинзбурга» SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃, BaO/CuO₂/BaO в соединении YBa₂Cu₃O_{7- δ}

Представляет интерес исследовать профиль эффективного потенциала электрон-электронного взаимодействия $W_{eff}(\rho, l_a, l_b)$ (формула (43)) для различных актуальных случаев. Особый интерес представляет трехслойная структура на основе «сэндвичей Гинзбурга» типа SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃, поскольку в них была экспериментально обнаружена ВТСП [4–6]. Следует учесть, что эта структура является базовой при создании многослойной периодической структуры на основе «сэндвичей Гинзбурга». Отметим, что для электронов в зоне проводимости слоев FeSe взаимодействие с оптическими поляризационными колебаниями соседних слоев SrTiO₃ вносит основной вклад в образование биполяронов в слоях FeSe.

Запишем $W_{eff}(\rho, l_a, l_b)$ для этого актуального частного случая, полагая, что $l_b \rightarrow \infty$, $l_a \sim a_0$ (толщина монослоя FeSe). В рассматриваемой симметричной трехслойной структуре SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ электроны в слое FeSe будут независимо взаимодействовать с поверхностной оптической модой SrTiO₃ каждого из кристаллов. Тогда из выражения (43) в рассматриваемом предельном случае для $W_{eff}(\rho)$ получаем [3]:

$$W_{eff}(\rho) = \frac{e^2}{\pi \varepsilon_0 \rho} \left(\frac{2}{\varepsilon_1 + 1} - \frac{1}{\varepsilon_{10} + 1} \right) - \frac{e^2}{\varepsilon_0 R_S} \left(\frac{1}{\varepsilon_1 + 1} - \frac{1}{\varepsilon_{10} + 1} \right) \left\{ I_0 \left(\frac{\rho}{R_S} \right) - L_0 \left(\frac{\rho}{R_S} \right) \right\}, \quad (43)$$

где $I_0(x)$, $L_0(x)$ – модифицированные функции Бесселя и Струве нулевого порядка соответственно.

Частота поверхностной оптической моды и поляронный радиус вычисляются по формулам:

$$\Omega_S = \Omega_{S_1} = \Omega_{S_2} = \omega_1 \sqrt{\frac{\varepsilon_{10} + \varepsilon_1}{2\varepsilon_1}},$$

$$R_S = \left(\frac{\hbar}{2m_e^* \Omega_S} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (44)$$

На рис. 2 приведены графики $W_{eff}(\rho)$ в структуре SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃.

Энергию основного состояния биполарона найдем вариационным методом. Вариационную функцию выберем в виде:

$$\psi(\rho) = 2(3\pi)^{-1/2} \gamma^2 \rho e^{-\gamma \rho}, \quad (45)$$

где γ – вариационный параметр.

Для функционала энергии биполаронного состояния получаем:

$$E(\gamma) = \frac{\hbar^2 \gamma^2}{6m^*} + \frac{2e^2 \gamma}{3\pi \varepsilon_0} \left[\frac{1}{\varepsilon_1 + 1} - \left(\frac{1}{\varepsilon_1 + 1} - \frac{1}{\varepsilon_{10} + 1} \right) (4\gamma^2 R_S^2 - 1)^{-7/2} \times \right. \\ \left. \times (384\gamma^6 R_S^6 + 144\gamma^4 R_S^4) \arctg \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1} - (64\gamma^6 R_S^6 + 240\gamma^4 R_S^4 - 8\gamma^2 R_S^2 + 1) \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1} \right]. \quad (46)$$

Энергия связи биполарона определяется выражением:

$$W_b = E_b - 2E_p, \quad (47)$$

где $E_b = \min E(\gamma, \beta, \lambda)$, E_p – энергия полярона. При $l_a \rightarrow 0$; $\gamma \rightarrow \infty$ для E_p получаем:

$$E_p = -\frac{\pi}{2} \sum_{s=1,2} \alpha_s \hbar \Omega_s. \quad (48)$$

Для трехслойной симметричной структуры SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ [3] получаем: $m_e^* = m_0$; $E_b = -13,2$ мэВ; $m_e^* = 2m_0$; $E_b = -20,6$ мэВ; $m_e^* = 5m_0$; $E_b = -35,7$ мэВ.

Из приведенных результатов для монослоя FeSe в трехслойной структуре

SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ следует, что энергия связи биполярона находится в интервале 150 ÷ 500 К. Взаимодействие электронов в зоне проводимости FeSe с индуцированной поляризацией суммарного поло-

жительного заряда в слоях трехслойной структуры SrTiO₃, локализованного в центре масс электронов, играет важную роль в формировании биполяронов в монослоях FeSe.

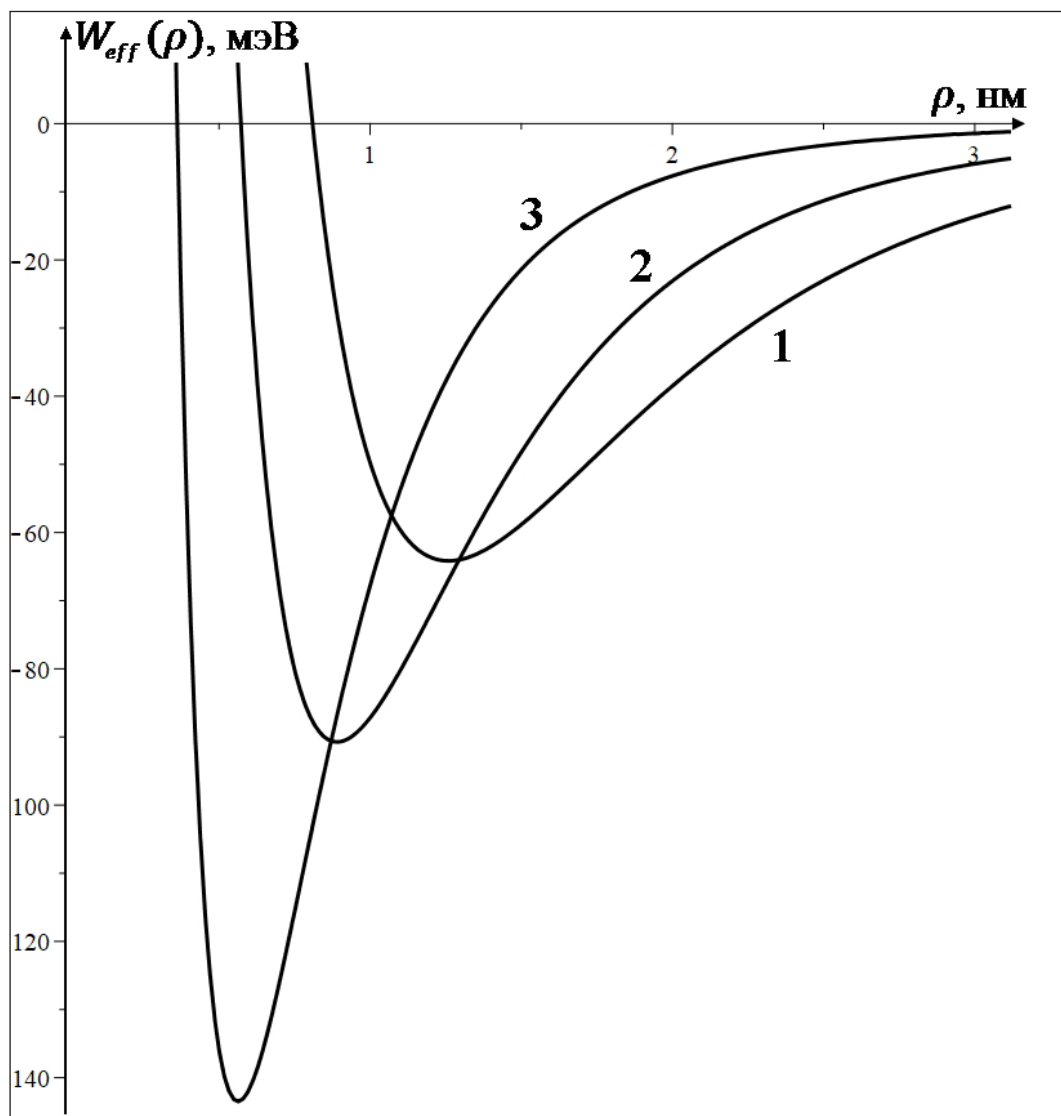


Рис. 2. Графики зависимостей эффективной потенциальной энергии для случая SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃.

Кривая 1 соответствует массе свободного электрона – $m = m_0$;

кривая 2 – $m = 2m_0$;

кривая 3 – $m = 5m_0$

2.3.2. Биполярные состояния в многослойных периодических структурах на основе «сэндвичей Гинзбурга» $SrTiO_3/FeSe/SrTiO_3$

В многослойных периодических структурах на основе $FeSe/SrTiO_3$ каждый слой $FeSe$ граничит с двумя слоями $SrTiO_3$. При этом поверхностные оптические колебания чередующихся слоев $SrTiO_3$ периодической структуры делокализуются, образуя пространственно-протяженные оптические колебания. Электроны в зоне проводимости слоев $FeSe$, взаимодействуя с ними, переходят в полярное состояние. Аналогично трехслойной структуре, при взаимодействии двух полярнов в слое $FeSe$ с поверхностными пространственно-протяженными образуются биполярные состояния. Качественный анализ профиля эффективного потенциала электрон-электронного взаимодействия $W_{eff}(\rho, l_a, l_b)$ (выражение (44)) показывает, что его поведение, как функции ρ , имеет вид, аналогичный $W_{eff}(\rho)$, приведенному на рис. 2 для трехслойной структуры, т. е. два электрона в зоне проводимости слоя $FeSe$, взаимодействуя с поверхностными пространственно-протяженными оптическими колебаниями – новыми элементарными возбуждениями в многослойных периодических структурах на основе $FeSe/SrTiO_3$, образуют биполярные состояния в слое $FeSe$.

Как показывают численные расчеты, которые приведены выше и рассчитаны на основе минимизации функционала (46), энергия связи биполярона повышается примерно на 30 % от энергии, рассчитанной для симметричного случая трех-

слойной структуры $SrTiO_3/FeSe/SrTiO_3$. (Отметим, что новые элементарные возбуждения были теоретически предсказаны в работах [21, 22]) и впервые экспериментально обнаружены в работах [23–25].)

Теория позволяет провести моделирование материальных и геометрических параметров многослойных периодических структур, в которых могут быть достигнуты критические температуры T_C в области комнатных значений: $T_C \sim 300$ К. Наиболее перспективными многослойными периодическими структурами представляются многослойные структуры, слоями которых наряду с $FeSe$, CuO_2 выступают также слои SrO , TiO_2 , BaO и ряд других, предложенных в работах [3, 7].

Цитированная литература

1. **Гинзбург, В. Л.** К вопросу о высокотемпературной и поверхностной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург, Д. А. Киржниц. – Текст : непосредственный // Докл. Акад. Наук СССР. – 1967. – Т. 176. – С. 553 – 555.
2. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // УФН. – 1968. – Т. 95. – С. 91–95.
3. **Beril S. I., Starchuk A. S.** On the Bipolaronic Mechanism of High-Temperature Superconductivity in “Ginzburg Sandwiches” $FeSe-SrTiO_3$; $SrTiO_3-FeSe-SrTiO_3$ // American Journal of Physics and Applications. – 2023. – Vol. 11, No. 1. – P. 8–20.
4. **Zhang S.,** Guan J., Jia X., Liu B., Wang W., Li F., Wang L., Ma X., Xue Q., Zhang J., Plummer E. W., Zhu X, Guo J. Role of $SrTiO_3$ phonon penetrating thin $FeSe$ films in the enhancement of superconductivity // Phys. Rev. B. – 2016. – Vol. 94. – P. 081116 (R).

5. **Lee J. J.**, Schmitt F. T., Moore R. G., Johnston S., Cui Y.-T., Li W., Yi M., Liu Z. K., Hashimoto M., Zhang Y., Lu D. H., Devereaux T. P., Lee D.-H., Shen Z.-X. Interfacial mode coupling as the origin of the enhancement of T_C in FeSe films on SrTiO₃ // *Nature*. – 2014. – Vol. 515. – P. 245–248.
6. **Zhang S.**, Wei T., Guan J., Zhu Q., Wei Q., Wang W., Zhang J., Plummer E. W., Zhu X., Zhang Z., Guo J. Enhanced Superconducting State in FeSe/SrTiO₃ by a Dynamic Interfacial Polaron Mechanism // *Phys. Rev. Lett.* – 2019. – Vol. 122(6). – P. 066802.
7. **Lee D. H.** What Makes the T_C of FeSe/SrTiO₃ so High? // arXiv: 1508.02461v1[cond-mat.str-al] 11Aug.2015.
8. **Садовский, М. В.** Высокотемпературная сверхпроводимость в монослоях FeSe / М. В. Садовский. – Текст : непосредственный // УФН. – 2016. – Т. 186, № 10. – С. 1035–1057.
9. **Schafroth M. R.** Superconductivity of a charged ideal Bose Gas // *Phys. Rev. B*. – 1955. – Vol. 100(2). – P. 463–475.
10. Chakraverty B. K., Feinberg D., Hang Z., Avignon M. Squeezed superconductivity in BaLaCuO systems // *Solid state Comm.* – 1987. – Vol. 64, No 8. – P. 1147–1151.
11. **Покапилов, Е. П.** Колебательные возбуждения, поляроны и экситоны в многослойных структурах и сверхрешетках / Е. П. Покапилов, В. М. Фомин, С. И. Берил. – Кишинев: Штиинца, 1990. – Текст : непосредственный.
12. **Берил, С. И.** Теория поляронов, экситонов, биполяронов и кинетические эффекты в многослойных структурах различных геометрий и сверхрешетках / С. И. Берил, В. М. Фомин, А. С. Старчук. – Тирасполь: Издательство Приднестровского ун-та, 2020. – 696 с. – Текст : непосредственный.
13. **Adamowski J.** (1989). Formation of Fröhlich bipolarons // *Phys. Rev. B*. – 1989. – Vol. 39(6). – P. 3649–3652.
14. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I., Fomin V. M., Ryabukhin G. Ju. (1992). Bipolaron states in multilayer structures with quantum wells (part I) // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1992. – Vol. 169(2). – P. 429–441.
15. **Haken H.** (1956). Zur Quantentheorie des Mehrelectronensystems im swingenden Gitter // *Z. Physik*. – 1956. – Vol. 146. – P. 527–554.
16. **Берил, С. И.** Экситоны Ванье-Мотта в многослойных системах / С. И. Берил, Е. П. Покапилов, В. М. Фомин, Г. А. Погорилко. – Текст : непосредственный // ФТП. – 1985. – Т. 19. – С. 412–417.
17. **Fomin V. M.**, Pokatilov E. P. Phonons and the electron-phonon interaction in multilayer systems // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1985. – Vol. 132. – P. 69–82.
18. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I., Semenovskaya N. N., Fahood M. Charge energy spectrum in multilayer structures and superlattices in a field of self-action potentials // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1990. – Vol. 158. – P. 165–174.
19. **Beril S. I.**, Pokatilov E. P., Fomin V. M., Pogorilko G. A. Vanier-Mott exciton states in two-layer periodic structures // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1985. – Vol. 130. – P. 278–288.
20. **Боголюбов, Н. Н.** Новое приближение в теории сверхпроводимости / Н. Н. Боголюбов, В. В. Толмачев, Д. В. Ширков. – Москва : Физматгиз, 1958. – Текст : непосредственный.
21. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I. Spatially Extended Optical Interface Modes in a Two-Layer Periodic Structure // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1982. – Vol. 110. – P. 75–78.
22. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I. Electron-Phonon Interaction in Periodic Two-Layer Structures // *Phys. Stat. Sol. (b)*. – 1983. – Vol. 118. – P. 567–573.
23. **Sood A. K.**, Menendez J., Cardona M., Ploog K. Interface vibrational modes in GaAs–AlAs superlattices // *Phys. Rev. Lett.* – 1985. – Vol. 54, n. 19. – P. 2115–2118.
24. **Klein M. V.** Phonons in semiconductor superlattices // *IEEE Journal of Quantum Electronics*. – 1986. – Vol. QE-22, n. 9. – P. 1760–1770.
25. **Schwartz G. P.**, Gualtieri G. J., Sunder W. A., Farrow L. A. Light scattering from confine and interface optical vibrational modes in strained-layer GaSb/AlSb superlattices // *Phys. Rev. B*. – 1987. – Vol. 36, n. 9. – P. 4868–4877.

УДК 537.212:537.533.2

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ
В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ
Часть II. ОБРАЗОВАНИЕ МЕЖСЛОЕВЫХ БИПОЛЯРОННЫХ
СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВЫХ СЛОЯХ FeSe, РАЗДЕЛЕННЫХ СЛОЯМИ
SrTiO₃ В СВЕРХСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃**

С. И. Берил, А. С. Старчук

Исследован механизм возникновения ВТСП при образовании межслоевых биполяронных состояний в квантовых слоях FeSe, разделенных слоем полярного кристалла SrTiO₃. Показано, что при взаимодействии двух электронов из разных слоев FeSe могут проявляться фундаментальный эффект смены знака взаимодействия электронов с отталкивания на притяжение и образование межслоевых биполяронных состояний аналогично образованию биполяронов в одном слое FeSe.

Ключевые слова: межслоевые биполяроны, квантовые слои, электрон-фононное взаимодействие, многослойные структуры.

**HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN MULTILAYER
PERIODIC STRUCTURES
Part II. FORMATION INTERLAYER BIPOLARON STATES IN FeSe
QUANTUM LAYERS SEPARATED BY SrTiO₃ IN SUPERSTRUCTURES
BASED ON SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃**

S. I. Beril, A. S. Starchuk

The mechanism of the occurrence of HTSC during the formation of interlayer bipolaronic states in FeSe quantum layers separated by a layer of a polar crystal SrTiO₃ is investigated. It is shown that when two electrons from different FeSe layers interact, the fundamental effect of changing the sign of the interaction of electrons from repulsion to attraction can manifest itself and the formation of interlayer bipolaronic states is similar to the formation of bipolarons in one FeSe layer.

Keywords: interlayers bipolarons, quantum layers, electron-phonon interaction, multilayer structures.

**1. Межслоевые биполяронные
состояния в трехслойной структуре
FeSe/SrTiO₃/FeSe, CuO₂/BaO/CuO₂**

Рассматривается трехслойная структура, состоящая из слоя b толщиной l_b полярного кристалла SrTiO₃, на который с обеих сторон нанесены одинаковые непо-

лярные квантовые слои FeSe толщиной l_a (слои b считаются сверхтонкими и в пределе могут представлять собой монослой. Исследование этого частного случая было проведено в работе [1].

Эффективный потенциал кулоновского взаимодействия электрона из первого слоя (l_{a_1}) FeSe с электроном из второго слоя (l_{a_2}) FeSe, разделенных слоем

полярного кристалла SrTiO_3 толщиной l_b , имеет вид:

$$W_{\text{eff}}(\rho_{12}, l_a, l_b) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \times \\ \times \frac{2}{l_b} \int_0^\infty dx \frac{J_0 \left\{ \frac{\rho_{12}}{l_b} x \right\} \epsilon_2^2 e^{\left(1 - \frac{2l_a}{l_b}\right)x}}{\text{sh } x f(\epsilon)} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{l_b} \times \\ \times \int_0^\infty dx \left\{ |F_1|^2 J_0 \left(\frac{\rho_{12}}{d} x \right) a_{11} (a_{11} - 2) + \right. \\ \left. + |F_2|^2 J_0 \left(\frac{\rho_{12}}{d} x \right) a_{12} (a_{12} - 2) \right\}, \quad (1)$$

где

$$f(\epsilon_1, \epsilon_2) = \epsilon_2^2 + \epsilon_1^2 (1 + \text{cth } x); \quad (2)$$

$$|F_1|^2 = \frac{\alpha_{S_1}}{\beta_{S_1} \text{th} \left(\frac{x}{2} \right)} e^{-\left(\frac{2l_a}{l_b} - 1 \right)x}; \\ |F_2|^2 = \frac{\alpha_{S_2} \text{th} \left(\frac{x}{2} \right)}{\beta_{S_2}} e^{-\left(\frac{2l_a}{l_b} - 1 \right)x}; \quad (3)$$

$$a_{2j} = \frac{\lambda}{\left(1 + R_{S_j}^2 \left(\frac{x^2}{l_b^2} \right) \right)^2}; \quad (4)$$

здесь λ , β – вариационные параметры.

На рис. 1 кривая 1 соответствует прямому кулоновскому отталкиванию электронов (первый член формулы (1)). Кривая 2 описывает полную потенциальную энергию (формула (1)). Как следует

из рис. 1, медленная поляризация при определенных значениях параметров полярного слоя SrTiO_3 не только уменьшает электростатическое отталкивание электронов в результате его экранирования медленной поляризацией, но и меняет знак взаимодействия с отталкивания на притяжение.

На рис. 2 показана зависимость W_{eff} от расстояния между электронами и монослоями FeSe структуры, содержащей полярные слои SrTiO_3 (BaO).

Эффективный гамильтониан рассматриваемой системы имеет вид:

$$\hat{H}_3(\rho_{12}, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = E_0(l_b) - \frac{\hbar^2}{2m_1} \Delta_1 - \frac{\hbar^2}{2m_2} \Delta_2 + \\ + W_{\text{eff}}(\rho_{12}, d) + W_p(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) + E_p(l_b). \quad (5)$$

В энергию $E_0(l_b)$ включена энергия самовоздействия

$$E_{SA}(l_b) = \frac{e^2 (\epsilon_2^2 - \epsilon_1^2)}{4\pi\epsilon_0 l_b} \int_0^\infty dx \frac{e^{-\left|1 - \frac{2l_a}{l_b}\right|x}}{f(\epsilon_1, \epsilon_2)}; \quad (6)$$

$W_{\text{eff}}(\rho_{12}, l_b)$ описывается выражением (1).

Член

$$W_p(\rho_1, \rho_2, l_b) = \sum_{i=1,2} W_p(\rho_i, l_b) =$$

$$= \frac{1}{l_b} \sum_{i,j=1,2,0} \int dx \left\{ |F_j|^2 J_0 \left(\frac{\rho_i}{d} x \right) a_{2j} (a_{1j} - 2) \right\}$$

пропорционален λ и описывает потенциальную энергию взаимодействия между

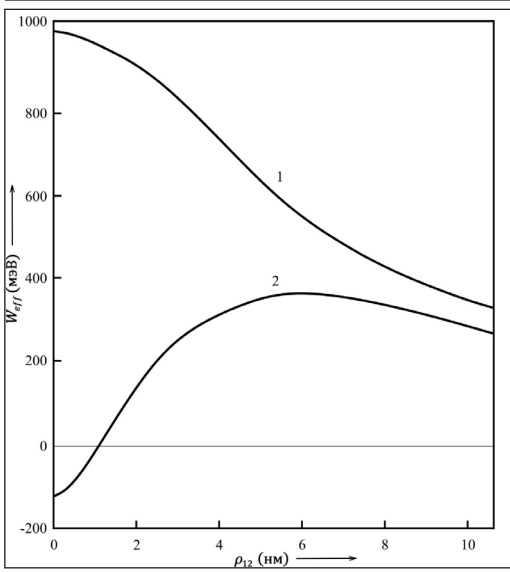


Рис. 1. Эффективный потенциал электрон-электронного взаимодействия. Для расчета использованы следующие параметры низкоразмерной структуры: для полярных слоев ВаО – $l_b = 5$ нм; для неполярных δ -слоев (l_a) – $\epsilon_1 = \epsilon_3$; $m_e^* = m_0$, а их толщина – 0,1 нм

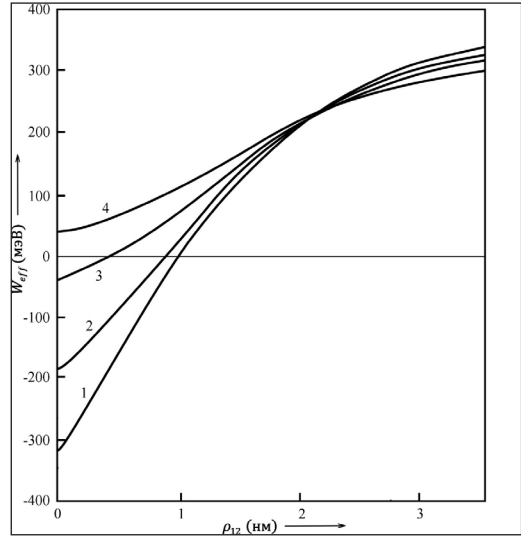


Рис. 2. Эффективный потенциал электрон-электронного взаимодействия. Кривые 1–4 построены для различных толщин неполярных δ -слоев: $\frac{l_b}{2} = 0,05; 0,13$ и $0,3$ нм соответственно. Другие параметры – как на рис. 1

электронами и дополнительным зарядом, индуцированным совместным действием обоих электронов.

Независящая от координат часть энергии

$$E_p(l_b) = \frac{1}{l_b} \sum_{j=1,2,0} \int dx |F_j|^2 \left\{ 2a_{2j}^2 - 4a_{1j} + 2a_{1j}^2 R_{S_j}^2 \left(\frac{x^2}{d^2} \right) + a_{2j}^2 \right\}, \quad (7)$$

описывающая поляронный эффект, содержит энергию взаимодействия каждого электрона с индуцированной им поляризацией, пропорциональной a_{1j} , и энергию упруго деформированной решетки, пропорциональной a_{1j}^2, a_{2j}^2 .

Поскольку W_{eff} как функция ρ_{12} меняет свой знак с отталкивания на притяжение, нормированную вариационную волновую функцию основного состояния электронной пары выберем в виде

$$\varphi(\rho_{12}) = \sqrt{\frac{\gamma}{\pi}} e^{-\gamma \rho_{12}}, \quad (8)$$

где γ – вариационный параметр, учитывающий пространственную корреляцию электронов.

Минимизация вариационной энергии выполняется численно:

$$E_t(\gamma, \lambda) = \langle \varphi(\rho_{12}) | \hat{H}_{eff}(\rho_{12}, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, l_b) | \varphi(\rho_{12}) \rangle, \quad (9)$$

где \hat{H}_{eff} имеет вид (5).

Энергия связи биполярона равна

$$W_b = E_b - 2E_p. \quad (10)$$

Здесь E_b – минимальное значение $E_t(\gamma, \lambda)$, энергия основного состояния, а E_p – энергия основного состояния полярона.

Как показывает численный анализ, абсолютное значение энергии связи межслоевого биполярона существенно зависит от следующих геометрических и материальных параметров: $l_a, l_b, m_e^*, \epsilon_2, \epsilon_{20}, \omega_{TO_2}$.

Показано, что для W_{eff} может проявляться фундаментальный эффект: смена знака взаимодействия электронов с отталкивания на притяжение, приводящий к спариванию двух поляронов и образованию биполярона, в котором поляроны находятся в разных слоях FeSe.

Установлено, что энергия связи биполярона растет с увеличением объема поляризуемого материала, т. е. с увеличением l_b создание биполярона становится энергетически выгодным, когда выполняются условия

$$l_b \approx R_S; l_a \rightarrow 0. \quad (11)$$

Численные расчеты дают для энергии связи биполярона $W_b(l_2)$ в «сэндвиче Гинзбурга» значения:

1) для FeSe/SrTiO₃/FeSe:

$W_b \approx 0,10 \div 0,45$ эВ в интервале толщин $5 \text{ нм} \leq l_b \leq 30 \text{ нм}$;

2) для структуры FeSe/BaO/FeSe:

$W_b \approx 0,08 \div 0,30$ эВ в интервале толщин $5 \text{ нм} \leq l_b \leq 30 \text{ нм}$.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В многослойных структурах с полярными слоями может иметь место фундаментальный эффект смены знака взаимодействия

одноименных носителей заряда, разделенных промежуточными полярными слоями.

2. Эффекты притяжения носителей заряда можно усилить путем выбора подходящих параметров слоев и изменением геометрии структуры.

3. Межслоевые биполярны большого радиуса являются стабильными квазичастицами для широкого ряда значений параметров структур, при которых энергия связи соответствует $T_c \sim T_K = 300$ К.

4. Численный анализ функционала энергии для межслоевого взаимодействия показывает, что в многослойных периодических структурах с относительно тонкими полярными слоями ($l_b < R_S$) спаривание поляронов, образованных в соседних слоях FeSe, остается эффективным за счет коллективных возбуждений – поверхностных пространственно-протяженных колебаний [2, 3]. В этом случае поляронное спаривание имеет место для электронов, разделенных как одним промежуточным слоем, так и несколькими. Это может быть важно для реальных структур с ВТСП, обладающих свойствами, необходимыми для образования биполяронов.

2. Выводы

1. Энергия связи биполяронов находится в интервале значений (150 ÷ 500) К, т. е. биполярны в исследуемых «сэндвичах Гинзбурга» (монослой SrTiO₃/FeSe и SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃) являются стабильными квазичастицами и могут существовать в рассматриваемых структурах при температурах, которые могут значительно превышать температуру их бозе-конденсации.

2. Как показывают расчёты, энергия связи биполярона в слое FeSe на подложке SrTiO₃ сильно зависит от толщины слоя ($\sim \exp(-d/R_s)$) и достигает максимума в пределе монослойной пленки ($d \rightarrow 0$).

3. Высокие значения T_c в исследованных структурах определяются большой энергией связи биполяронов вследствие наличия сильнополярной полупроводниковой SrTiO₃, что однозначно подтверждает предсказание Гинзбурга [4, 5] о важной роли контактных сред в достижении высоких T_c .

4. Представленная теория позволяет провести моделирование системы и определить область значений материальных и геометрических параметров многослойных структур, в которых могут быть достигнуты T_c в области комнатных температур. Это могут быть многослойные структуры типа композиционных сверхрешёток, слоями которых наряду со слоями FeSe выступают также слои SrO, TiO₂, BaO и другие. Более сложные структуры могут представлять собой «столбики» из таких трехслойных фрагментов (SrTiO₃ – FeSe – TiO₂ – SrO – TiO₂ – FeSe...).

6. В многослойных периодических структурах, представляющих собой композиционные сверхрешётки с полярными и полупроводниковыми или металлическими монослоями (типа FeSe, CuO₂), важную роль в формировании биполяронов будут играть пространственно протяженные поверхностные фононы – новые элементарные возбуждения, которые были предсказаны теоретически в работах [6, 7] и обнаружены экспериментально в работах [8–10].

Цитированная литература

1. **Берил, С. И.** Теория поляронов, экситонов, биполяронов и кинетические эффекты в многослойных структурах различных геометрий и сверхрешетках / С. И. Берил, В. М. Фомин, А. С. Старчук. – Тирасполь: Издательство Приднестровского ун-та, 2020. – 696 с. – Текст: непосредственный.

2. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I. Spatially Extended Optical Interface Modes in a Two-Layer Periodic Structure // Phys. Stat. Sol. (b). – 1982. – Vol. 110. – P. 75–78.

3. **Sood A. K.**, Menendez J., Cardona M., Ploog K. Interface vibrational modes in GaAs–AlAs superlattices // Phys. Rev. Lett. – 1985. – Vol. 54, n. 19. – P. 2115–2118.

4. **Гинзбург, В. Л.** К вопросу о высокотемпературной и поверхностной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург, Д. А. Киржниц. – Текст: непосредственный // Докл. Акад. Наук СССР. – 1967. – 176. – С. 553–555.

5. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург. – Текст: непосредственный // УФН. – 1968. – Т. 95. – С. 91–95.

6. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I. Spatially Extended Optical Interface Modes in a Two-Layer Periodic Structure // Phys. Stat. Sol. (b). – 1982. – Vol. 110. – P. 75–78.

7. **Pokatilov E. P.**, Beril S. I. Electron-Phonon Interaction in Periodic Two-Layer Structures // Phys. Stat. Sol. (b). – 1983. – Vol. 118. – P. 567–573.

8. **Sood A. K.**, Menendez J., Cardona M., Ploog K. Interface vibrational modes in GaAs–AlAs superlattices // Phys. Rev. Lett. – 1985. – Vol. 54, n. 19. – P. 2115–2118.

9. **Klein M. V.** Phonons in semiconductor superlattices // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1986. – Vol. QE-22, n. 9. – P. 1760–1770.

10. **Schwartz G. P.**, Gualtieri G. J., Sunder W. A., Farrow L. A. Light scattering from confine and interface optical vibrational modes in strained-layer GaSb/AlSb superlattices // Phys. Rev. B. – 1987. – Vol. 36, n. 9. – P. 4868–4877.

ОБРАТНАЯ ВОДОРОДОПОДОБНАЯ СЕРИЯ В КРИСТАЛЛАХ: ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ

И. Г. Стамов

Обсуждаются проблемы интерпретации оптических спектров кристаллов, связанные с проявлением обратной водородоподобной серии (ОВС) спектральных линий. Кратко излагаются история обнаружения, эксперимент, развитие теории, а также возможности регистрации явлений, обусловленных природой ОВС в ряде оптико-электронных процессов.

Предложены направления дополнительных экспериментальных исследований ОВС по проверке ряда теоретических положений и следствий из теорий биелектронов (бихолов) и биелектронно-примесных комплексов.

Ключевые слова: *кристаллы, водородоподобные энергетические структуры, электронные состояния с отрицательной эффективной массой.*

REVERSE HYDROGEN-LIKE SERIES IN CRYSTALS: HISTORY, THEORY, EXPERIMENT

I. G. Stamov

The paper discusses the problems of interpretation of the optical spectra of crystals associated with the manifestation of an inverse hydrogen-like series (RHL) of spectral lines. The history of discovery, the experiment, the development of the theory, and the possibility of detecting phenomena due to the nature of RHL in a number of optoelectronic processes are briefly outlined.

Directions for additional experimental studies of RHL are proposed to test a number of theoretical positions and consequences from the theories of bielectrons (bichols) and bielectron-impurity complexes.

Keywords: *crystals, hydrogen-like energy structures, electronic states with negative effective mass.*

В начале 70-х годов прошлого века Евгений Федорович Гросс с коллегами предложили модель электронных переходов на дискретные уровни в состоянии с отрицательной массой для объяснения обратной водородоподобной серии (ОВС) линий поглощения, обнаруженной ими в монокристаллах иодистого висмута [1, 2]. Исследования этой серии в интервале температур и в магнитном поле показали, что она представляет собой единое целое (не является набором случайных линий). Ими было предпо-

ложено, что ОВС в иодистом висмуте вызывает система из двух электронов с антипараллельными спинами, которую они назвали биелектроном. Таким образом, в физику полупроводников была введена новая квазичастица, биелектрон, впоследствии была добавлена квазичастица с аналогичными по проявлению свойствами, бихол [3].

На рис. 1 представлены спектры ОВС в BiI_3 и энергетическая диаграмма оптических переходов для их интерпретации. С повышением температуры происходит уменьшение интенсивности и уширение

полос поглощения с ростом квантовых чисел.

Впоследствии, в 80-х годах прошлого столетия, Н. В. Старостиним с сотрудниками была сформулирована теория биелектронного поглощения света в кристаллах, в которой было показано, что энергетический спектр биелектрона в кристаллах ViJ_3 может быть интерпретирован в рамках двухзонной модели, когда один из двух электронов помещен в зону проводимости C_1 ($m_1 > 0$), второй возбужден в более высокую по энергии зону с отрицательной кривизной C_2 ($m_2 < 0$), причем условие стабильности биелектрона выполняется при $m_1 > m_2$ [4–6]. Пара из двух носителей заряда одного знака, обладающая отрицательной приведенной массой [$m_1 \cdot m_2 / (m_1 + m_2) < 0$], приводит к водородоподобному дискретному спектру, сходящемуся, в отличие от экситонного спектра, в длинноволновую область (рис. 2):

$$E_n = E_0 + G/n^2$$

Стимулом для исследований этой тематики явилось обнаружение ОВС в кристаллах моноклинного дифосфида цинка ($\beta\text{-ZnP}_2$) [7, 8]. В спектрах поглощения кристаллов $\beta\text{-ZnP}_2$ при низких температурах обнаруживается 8 линий поглощения ($n = 4\text{--}11$) (рис. 3). Состояния ОВС $n < 4$ попадают в полосу фундаментального поглощения кристалла. При этом при каждой линии поглощения ОВС обнаруживается с длинноволновой стороны прямая водородоподобная серия (ПВС) линий поглощения [7].

Для интерпретации спектров в $\beta\text{-ZnP}_2$ в работе [8] была предложена модель биелектронно-примесного комплекса (БПК),

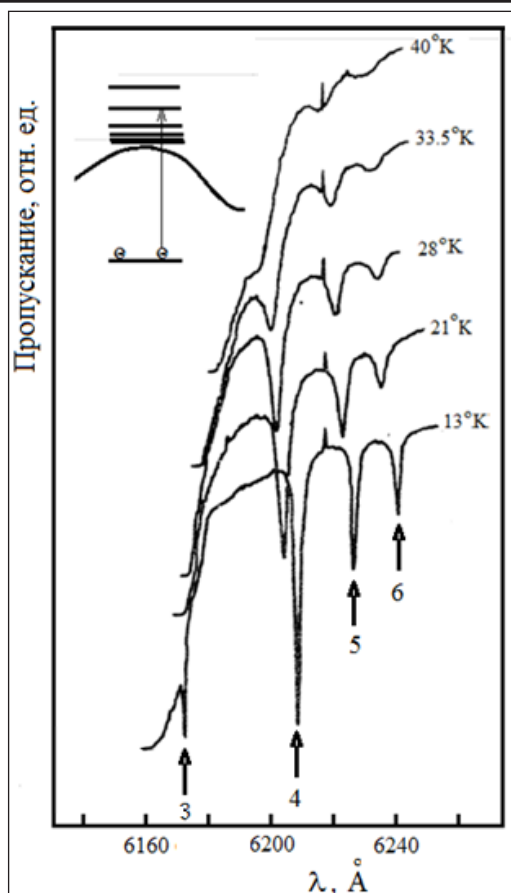


Рис. 1. Спектры поглощения обратной серии ($n = 3, 4, 5, 6$) в ViJ_3 при разных температурах [1, 2]

в соответствии с которой два электрона взаимодействуют по двухзонной модели, представленной в [6], и как одно целое с зарядом $2e$ с положительно заряженным донором [8].

Обоснованием такой модели являются результаты исследования оптических спектров от температуры и в магнитном поле, большие значения энергии связи биелектрона в $\beta\text{-ZnP}_2$, которые составляют 0,7 эВ и энергии связи биелектрона с донором в пределах 0,1–0,3 эВ на разных

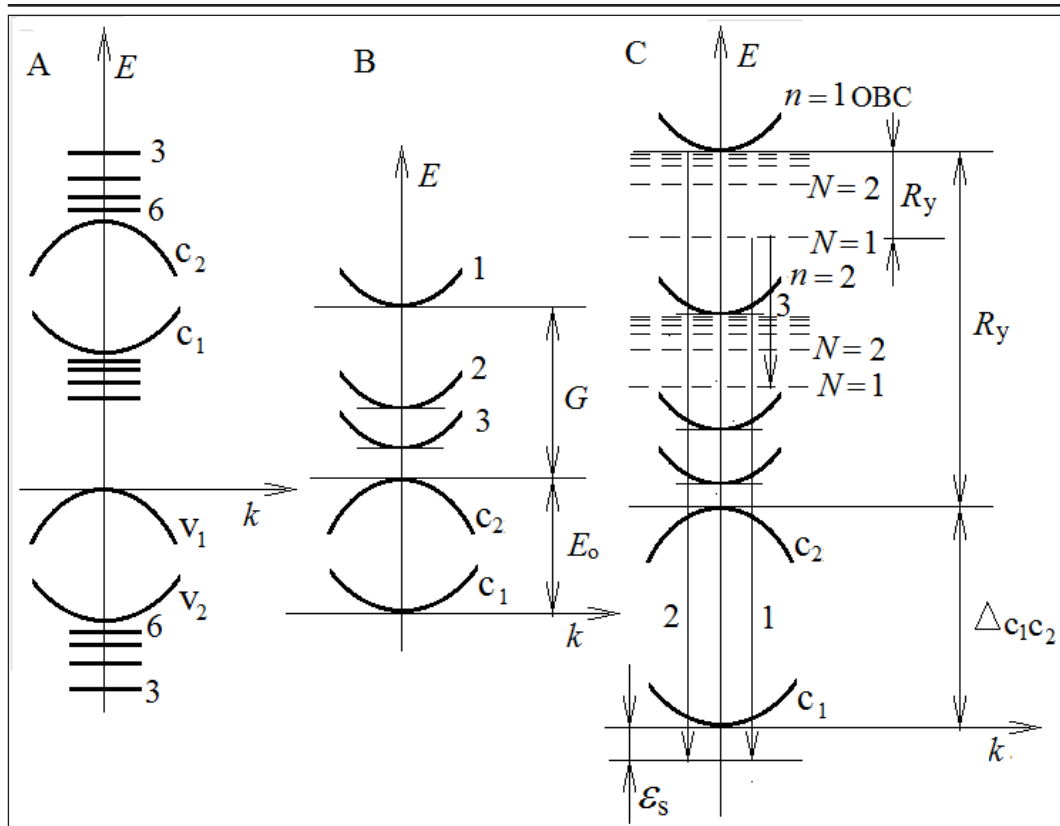


Рис. 2. Зонная структура и энергетические уровни: А – биэлектрона, экситона, бихола; В – двухзонная схема энергетических уровней биэлектрона $n = 1, 2, 3$ [6]; С – зонная структура и схема энергетических уровней БПК [11]

квантовых числах. Характерной особенностью в спектрах ПВС БПК, которые проявляются при каждой линии ОВС, является отсутствие ряда квантовых состояний. Ограничения на те или иные квантовые числа в этих сериях связаны с нарушениями условий водородоподобности из-за концентрационных эффектов, зависящих от температуры и легирования кристалла.

В спектрах ОВС и ПВС в кристаллах $\beta\text{-ZnP}_2$ уменьшение интенсивности и уширение полос поглощения с ростом квантовых чисел происходит как с ростом температуры, так и за счет изменения кон-

центрации свободных носителей заряда в зоне проводимости с увеличением концентрации доноров при термоотжиге кристалла [14].

Магнито-оптические исследования ОВС в $\beta\text{-ZnP}_2$ выявили возможности инициировать оптические переходы в синглетные и триплетные биэлектронные состояния со спектрографическими g -факторами $g_s = 0$ и $g_t = 4$ [15]. По характеру компонент оптических спектров ОВС, одинаковой интенсивности полос, расщепленных компонент в поглощении и менее интенсивной коротковолновой компоненты,

в расщепленном в магнитном поле дуплете, в люминесценции, установлено, что начальное состояние биелектрона является синглетным, а возбужденное триплетным.

В работе [16] исследовано влияние электрического поля на водородоподобные состояния в $\beta\text{-ZnP}_2$ по спектрам фотоэффекта в структурах ИТО- $\beta\text{-ZnP}_2$. Установлено, что состояния, образующие ОВС, к электрическому полю практически не чувствительны, в то время как спектральные составляющие ПВС при линиях поглощения ОВС размываются с ростом поля. Состояния свободных экситонов и связанные синглетные и триплетные экситонные состояния, проявляющиеся в $\beta\text{-ZnP}_2$ в тех же полях одновременно, испытывают Штарковские сдвиги и расщепление соответственно (рис. 4).

В целом, поведение ОВС кристаллов $\beta\text{-ZnP}_2$ от температуры, в электрическом и магнитном полях согласуются с предложенной моделью БПК в работе [8]

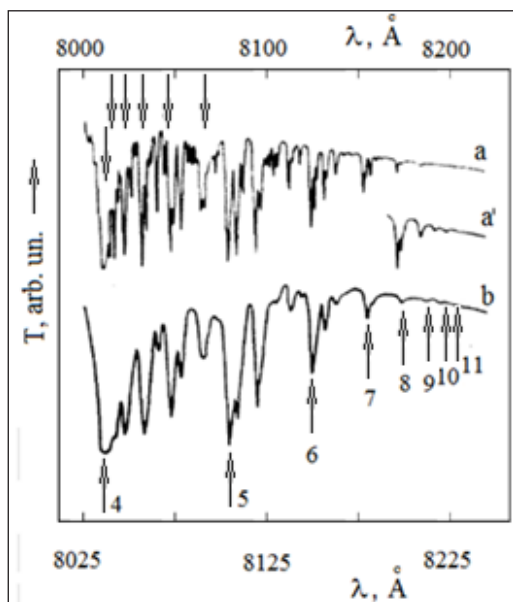


Рис. 3. Спектры пропускания моноклинного ZnP_2 с длинноволновой стороны от края фундаментального поглощения при $T = 2\text{K}$ в поляризации $E \perp C2$ (а, а – верхняя шкала λ) и 77K (нижняя шкала λ); толщина кристалла $d = 0,3$ мм (а, b), $0,9$ мм (а') [8]

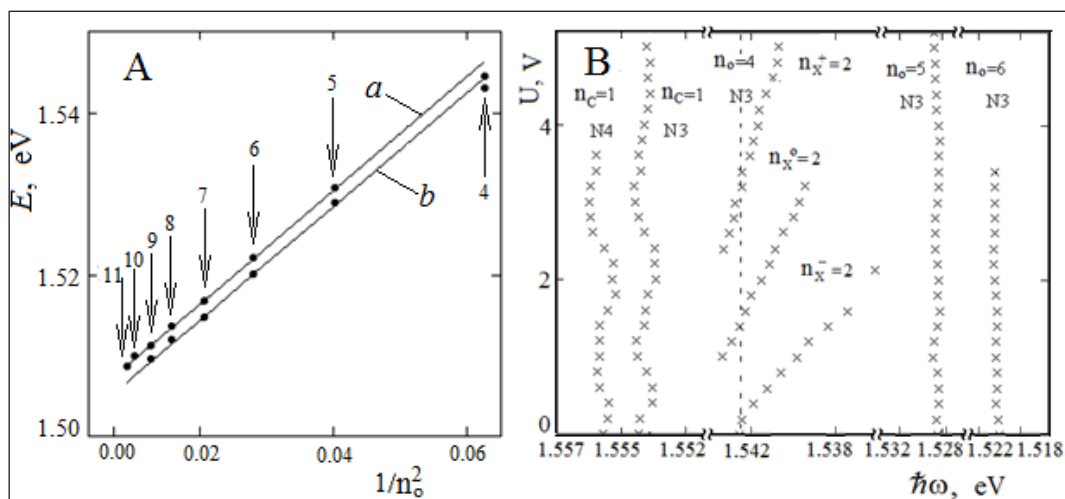


Рис. 4. А – зависимость энергий переходов ОВС от $1/n_0^2$ для двух структур ИТО- $\text{ZnP}_2(\text{C}_{2h}^5)$ (построена по спектрам пропускания кристаллов); В – потенциальные зависимости водородоподобных состояний. Концентрация свободных носителей заряда в структурах № 3 и № 4: а) – 10^{20} м^{-3} , б) – 10^{21} м^{-3} [16]

и теоретическими работами В. А. Коварского с сотрудниками [10–12].

Экспериментальные и теоретические работы по ОВС в кристаллах, скорее всего, стимулировали появление теории фотоиндуцированной сверхпроводимости, в рамках двухзонной модели биелектрона [17, 18], и биелектронному (бидырочному) механизму спариванию носителей заряда в кристаллах, с подходящей для этого зонной структурой, в сверхпроводимости [6].

Кроме того, в ряде работ [19, 20] идеи биелектронных состояний были распространены на непрямозонные переходы в полупроводниках. Энергетический спектр непрямозонного биелектрона такой же, как для биелектрона в двухзонной модели, рассмотренной выше. Однако в этих процессах требуется участие фононов.

Участие в оптоэлектронных процессах электронов с отрицательной эффек-

тивной массой проявляется в других физических явлениях [23, 24].

Электроны с отрицательной эффективной массой обнаружены в явлениях переноса заряда в нанослоях арсенида галлия при воздействии коротких высоковольтных импульсов. При этом наблюдались Блоховские осцилляции, и в отрезках времени с одинаковым направлением электрического поля установлено движение электронов как с положительным, так и с отрицательным ускорением, показывающее, что электроны меняют знак массы (рис. 5) [23]. В зоне проводимости GaAs эффективная масса положительна вокруг точек Γ и X и отрицательные значения вокруг максимумов зоны [19, 20], что объясняет смену знака ускорения. Представляет интерес исследование спектров излучения в этих экспериментах.

В монослоях WSe_2 в спектрах люминесценции, возбуждаемой красным лазером, наблюдалась голубая люминесценция, спектр которой представлен чередующейся последовательностью пиков интенсивности (рис. 6с). Для объяснения спектров привлечена модель с использованием (рис. 6 а, б) электрона с «отрицательной массой» [24].

Несмотря на убедительные теоретические исследования о возможностях образования биелектронных состояний в кристаллах, вопросы интерпретации ОВС в спектрах BiJ_3 и ZnP_2 до сих пор остаются дискуссионными [21, 22].

Очевидно, что имеющиеся экспериментальные данные не являются вполне достаточными и убедительными для исключения других версий интерпретации

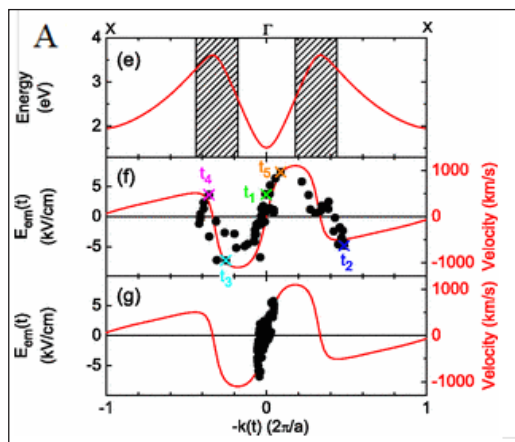


Рис. 5. (е) – самая низкая зона проводимости GaAs в направлении $[100]$, области с отрицательными массами заштрихованы; (f) – точки, $E_{em}(t)$ в зависимости от $-k(t)$, крестиками показаны значения в моменты времени от t_1 до t_3 , сплошная линия, скорость v рассчитана по уравнению (2); (g) – тот же график, что и в (f), но для амплитуды электрического поля 50 кВ/см [23]

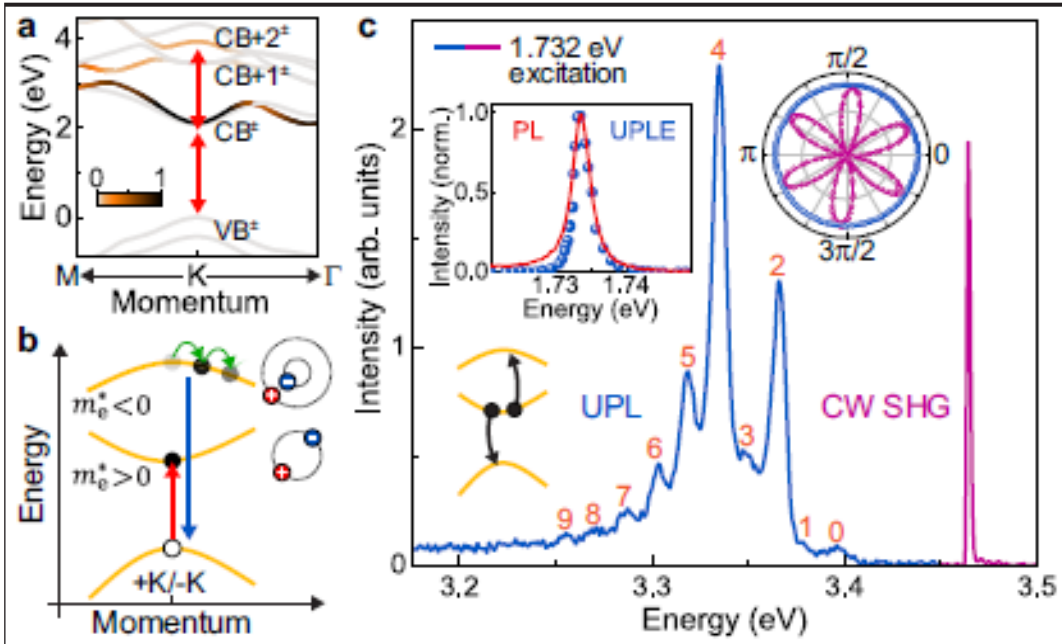


Рис. 6. а – расчетная зонная структура ГВ монослоя WSe_2 . Полосы спинового расщепления с более высокой (низкой) энергией помечены верхними индексами + (–). Цвет указывает нормализованную силу осциллятора электронов, совершающих переход из верхней валентной зоны (VB^+) в различные зоны проводимости (CB , $\text{CB}+1$ и $\text{CB}+2$). Красными двунаправленными стрелками отмечены экситонные резонансы, используемые для объяснения квантовой интерференции при оптической генерации второй гармоники (ГВГ); б – резонансная накачка экситонов края зоны (красная стрелка); в – спектр ФЛ монослоя WSe_2 , инкапсулированного hBN , при 5 К при узкополосном непрерывном (CW) возбуждении при 1,732 эВ [24]

ОВС, кроме того, отсутствуют эксперименты, подтверждающие предсказанные теоретически новые эффекты в ряде работ [6, 17, 18] и другие, возможно сопутствующие известным явлениям [23, 24]. Не установлены характеристики примесных центров, с которыми связываются модели ОВС в $\beta\text{-ZnP}_2$ [8] и, предположительно, в ViJ_3 , ответственными за ОВС, в которой могут быть электронные переходы с двукратно отрицательно заряженного центра на уровни с отрицательной массой в поле однократно заряженного центра [1]. Из теоретических расчетов следует уменьшение интенсивности полос поглощения для начальных квантовых чисел, проверить

которые невозможно из-за того, что они попадают в полосу фундаментального поглощения. В моделях БПК теоретически и экспериментально не исследованы зависимости вероятностей переходов от квантовых чисел для ПВС при уровнях ОВС.

Конечно, возникает вопрос, что явилось бы доказательством модели биэлектрона (бихола) в спектрах ViJ_3 и $\beta\text{-ZnP}_2$? Безусловно, проявление квантовых свойств, связанных с биэлектронном (бихолом) как бозоном. Наиболее ярким примером проявления биэлектронных состояний, квазичастиц было бы открытие стимулированной светом сверхпроводимости в кристаллах с ОВС [18].

С нашей точки зрения, перспективными направлениями исследований ОВС в кристаллах являются:

– детальные экспериментальные исследования БПК в ZnP_2 ;

– исследования модифицированных составов BiI_3 и ZnP_2 легированием и образованием твердых растворов на их основе;

– эксперименты по установлению работоспособности теоретических моделей и проверки следствий из них;

– расширение спектра кристаллов с подходящими для спаривания электронов (дырок) зонной структурой и энергетическим спектров примесей и дефектов кристаллической решетки в запрещенной зоне полупроводника;

– поиск ОВС и ОВС подобных оптических спектров в электронных и оптоэлектронных явлениях в материалах и структурах, в частности в двумерных.

Цитированная литература

1. **Гросс, Е. Ф.** Обратная водородоподобная серия при оптическом возбуждении легких заряженных частиц в кристалле иодистого висмута (BiI_3) / Е. Ф. Гросс, В. И. Перель, Р. И. Шехмаматьев. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 1971. – Т. 13. – С. 320–325.

2. **Гросс, Е. Ф.** Магнито-оптические свойства биелектрона в кристалле BiI_3 / Е. Ф. Гросс, И. Н. Уральцев, Р. И. Шехмаматьев. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 1971. – Т. 13. – С. 503–505.

3. **Гросс, Е. Ф.** Изучение биелектрона и бихола в кристалле BiI_3 / Е. Ф. Гросс, Н. В. Старостин, Р. И. Шехмаматьев. – Текст : непосредственный // ФТТ. – 1971. – Т. 13. – С. 3393–3397.

4. Спектроскопическое исследование уровней биелектрона и бихола в кристалле

BiI_3 / Е. Ф. Гросс, Н. В. Старостин, М. П. Шепилов, Р. И. Шехмаматьев. – Текст : непосредственный // Изв. АН СССР сер физ. – 1973. – Т. 37. – № 4. – С. 885–890.

5. **Старостин, Н. В.** Биелектронное поглощение света в полупроводниках / Н. В. Старостин, М. П. Шепилов. – Текст : непосредственный // Укр. Физ. Журнал. – 1980. – Т. 25. – В. 10. – С. 1707–1711.

6. **Старостин, Н. В.** Биелектронный механизм спаривания носителей фототока одного знака в кристаллах / Н. В. Старостин. – Текст : непосредственный // ЖПС. – Т. 30. – № 4. – 1989. – С. 535–551.

7. **Сырбу, Н. Н.** Тонкая структура уровней поглощения в кристаллах ZnP_2 моноклинной модификации / Н. Н. Сырбу, И. Г. Стамов, С. И. Радауцан. – Текст : непосредственный // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 262. – Вып. 5. – С. 1138–1142.

8. Обратная водородоподобная серия в оптических спектрах кристаллов ZnP_2 / А. В. Селькин, И. Г. Стамов, Н. Н. Сырбу, А. Г. Уманец. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 1982. – Т. 35. – № 8. – С. 51–53.

9. **Жилич, А. Г.** К теории биелектронно-примесных комплексов в полупроводниках / А. Г. Жилич, М. П. Шепилов, Н. В. Старостин. – Текст : непосредственный // ФТТ. – 1983. – Т. 25. – Вып. 5. – С. 1343–1347.

10. **Kovarskii, V. A.** Optical properties of bielelectron-impurity complexes / V. A. Kovarskii, E. P. Sinyavskii, L. V. Chernysh // Phys. Stat. Sol (b). – 1984. – V.123. – С. 671–677.

11. Безизлучательный распад биелектрона и биелектронно-примесного комплекса в полупроводниках / В. А. Коварский, Э. П. Синявский, В. Н. Чеботарь, Л. В. Черныш. – Текст : непосредственный // ФТП. – 1984. – Т. 18. – Вып. 9. – С. 1637–1641.

12. **Синявский, Э. П.** Обратная водородоподобная серия в примесных полупроводниках / Э. П. Синявский, Н. Н. Сырбу, В. Н. Чеботарь. – Текст : непосредственный // ФТП. – 1986. – Т. 20. – Вып. 8. – С. 1481–1484.

13. Экранирование обратной водородоподобной серии в BiJ_3 при двухфотонной генерации носителей / В. Ф. Агемян, Н. Н. Васильев, В. П. Гладких, Р. И. Шехмаметьев. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 1984. – Т. 39. – Вып. 6. – С. 252–255.
14. **Сырбу, Н. Н.** Влияние концентрации свободных носителей заряда на водородоподобные спектры в дифосфиде цинка / Н. Н. Сырбу, С. Б. Хачатурова, И. Г. Стамов. – Текст : непосредственный // ФТП. – 1984. – Т. 18. – Вып. 8. – С. 1498–1500.
15. **Селькин, А. В.** Обратная водородоподобная серия в ZnP_2 в магнитном поле / А. В. Селькин, Н. Н. Сырбу, А. Г. Уманец. – Текст : непосредственный // Письма в ЖЭТФ. – 1985. – Т. 42. – № 11. – С. 439–441.
16. **Стамов, И. Г.** Влияние электрического поля на водородоподобные состояния в кристаллах моноклинного дифосфида цинка / И. Г. Стамов, Д. В. Ткаченко. – Текст : непосредственный // ФТТ. – 2022. – Т. 64. – Вып. 1. – С. 74–78.
17. **Коварский, В. А.** Фотоиндуцированная сверхпроводимость в кристаллах с парой зеркально-симметричных зон / В. А. Коварский, А. А. Голуб. – Текст : непосредственный // ФТТ. – 1984. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 617–619.
18. **Коварский, В. А.** Сверхпроводимость бихолполяронов / В. А. Коварский. – Текст : непосредственный // ФТТ. – 1990. – Т. 32. – Вып. 3. – С. 867–870.
19. **Sinyavskii, E. P.** Optical properties of indirect bielectron / E. P. Sinyavskii, L. V. Chernysh, I. G. Stamov // Abstracts of Intern. Conf. On materials science and condensed matter physics. Chishinau, Moldova, July 5–7. – 2001. – P. 89.
20. **Синявский, Э. П.** Обратные водородоподобные серии при непрямых переходах в полупроводниках / Э. П. Синявский, Л. В. Черныш, И. Г. Стамов. – Текст : непосредственный // Научные записки Винницкого университета, Винница, изд. ВГПУ. – 2002. – Вып. 1. – Физика и математика. – С. 417–423.
21. **Горбань, И. С.** Двухэлектронные и двухфотонные переходы в экситонной молекуле / И. С. Горбань, И. Н. Дмитрук, О. А. Ещенко. – Текст : непосредственный // Укр. физ. журнал. – 1996. – Т. 41. – № 1. – С. 28–32.
22. **Bilyi, N. M.** Two-electron transitions involving a biexciton / N. M. Bilyi, I. S. Gorban, V. A. Gubanov, I. N. Dmitruc // JETP Lett. – 1989. – V. 50. – № 2. – С. 85–87.
23. **Kuehn, W.** Coherent Ballistic Motion of Electrons in a Periodic Potential / W. Kuehn, P. Gaal, K. Reimann, M. Woerner, T. Elsaesser, R. Hey // Physical Review Letters. – 2010. – Vol. 104 (14): 146602. DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.146602 .
24. **Kai-Qiang Lin** // Narrow-band high-lying excitons with negative-mass electrons in monolayer WSe_2 / Kai-Qiang Lin, Chin Shen Ong, S. Bange, P. E. Faria Junior and all // Nature Communications. – 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-25499-2.
-

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЯЗИ СВЕТОВОДОВ И КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В БЕСКОНЕЧНОМ МАССИВЕ СВЕТОВОДОВ

К. Д. Ляхомская, М. К. Юрченко

Изучены особенности распространения лазерного излучения в массиве световодов из двух бесконечных цепочек с учетом линейно меняющейся постоянной распространения и наличия усиления (поглощения) света. Показано влияние коэффициентов связи световодов и коэффициента усиления на характер поведения пространственных профилей интенсивности распространяющегося излучения и смену периодического и аperiodического режимов.

Ключевые слова: массив световодов, пространственный профиль интенсивности, коэффициенты связи и усиления (потерь).

THE INFLUENCE OF THE COUPLING COEFFICIENTS OF OPTICAL FIBERS AND THE GAIN ON THE NATURE OF RADIATION PROPAGATION IN AN INFINITE ARRAY OF OPTICAL FIBERS

K. D. Lyakhomskaya, M. K. Yurchenko

The features of the propagation of laser radiation in an array of optical fibers from two infinite chains are studied, taking into account the linearly varying propagation constant and the presence of amplification (absorption) of light. The influence of the coupling coefficients of the optical fibers and the gain factor on the behavior of the spatial intensity profiles of the propagating radiation and the change of periodic and aperiodic modes is shown.

Keywords: array of optical fibers, spatial intensity profile, coupling coefficients and gain (loss).

В последние десятилетия стремительно развивается новое направление физической оптики – неэрмитовая топологическая фотоника. Одной из многих ее задач является создание принципиально новых оптических систем, топологически защищенных от эффектов рассеяния на дефектах и собственных неоднородностей на основе использования нелинейно-оптических эффектов в различных периодических структурах, в частности, фотонных решетках, в том числе моделируемых

системами световодов с ПТ-симметрией. Такие системы не только перспективны с точки зрения их применения как систем, выполняющих полностью оптическую обработку сигналов и (или) их передачу на большие расстояния, но и как физические объекты с уникальными свойствами: двулучепреломление [1–4], индуцированная потерями прозрачность [5], решения солитонные вида [6–8] и др.

Простейшим примером ПТ-симметричной волноводной системы является система из двух световодов, один

из которых характеризуется усилением распространяющегося излучения, другой – потерями. Оптическое усиление, в частности, может быть обеспечено за счет нелинейного двухволнового смешивания, как показано в [9]. Особенности распространения лазерного излучения в РТ-симметричном двухканальном нелинейном направленном ответвителе при учете усиления распространяющегося излучения в одном световоде и потерями в другом были изучены ранее в [10], было показано, что пространственные профили интенсивности распространяющегося излучения в зависимости от значений параметров нелинейности и коэффициента усиления характеризуются периодическим или аperiodическим режимом.

Процессы распространения света в системах с конечным числом световодов существенно отличаются от процессов распространения излучения в системах с бесконечным числом, для которых в ряде случаев возможно получить аналитические решения для амплитуд полей распространяющегося излучения. В работе [11] были изучены особенности распространения света в массиве световодов, состоящем из двух связанных бесконечных цепочек, без учета усиления (поглощения) и получены аналитические решения для пространственного распределения интенсивности излучения при различных значениях констант связи и постоянной распространения. Интересными представляются результаты работы [12], в которой рассмотрено возникновение ограниченной в пространстве поперечной дифракции света в капле из

двух параллельных массивов световодов с учетом линейной зависимости постоянной распространения от номера световода в массиве.

В данной работе получены аналитические решения системы дифференциальных уравнений для амплитуд полей распространяющихся волн в РТ-симметричном массиве световодов, состоящем из двух бесконечных цепочек массивов световодов, характеризующихся линейным законом изменения постоянной распространения и наличием усиления (поглощения) распространяющегося излучения.

Постановка задачи. Основные уравнения

Рассмотрим систему из двух бесконечных цепочек световодов f_n и g_n (массив световодов), расположенных в двух параллельных плоскостях и характеризующихся постоянной распространения, которая линейно зависит от номера световода в массиве (рис. 1).

Система дифференциальных уравнений, описывающих амплитуды поля волны, распространяющейся в каждом из световодов, имеет вид:

$$\begin{cases} i \frac{da_n}{dz} = \kappa(a_{n+1} + a_{n-1}) + \sigma b_n - i\gamma a_n - \beta n a_n \\ i \frac{db_n}{dz} = \kappa(b_{n+1} + b_{n-1}) + \sigma a_n + i\gamma b_n - \beta n b_n \end{cases}, \quad (1)$$

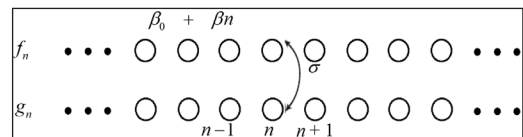


Рис. 1. Схема задачи

где a_n (b_n) – амплитуда поля волны в n -ом световоде f_n (g_n) цепочки массива световодов, x – ось световодов, вдоль которой происходит распространение излучения, $z = \kappa x$, κ – константа связи между ближайшими световодами одной и той же цепочки, σ – константа связи между n -ми световодами разных цепочек, γ – коэффициент усиления (потерь), и для простоты слагаемое с постоянной распространения β_0 отсутствует за счет экспоненциального преобразования, βn – линейная поправка к константе распространения.

Предположим, что накачивается нулевой световод $n = 0$ цепочки f_n световодов, и начальные условия для системы дифференциальных уравнений (1) имеют вид:

$$\dot{u}_n|_{z=0} = \delta_{n0}, \quad |_{z=0} = 0, \quad (2)$$

где δ_{n0} – символ Кронекера.

Решения системы (1) будем искать в виде:

$$\dot{u}_n = \beta^n \quad \text{и} \quad \dot{u}_n = \beta^n. \quad (3)$$

Тогда систему (1) можно переписать в виде:

$$\begin{cases} iU'_n = -(U_{n+1}e^{i\beta x} + U_{n-1}e^{-i\beta x}) + V_n - iU_n \\ iV'_n = -(V_{n+1}e^{i\beta x} + V_{n-1}e^{-i\beta x}) + U_n + iV_n \end{cases}. \quad (4)$$

Далее воспользуемся Фурье-преобразованиями:

$$U_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(x, \theta) e^{-in\theta} d\theta$$

$$\text{и} \quad V_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V(x, \theta) e^{-in\theta} d\theta,$$

подставляя которые в систему (4), после несложных преобразований получим:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dx} = -2i\kappa U \cos(\theta - \beta x) - i\sigma V - \gamma U \\ \frac{dV}{dx} = -2i\kappa V \cos(\theta - \beta x) + i\sigma U + \gamma V \end{cases}. \quad (5)$$

Решая данную систему дифференциальных уравнений, найдем функции:

$$U = fe^{2i\frac{x}{\beta}\sin(\theta - \beta x)}$$

$$\text{и} \quad \dot{u} = \frac{2i\frac{x}{\beta}\sin(\theta - \beta x)}{\beta}. \quad (6)$$

Для определения амплитуд – функций f и g подставим (6) в систему (5) и получим систему уравнений:

$$\begin{cases} g' = i\sigma f + \gamma g \\ f' = i\sigma g - \gamma f \end{cases}. \quad (7)$$

Решение системы уравнений (7) также представим в экспоненциальном виде $f, g \sim e^{kx}$ и далее получим:

$$U = (Ae^{ik_0x} + Be^{-ik_0x}) e^{2i\frac{x}{\beta}\sin\theta - \beta x}, \quad (8a)$$

$$V = (Ce^{ik_0x} + De^{-ik_0x}) e^{2i\frac{x}{\beta}\sin\theta - \beta x}. \quad (8б)$$

Амплитуды A, B, C и D легко находятся из начальных условий (2):

$$A = \frac{a_0}{2} \left(\frac{i\gamma}{k_0} + 1 \right) e^{-2i\frac{x}{\beta}\sin\theta},$$

$$B = \frac{a_0}{2} \left(\frac{i\gamma}{k_0} \quad 1 \right) e^{-2i\frac{x}{\beta}\sin\theta} \times 2\pi i^n J_n \left(\frac{4x}{\beta} \sin \frac{1}{2} \beta x \right) e^{-i\frac{\beta}{2}} \quad (10)$$

$$\dot{u} = -\frac{\gamma}{2k_0} e^{-2i\frac{x}{\beta}\sin\theta}$$

$$\text{и } \dot{u} = \frac{\gamma}{2k_0} e^{-2i\frac{x}{\beta}\sin\theta}$$

Спектральные амплитуды разложения Фурье с учетом найденных амплитуд A , B , C и D примут вид:

$$U(x, \theta) = a_0 \left[\cos k_0 x - \frac{\gamma}{k_0} \sin k_0 x \right] e^{-4i\frac{x}{\beta}\sin\frac{1}{2} - \cos\left(\frac{1}{2}\right)}$$

$$\text{и } V(x, \theta) = -i \frac{\gamma}{k_0} a_0 \sin k_0 x e^{-2i\frac{x}{\beta}\sin - 2\frac{x}{\beta}\sin}$$

соответственно

И, наконец, получим выражения для амплитуд полей, распространяющихся в n -м световоде верхней цепочки f :

$$U_n(x) = a_u (i)^n \left(\cos k x + \frac{\gamma}{k_0} \sin k x \right) J_n \left(\frac{4x}{\beta} \sin \frac{1}{2} \beta x \right) e^{-\frac{i}{2}\beta n x} \quad (9)$$

и в n -м световоде нижней цепочки g :

$$V_n(x) = a_0 \frac{(-i)}{2\pi} \frac{\gamma}{k_0} \sin k_0 x \times$$

Как видно из полученных выражений, пространственные амплитуды полей являются сложными нелинейными функциями, ядро которых представляют функции Бесселя n -го порядка (n – номер световода в цепочке массива), умноженные на убывающую экспоненту и тригонометрическое выражение.

В данной работе мы исследуем зависимость характера пространственного профиля интенсивности поля излучения, распространяющегося в произвольном световоде массива от значений констант связи, коэффициента усиления (поглощения) и линейной поправки к постоянной распространения с помощью решений системы (1), определив интенсивности излучения для двух цепочек массива световодов соответственно:

$$I_u(x) = |U(x)|^2 \text{ и } I_v(x) = |V(x)|^2 \quad (11)$$

Обсуждение полученных результатов

Анализ аналитических и численных решений системы уравнений (1) при фиксированных значениях констант связи κ , σ и постоянной распространения β и малых значениях коэффициента усиления (затухания) γ ($\gamma \sim 0,001$) позволяет предсказать наличие периодического режима поведения функций интенсивностей поля в зависимости от продольной нормированной координаты z независимо

от значений других параметров. Однако при $\gamma \sim 0,1$, когда включается в работу механизм усиления, периодический режим сменяется на аperiodический, но замещающие численные значения σ возможно управление сменой аperiodического режима пространственных профилей интенсивности на периодический.

Приведем наиболее интересные, на наш взгляд, результаты.

Рассмотрим случай накачки излучения в нулевой ($n = 0$) световод верхней цепочки f массива. Пусть на торце нулевого световода в точке ($z = 0$) интенсивность накачки равна единице.

На рис. 2 представлены пространственные профили распространяющегося излучения в массиве световодов для случая: $\sigma = \gamma = 0,001$, $\kappa = 1$, $\beta = 0,25$. Из рис. 2, *a* видно, что ввиду малого коэффициента связи δ между световодами одного и того же номера в цепочках f и g основная доля накачиваемого излучения сохраняется в массивах верхней цепочки f . При этом пространственный профиль интенсивности накачиваемого $n = 0$ световода является колебательной функцией и характеризуется тремя главными максимумами, амплитуда которых с единицы на торце в точке $z = 0$ немного уменьшается. Симметричная структура побочных максимумов, амплитуды которых в 5 и более раз меньше величины накачки, расположена между главными максимумами. Пространственные профили других световодов цепочки f также являются колебательными функциями, но они представлены дублетами максимумов, амплитуды которых в 3 и более раз меньше единицы. Совокупность про-

странственных профилей интенсивностей верхней цепочки световодов при данных значениях параметров представляется в виде системы кратеров, а именно, на длине $z = 50$ их два. Из рис. 2, *a* также видно, что возмущенная область затрагивает менее 40 световодов из всей бесконечной цепочки.

Что же касается пространственных профилей интенсивностей нижней цепочки g световодов, представленных на рис. 2, *б*, как было уже отмечено выше, интенсивность колебаний близка к нулю, но периодический режим прослеживается.

На рис. 3 представлены пространственные профили распространяющегося излучения для следующих значений параметров: $\sigma = \gamma = 0,05$, $\kappa = 1$, $\beta = 0,25$. Из рис. 3 видно, что с ростом коэффициента усиления γ структура пространственного профиля существенно меняется, так как слагаемое, отвечающее за усиление распространяющегося излучения $+i\gamma b_n$ в системе уравнений (1), вносит существенный вклад в экспоненциальный рост функций $I_{fn}(z)$ (рис. 3, *a*) и одновременно функций $I_{gn}(z)$ (рис. 3, *б*). При этом пространственный профиль интенсивности распространяющегося излучения в световодах f цепочки с номерами $-20 < n < 20$ разбит на два участка: у торца световодов (на примере накачиваемого нулевого световода ($z < 20$) – экспоненциально убывающая огибающая функция), и область экспоненциального роста ($z > 20$). При указанных значениях параметров процесс перекачки идет более интенсивно и излучение перекачивается не только

в световоды своей цепочки, но и в световоды нижней цепочки g , и амплитуда в нулевом световоде превышает интенсивность накачки в 6 раз (рис. 3, б).

Рассмотрим теперь влияние коэффициента связи σ между световодами одного номера, но разных цепочек массива на поведение пространственных профилей интенсивности распространяющегося излучения.

На рис. 4, а, б представлены пространственные профили излучения

для следующих значений параметров: $\kappa = 1, \beta = 0,25, \gamma = 0,1, \sigma = 0,05$.

Из рис. 4, а видно, что при $\sigma < \gamma$ структура пространственного профиля поля интенсивности, распространяющейся в световодах $n = 0, 1$ и 2 верхней цепочки массива разбита на два участка у торца и экспоненциального роста по мере распространения вдоль оси z , причем граница между этими участками (невозмущенная область) достаточно протяженная: $5 < z < 25$. Амплитуда

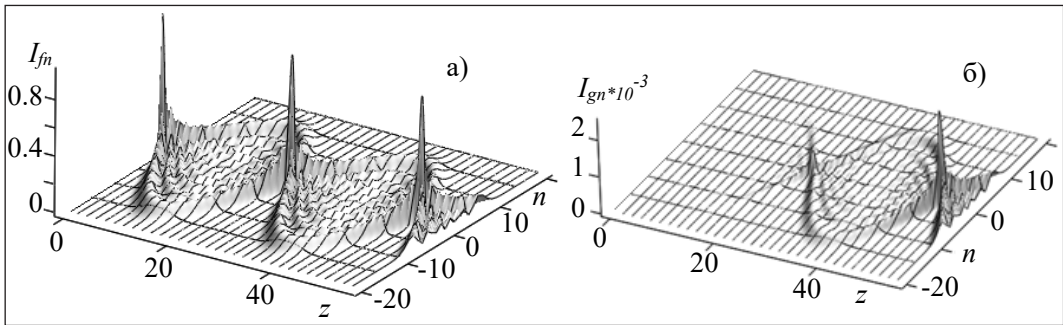


Рис. 2. Пространственные профили интенсивности при: $\sigma = \gamma = 0,001, \kappa = 1, \beta = 0,25$ в f цепочке массива $I_{fm}(z, n)$ (а) и g цепочке массива $I_{gn}(z, n)$ (б)

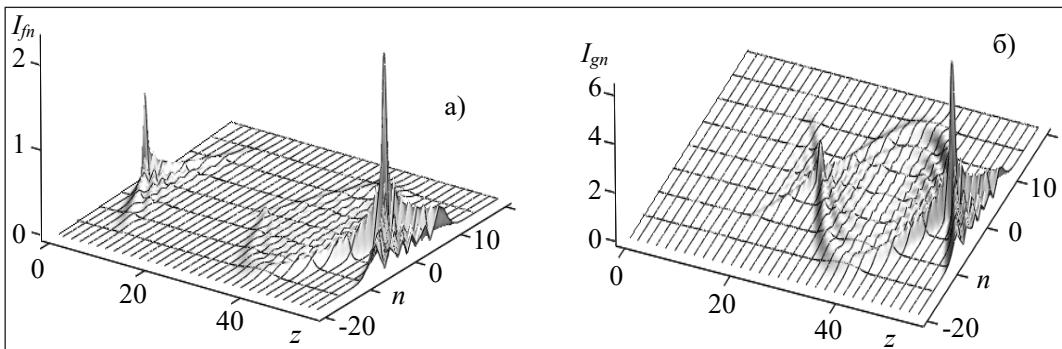


Рис. 3. Пространственные профили интенсивности при: $\sigma = \gamma = 0,05, \kappa = 1, \beta = 0,25$ в f цепочке массива $I_{fm}(z, n)$ (а) и g цепочке массива $I_{gn}(z, n)$ (б)

интенсивности быстро нарастает и на $z \approx 50$ уже в 10 раз превосходит величину накачки. Пространственные функции интенсивности $I_{gn}(z)$, распространяющейся в световодах $n=0, 1$ и 2 нижней цепочки на торцах все начинаются с нуля и по мере диффузии излучения из накачиваемого световода верхней цепочки, интенсивность излучения становится отличной от нуля на расстояниях $z > 25$ от торца и экспоненциально нараста-

ет в десятки раз быстрее, чем функции $I_{fn}(z)$.

На рис. 5, а, б представлены пространственные профили излучения для следующих значений параметров: $\kappa=1, \beta=0,25, \gamma=0,1, \sigma=0,1$. Из рис. 5 видно, что сохраняется характер поведения функций $I_{fn}(z)$ и $I_{gn}(z)$, однако существенно сужается невозмущенная область пространственных профилей полей и значения амплитуд интенсивностей на

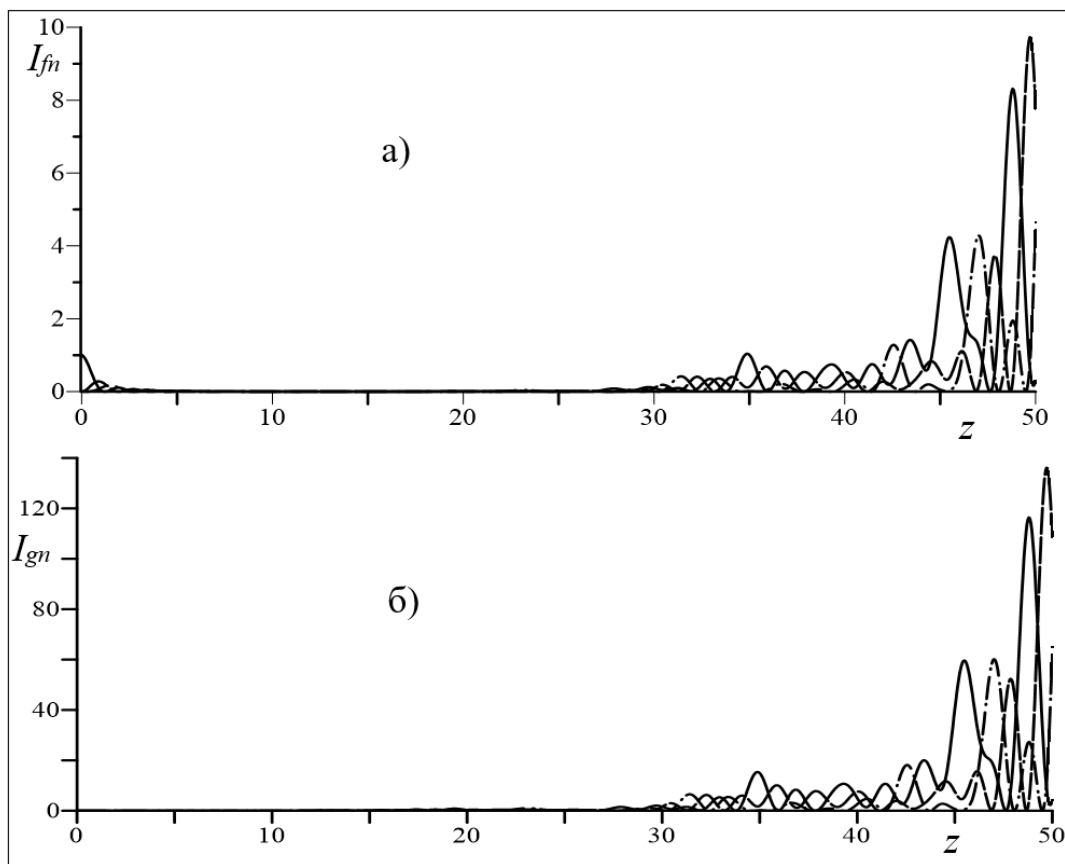


Рис. 4. Пространственные профили интенсивности при: $\kappa=1, \beta=0,25, \gamma=0,1, \sigma=0,05$ в $n=0$ ($I_0(z)$ – сплошная), в $n=1$ ($I_1(z)$ – пунктир), и в $n=2$ ($I_2(z)$ – точка-пунктир) световодах f цепочки массива (а) и g цепочке массива (б)

$z = 50$ существенно ниже, чем в предыдущем случае: для функций $I_{fn}(z)$ в 2 раза, а для $I_{gn}(z)$ более чем в 16 раз.

На рис. 6, а, б представлены пространственные профили излучения для следующих значений параметров: $\kappa = 1, \beta = 0,25, \gamma = 0,1, \sigma = 0,11$. Отметим, что при выполнении условия $\sigma > \gamma$ качественно меняется характер распространяющегося излучения в массиве световодов.

Так, из рис. 6 видно, что при распространении излучения как в световодах верхней цепочки (рис. 6, а), так и нижней (рис. 6, б) сужается невозмущенный участок, а колебательный характер функций $I_n(z)$ сохраняется на всей рассматриваемой длине световодов $z = 50$, несмотря на величину коэффициента $\gamma = 0,1$.

При дальнейшем увеличении коэффициента связи σ между световодами одного

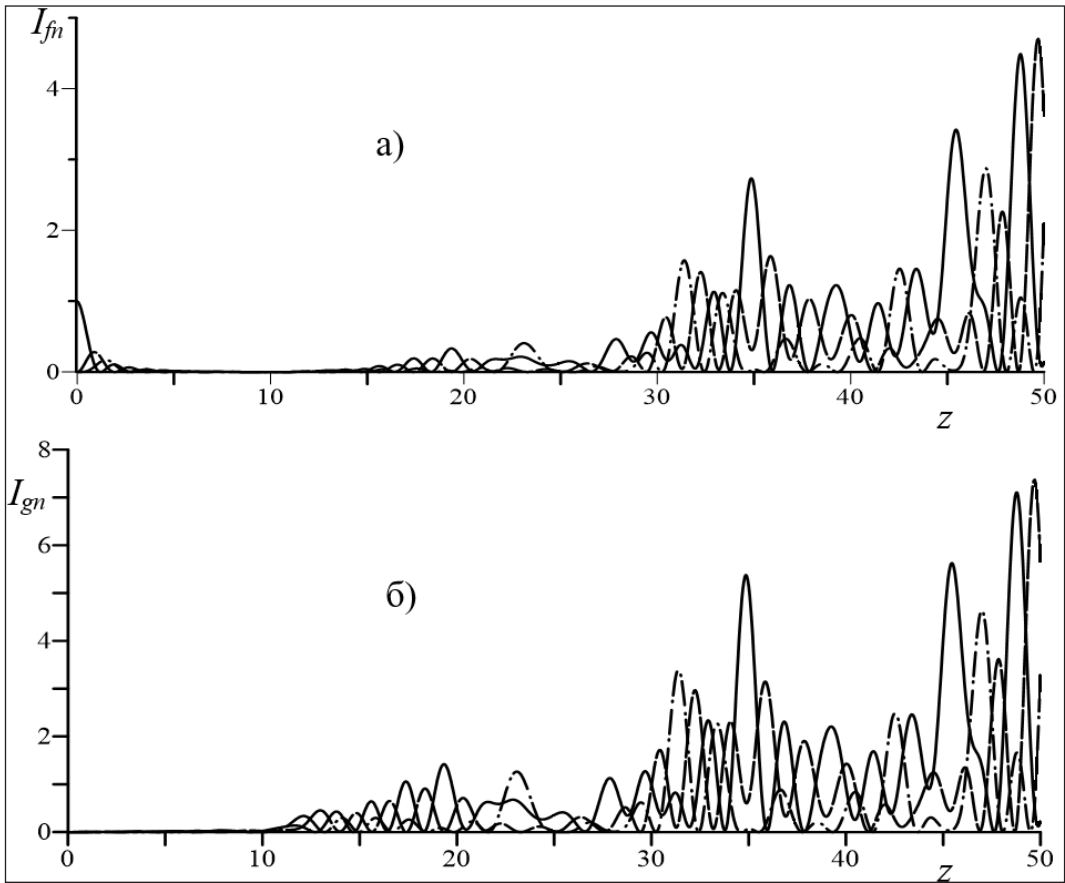


Рис. 5. Пространственные профили интенсивности при:
 $\kappa = 1, \beta = 0,25, \gamma = 0,1, \sigma = 0,1$
 в $n = 0$ ($I_0(z)$ – сплошная), в $n = 1$ ($I_1(z)$ – пунктир),
 и $n = 2$ ($I_2(z)$ – точка-пунктир) световодах f цепочки массива (а)
 и g цепочке массива (б)

номера разных цепочек массива прослеживается полное установление колебательного режима пространственных профилей распространяющегося излучения, при этом амплитуда колебаний снижается, исчезает невозмущенная область и разделение на два участка, а огибающая колебаний излучения также характеризуется колебательным характером (рис. 7 а, б для $\sigma = 0,5$).

Таким образом, увеличение значения коэффициента связи σ между световодами одного номера, но разных цепочек массива приводит к компенсации механизма экспоненциального усиления распространяющегося излучения и позволяет управлять выбором режима колебаний пространственных профилей интенсивностей распространяющегося излучения.

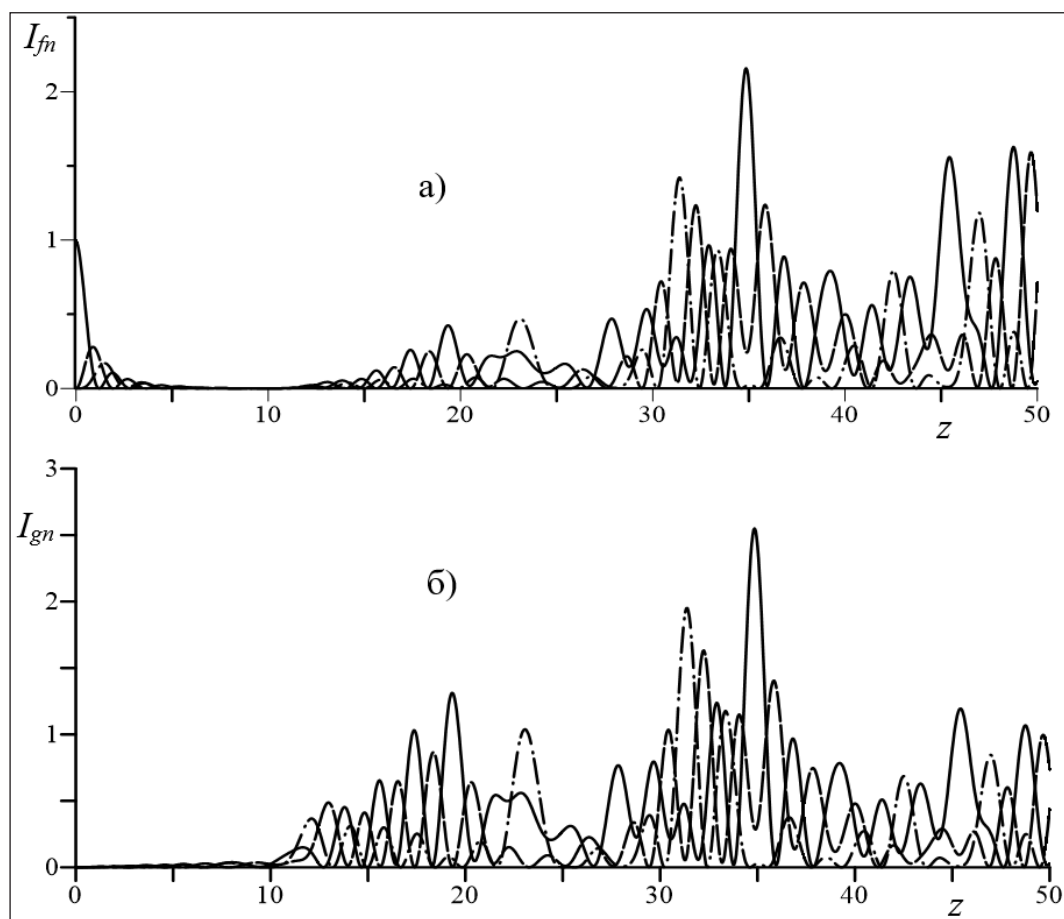


Рис. 6. Пространственные профили интенсивности при:
 $\kappa = 1, \beta = 0,25, \gamma = 0,1, \sigma = 0,11$
 в $n = 0$ ($I_0(z)$ – сплошная), в $n = 1$ ($I_1(z)$ – пунктир), в $n = 2$ ($I_2(z)$ – точка-пунктир),
 световодах f цепочки массива (а) и g цепочки массива (б)

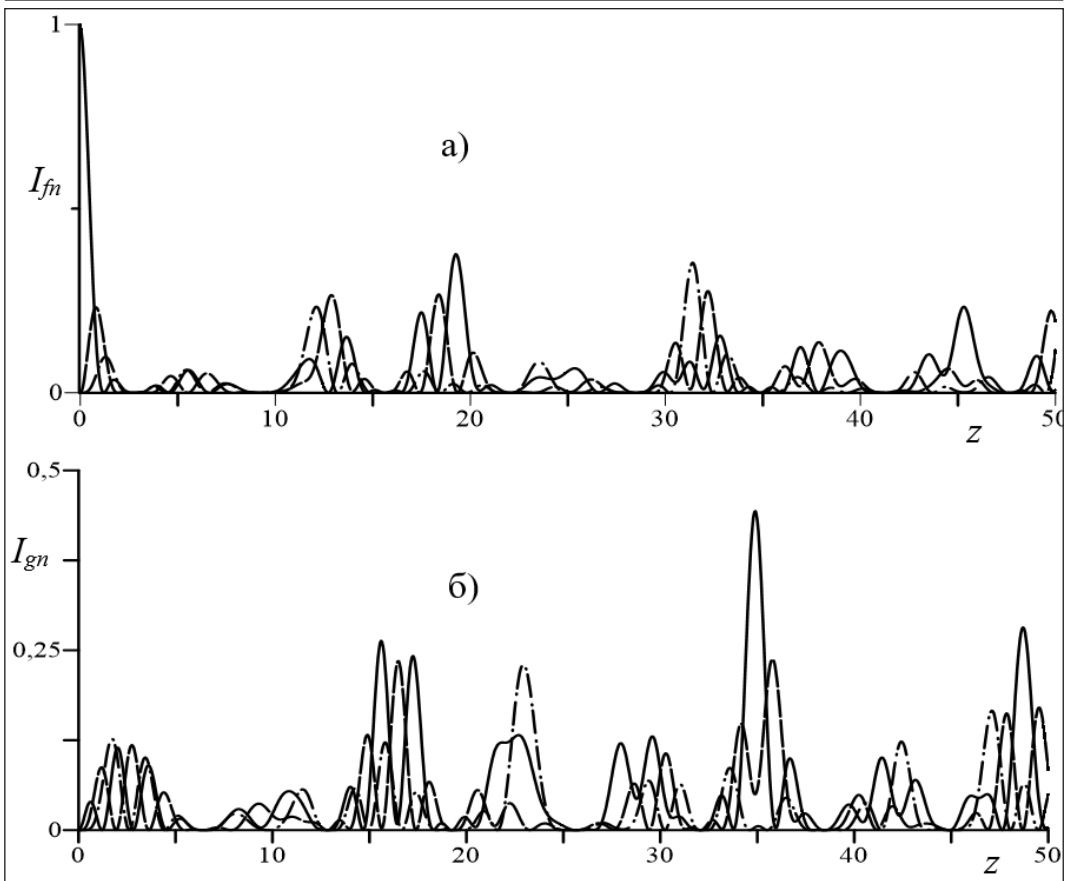


Рис. 7. Пространственные профили интенсивности при:
 $\kappa = 1, \beta = 0,25, \gamma = 0,1, \sigma = 0,5$
 в $n = 0$ ($I_0(z)$ – сплошная), в $n = 1$ ($I_1(z)$ – пунктир), в $n = 2$ ($I_2(z)$ – точка-пунктир),
 световодах f цепочки массива (а) и g цепочке массива (б)

Заключение

Рассмотрены особенности распространения излучения в массиве световодов, состоящем из двух бесконечных цепочек при линейно меняющейся постоянной распространения и наличия усиления (поглощения) излучения в системе. Получены аналитические решения системы дифференциальных уравнений, описывающих поле распространяющегося излучения

при накачке нулевого световода верхней цепочки световодов. Показано, что величина коэффициентов связи световодов и коэффициента усиления (затухания) существенно определяет характер пространственных профилей интенсивности распространяющегося излучения и позволяет не только компенсировать экспоненциальный рост амплитуд полей, но и управлять сменой аперiodического режима на периодический и наоборот.

Цитированная литература

1. **S. Ke, J. Liu, Q. Liu, D. Zhao, and W. Liu** Strong absorption near exceptional points in plasmonic waveguide arrays // *Opt. Quantum Electron.* –2018. – 50(8). – 318.
 2. **X. Lin, R. Li, F. Gao, E. Li, X. Zhang, B. Zhang, and H. Chen** Loss induced amplification of graphene plasmons // *Opt. Lett.* – 2016. – 41(4). –P. 681–684.
 3. **A. Locatelli, A. D. Capobianco, M. Midrio, S. Boscolo, and C. De Angelis** Graphene-assisted control of coupling between optical waveguides // *Opt. Express.* – 2012. – 20(27). – P. 28479–28484.
 4. **J. Xu and Y. Chen** General coupled mode theory in non-Hermitian waveguides // *Opt. Express.* –2015. – 23(17). – P. 22619–22627.
 5. **A. Guo, G. J. Salamo, D. Duchesne, R. Morandotti, M. Volatier-Ravat, V. Aimez, and D. N. Christodoulides** Observation of PT-symmetry breaking in complex optical potentials // *Phys. Rev. Lett.* –2009. – 103(9). – P. 093902.
 6. **S. V. Suchkov, B. A. Malomed, S. V. Dmitriev, Yu. S. Kivshar.** Solitons in a chain of parity-time-invariant dimers // *Phys. Rev.* – 2011. – E 84. – P. 046609.
 7. **S. V. Dmitriev, S. V. Suchkov, A. A. Sukhorukov, Yu. S. Kivshar.** Scattering of linear and nonlinear waves in a waveguide array with a PT-symmetric defect // *Phys. Rev.* – 2011. – A 84. – P. 013833.
 8. **S. V. Dmitriev, A. A. Sukhorukov and Yu. S. Kivshar.** Binary parity-time-symmetric nonlinear lattices with balanced gain and loss // *Opt. Lett.* – 2010. – 35. – P. 2976–2978.
 9. **Christian E. Rüter, Konstantinos G. Makris, Ramy El-Ganainy, Demetrios N. Christodoulides, Mordechai Segev and Detlef Kip** Observation of parity–time symmetry in optics // *Nat. Phys.* – 2010. – 6(3). – P. 192–195.
 10. **Ляхомская, К. Д.** Распространение излучения в нелинейном двухканальном PT-симметричном световоде / К.Д. Ляхомская, О.А. Обручков. – Текст : непосредственный // *Вестник ПГУ.* – 2019. – № 3(63). – С. 31–36.
 11. **Ляхомская, К. Д.** Особенности распространения лазерного излучения в массиве, состоящем из двух связанных бесконечных цепочек световодов / К. Д. Ляхомская. – Текст : непосредственный // *Вестник ПГУ.* – 2011. – № 3(39). – С. 14–18.
 12. **Коровай, О. В.** Ангармонические блоховские осцилляции в каплере из двух параллельных массивов световодов / О. В. Коровай, П. И. Хаджи, Д. А. Марков. – Текст : непосредственный // *Квантовая электроника.* – 2019. – 49. – № 2. – С. 150–156.
-

УДК 538.958

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ИМПУЛЬСА СВЕТА В СИСТЕМЕ ЭКСИТОНОВ В КВАНТОВЫХ ДОТАХ

Л. Ю. Надькин, К. Д. Ляхомская, О. В. Коровай

Рассмотрены законы дисперсии систем, состоящих из двух и трех квантовых дотов помещенных в микрорезонатор, частота которого близка к собственным частотам экситонных переходов квантовых дотов. Показано, что при учете тунелирования квазичастиц из одного квантового дота в другой наблюдаются трехветвенные и четырехветвенные законы дисперсии. Выявлены параметры, при которых возможно пересечение ветвей закона дисперсии, что свидетельствует о вырождении квазиэнергетических состояний.

Ключевые слова: квантовые доты, закон дисперсии, вырождение.

FEATURES OF THE INTERACTION OF THE POWERFUL PULSE OF LIGHT IN A SYSTEM OF EXCITONS IN QUANTUM DOTS

L. Yu Nad'kin, K. D. Lyakhomskaya, O.V. Korovai

The laws of dispersion of systems consisting of two and three quantum dots placed in a microresonator whose frequency is close to the natural frequencies of exciton transitions of quantum dots are considered. It is shown that when taking into account the tunneling of quasiparticles from one quantum dot to another, three-branched and four-branched dispersion laws are observed. The parameters at which the intersection of the branches of the law of dispersion is possible are revealed, that indicates the degeneracy of quasi-energetic states.

Keywords: quantum dots, law of dispersion, degeneracy.

Экситонные состояния играют важную роль в процессах изменения оптических свойств полупроводниковых квантовых точек [1–6]. Кроме того, явление туннельной индуцированной прозрачности может протекать в экситонных системах по сценарию, схожему с явлением индуцированной прозрачности в трехуровневой атомной системе, но не требующему применения поля накачки в экситонной системе [7]. Стройной теории, позволяющей распространить данную тематику на случай произвольного числа дотов, не су-

ществует до сих пор. Рассмотрению стартовых предельных случаев (двух и трех дотов) как раз и посвящена эта статья.

Рассмотрим результаты исследования закона дисперсии систем из двух и трех квантовых дотов, которые взаимодействуют с импульсом резонансного лазерного излучения и попарно взаимодействуют друг с другом. Гамильтониан взаимодействия фотона импульса и двух квантовых дотов можно представить в виде:

$$H_{int} = \left(\hbar g_1 (\hat{a}_1^+ \hat{c} + \hat{c}^+ \hat{a}_1) + \hbar g_2 (\hat{a}_2^+ \hat{c} + \hat{c}^+ \hat{a}_2) + \hbar \kappa (\hat{a}_1^+ \hat{a}_2 + \hat{a}_2^+ \hat{a}_1) \right), \quad (1)$$

где \hat{a}_j ($j = 1, 2$) – оператор уничтожения экситонов, находящихся в квантовых дотах j , \hat{c} – оператор фотонов, взаимодействующих с экситонами, g_i – константы экситонных переходов, κ – константа экситонных переходов из одного дота в другой. Собственные энергии экситонов в доте 1 и 2 равны соответственно $\hbar\omega_{01}$ и $\hbar\omega_{02}$ (рис. 1).

Фотон падающего импульса, описываемый оператором \hat{c} , имеет частоту ω . Фотоны импульса с энергией $\hbar\omega$ возбуждают экситоны в квантовых дотах. Эти переходы (рис. 1) являются оптически разрешенными однофотонными переходами. Предположим, что импульс электромагнитного излучения действует в течение времени, меньшего времени релаксации экситонов. В этом случае процессами релаксации можно пренебречь по сравнению с длительностью действия импульса.

Используя (1), легко получить уравнения движения для операторов \hat{a}_j и \hat{c} , после усреднения которых в приближении среднего поля (mean field approximation) получим систему нелинейных эво-

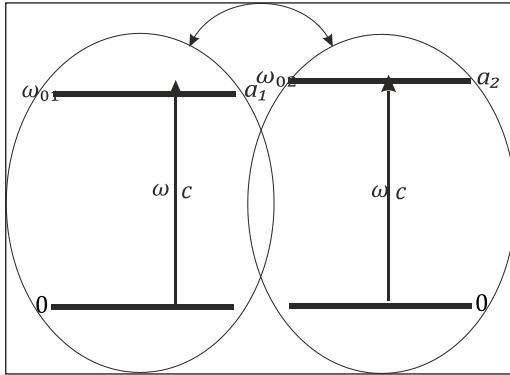


Рис. 1. Схема энергетического спектра экситонов в двух атомных дотах, взаимодействующих с фотонами резонатора с частотой ω

люционных уравнений для амплитуд $a_j = \langle \hat{a}_j \rangle$ ($j = 1, 2, 3$) и $c = \langle \hat{c} \rangle$:

$$\begin{cases} i\dot{a}_1 = \omega_{01}a_1 + g_1c + \kappa a_2, \\ i\dot{a}_2 = \omega_{02}a_2 + g_2c + \kappa a_1, \\ i\dot{c} = \omega_1c + g_1a_1 + g_2a_2. \end{cases} \quad (2)$$

При этом среднее значение от произведения нескольких операторов факторизуется в виде произведения средних значений каждого из операторов.

Система уравнений (2) является линейной. Решение ее будем искать в виде: $a_j, c \sim e^{-i\omega t}$, где ω – искомая собственная частота экситонных поляритонов. Тогда для стационарных амплитуд получаем алгебраическую систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} (\omega_{01} - \omega)a_1 + \kappa a_2 + g_1c = 0, \\ (\omega_{02} - \omega)a_2 + \kappa a_1 + g_2c = 0, \\ (\omega_1 - \omega)c + g_1a_1 + g_2a_2, \end{cases} \quad (3)$$

детерминант которой

$$\begin{vmatrix} \omega_{01} - \omega & \kappa & g_1 \\ \kappa & \omega_{02} - \omega & g_2 \\ g_1 & g_2 & \omega_1 - \omega \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

определяет закон дисперсии взаимодействующих экситонов в квантовых дотах и фотонов в окрестности частот экситонов. Проведя несложные преобразования (4)

$$\begin{vmatrix} \omega_{01} - \omega & \kappa & g_1 \\ \kappa & \omega_{02} - \omega & g_2 \\ g_1 & g_2 & \omega_1 - \omega \end{vmatrix} =$$

$$\begin{aligned}
&= (\omega_{01} - \omega) \begin{vmatrix} \omega_{02} - \omega & g_2 \\ g_2 & \omega_1 - \omega \end{vmatrix} - \kappa \begin{vmatrix} \kappa & g_2 \\ g_1 & (\omega_1 - \omega) \end{vmatrix} + \\
&\quad + g_1 \begin{vmatrix} \kappa & (\omega_{02} - \omega) \\ g_1 & g_2 \end{vmatrix} \quad (5)
\end{aligned}$$

и раскрывая далее детерминант, получим кубическое уравнение для определения частоты ω экситон-поляритонов:

$$\begin{aligned}
&(\omega - \omega_{01})(\omega - \omega_{02})(\omega - \omega_1) - g_2^2(\omega - \omega_{01}) - \\
&- g_1^2(\omega - \omega_{02}) - \kappa^2(\omega - \omega_1) - 2\kappa g_2 g_1 = 0. \quad (6)
\end{aligned}$$

Из (6) видно, что данное уравнение содержит два слагаемых, пропорциональных квадрату модуля соответствующих матричных элементов перехода и квадрату константы взаимодействия дотов друг с другом. Все три слагаемых выражения (6) описывают независимые вклады каждого из процессов в закон дисперсии, причем последнее слагаемое в (6) пропорционально произведению трех констант взаимодействия g_1, g_2 и κ . Его появление обусловлено одновременным действием всех трех процессов (квантовой интерференцией). Если хотя бы одна из констант взаимодействия равна нулю, то это слагаемое отсутствует.

Если сравнивать данное дисперсионное соотношение с соотношением, описывающим закон дисперсии экситон-поляритона, возникающего под действием мощной накачки в области М-полосы люминесценции [8–10], можно обратить

внимание на то, что они фактически совпадают. При этом процесс двухфотонного возбуждения биэкситонов соответствует процессу взаимодействия света со вторым дотом, а процессу экситон-биэкситонной конверсии – процессу туннелирования экситонов. Естественно, процессы, описанные в [8–10], представляют больший интерес, поскольку существует возможность управлять ими, меняя поле накачки. На практике изменение констант взаимодействия может быть реализовано путем смены изучаемого полупроводника либо изменением условий туннелирования квазичастиц между дотами.

Аналитические решения кубического уравнения (6) можно получить в виде зависимости собственной частоты $\omega(\omega_1)$. Однако более удобным оказывается построение и исследование обратной функции $\omega_1(\omega)$. Так, из (6) легко выразить:

$$\omega_1 = \omega - \frac{A}{\omega - \omega_+} - \frac{B}{\omega - \omega_-}, \quad (7)$$

где

$$\omega_{\pm} = \frac{1}{2} \left(\omega_{01} + \omega_{02} \pm \sqrt{(\omega_{01} - \omega_{02})^2 + 4\kappa^2} \right), \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
A &= - \frac{g_1^2 \omega_{02} + g_2^2 \omega_{01} - (g_1^2 + g_2^2) \omega_+ - 2\kappa g_2 g_1}{\omega_+ - \omega_-}, \\
B &= \frac{g_1^2 \omega_{02} + \omega_{01} - (g_1^2 + g_2^2) \omega_- - 2\kappa g_2 g_1}{\omega_+ - \omega_-}. \quad (9)
\end{aligned}$$

Здесь частоты ω_+ и ω_- являются аналогами поперечных частот теории экситон-поляритонов. Видно, что существуют две такие частоты. В предельном случае, когда $\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_0$, выражения (8, 9) принимают простой вид:

$$\omega_{\pm} = \omega_0 \pm \kappa, \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{2}(g_1^2 + g_2^2 - 2g_1g_2),$$

$$B = \frac{1}{2}(g_1^2 + g_2^2 + 2g_1g_2). \quad (11)$$

В этом пределе расщепление уровней определяется только κ , тогда как коэффициенты A и B в (7) зависят от двух других констант взаимодействия g_1 и g_2 , то есть если $g_1 = g_2$, коэффициент A равен нулю.

Для удобства введем расстройки резонансов: δ , δ_1 , δ_2 , нормированные на g_1 :

$$(\omega - \omega_{01}) = g_1\delta,$$

$$(\omega - \omega_1 + \omega_{01} - \omega_{01}) = g_1(\delta - \delta_1),$$

$$(\omega - \omega_{02} - \omega_{01} + \omega_{01}) = g_1(\delta - \delta_2). \quad (12)$$

Тогда дисперсионное уравнение (6) для определения δ приводится к виду:

$$g_1^3\delta(\delta - \delta_1)(\delta - \delta_2) - g_2^2g_1\delta - g_1^3(\delta - \delta_2) - g_1(\delta - \delta_1)\kappa^2 - 2\kappa g_2g_1 = 0. \quad (13)$$

Произведем нормировку констант взаимодействия на g_1 : $s = g_2 / g_1$, $\nu = \kappa / g_1$,

$$\delta(\delta - \delta_1)(\delta - \delta_2) - s^2\delta - (\delta - \delta_2) - \nu^2(\delta - \delta_1) - 2s\nu = 0, \quad (14)$$

$$\delta_1 = \delta - \frac{s^2\delta + (\delta - \delta_2) + 2s\nu}{\delta(\delta - \delta_2) - \nu^2}. \quad (15)$$

Рассмотрим случай, когда экситоны, возникающие в обоих дотах имеют одинаковую частоту: $\omega_{02} = \omega_{01}$, т. е. $\delta_2 = 0$.

На рис. 2 представлено поведение функции $\delta_1(\delta)$ при нескольких значениях параметров. Видно, что функция $\delta_1(\delta)$ состоит из трех ветвей. Каждая ветвь растет с увеличением δ . В полюсах, при $\delta = \pm\nu$, ветви стремятся к $\pm\infty$. Расстояния в сужениях между первой и второй, а также между второй и третьей ветвями растут с увеличением параметра s . Если же выполняется условие $g_1 = g_2$ (одинаковы константы взаимодействия) и $s = 1$, тогда:

$$\delta_1 = \delta - \frac{2}{\delta - \nu}. \quad (16)$$

В этом случае возникает пересечение между первой и второй ветвями (рис. 2, б) в точке с координатами $(\delta_1, \delta) = (-\nu + 1/\nu, -\nu)$. Как видно из (12) и рис. 2, при условии $s \neq 1$, пересечение ветвей отсутствует и минимальное расстояние между ветвями растет при изменении s .

Таким образом, при учете процесса перехода экситонов из одного дота в другой, в условиях равенства констант взаимодействия $g_1 = g_2$, возникает эффект пересечения ветвей функции $\delta_1(\delta)$.

Рассмотрим результаты исследования закона дисперсии трех квантовых дотов, взаимодействующих с импульсом резонансного лазерного излучения и попарно взаимодействующих друг с другом. Гамильтониан взаимодействия фотона импульса и квантовых дотов в этом случае будет иметь следующий вид:

$$H_{int} = (\hbar g_1 (\hat{a}_1^+ \hat{c} + \hat{c}^+ \hat{a}_1) + \hbar g_2 (\hat{a}_2^+ \hat{c} + \hat{c}^+ \hat{a}_2) +$$

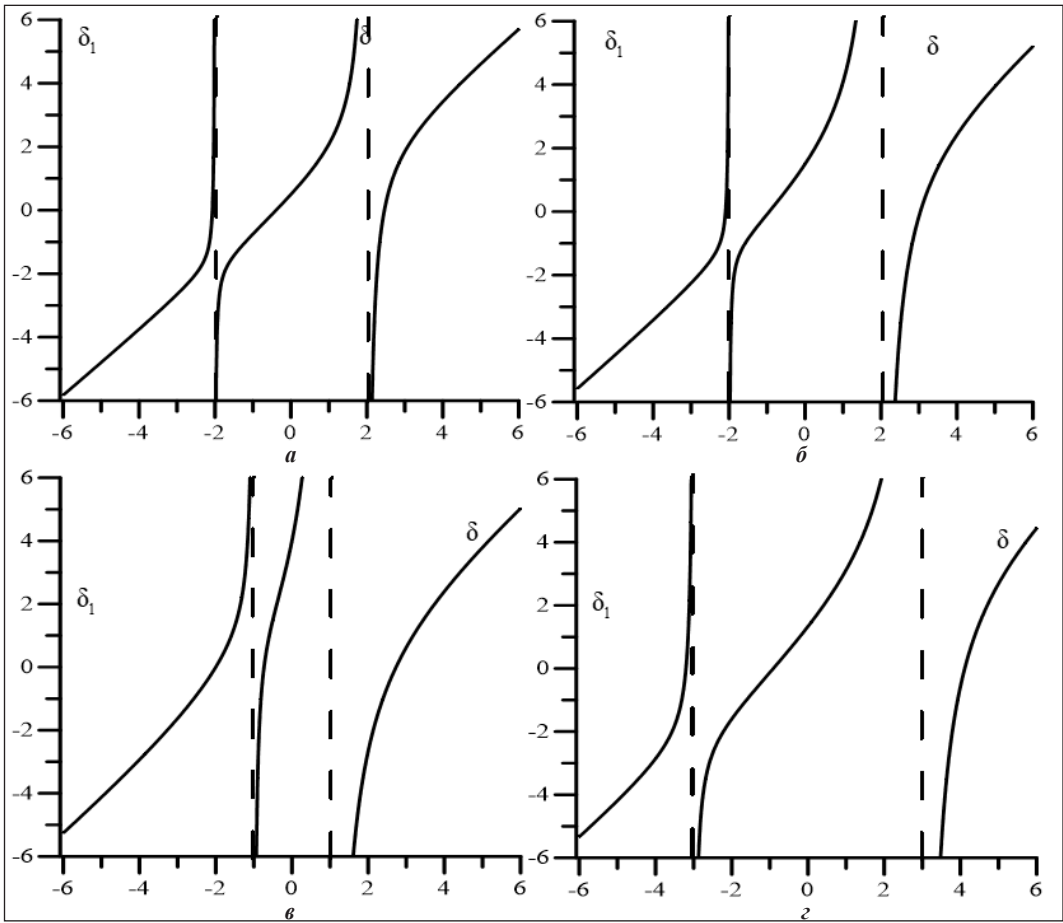


Рис. 2. Законы дисперсии экситон-поляритонов для системы из двух квантовых дотов при следующих наборах параметров: а) $v = 2, s = 0,5$; б) $v = 2, s = 1,5$; в) $v = 1, s = 1,5$; г) $v = 3, s = 1,5$

$$+ \hbar g_3 (\hat{a}_3^+ \hat{c} + \hat{c}^+ \hat{a}_3) + \hbar \kappa_1 (\hat{a}_1^+ \hat{a}_2 + \hat{a}_2^+ \hat{a}_1) + \hbar \kappa_2 (\hat{a}_2^+ \hat{a}_3 + \hat{a}_3^+ \hat{a}_2). \quad (17)$$

Используя подход, описанный выше, можно получить следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} i\dot{a}_1 = \omega_{01} a_1 + g_1 c + \kappa_1 a_2, \\ i\dot{a}_2 = \omega_{02} a_2 + g_2 c + \kappa_1 a_1 + \kappa_2 a_3, \\ i\dot{a}_3 = \omega_{03} a_3 + g_3 c + \kappa_2 a_2, \\ i\dot{c} = \omega_1 c + g_1 a_1 + g_2 a_2 + g_3 a_3. \end{cases} \quad (18)$$

В стационарном режиме находим определитель и, предполагая что частоты, константы взаимодействия и константы туннелированы между дотами и равны между собой, т. е. выполняются условия: $\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_{03} = \omega_0$, $g_1 = g_2 = g_3 = g$ и $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = \kappa$, дисперсионное соотношение примет следующий вид:

$$(\omega_0 - \omega) \left((\omega_0 - \omega) \left((\omega_0 - \omega) (\omega_1 - \omega) - g^2 \right) - \kappa (\kappa (\omega_1 - \omega) - g^2) + g (\kappa g - (\omega_0 - \omega) g) \right) -$$

$$\begin{aligned}
& -\kappa\left(\kappa\left((\omega_0 - \omega)(\omega_1 - \omega) - g^2\right) + \right. \\
& \quad \left. + \kappa g^2 - g\left((\omega_0 - \omega)g\right)\right) - \\
& -g\left(\kappa\left(\kappa g - (\omega_0 - \omega)g\right) + \right. \\
& \quad \left. + (\omega_0 - \omega)^2 g - g\kappa^2\right) = 0. \quad (19)
\end{aligned}$$

Введем расстройки резонансов δ , δ_1 , нормированные на g , и перенормируем константы:

$$(\omega - \omega_0) = g\delta, \quad (\omega - \omega_1 + \omega_0 - \omega_0) = g(\delta - \delta_1),$$

$$v = \kappa / g. \quad (20)$$

В результате получим уравнения:

$$\begin{aligned}
& -\delta\left(-\delta(\delta - \delta_1) - 1\right) + v\left(v(\delta - \delta_1) + 1\right) + \\
& + (v + \delta) - v\left(\kappa v(\delta(\delta - \delta_1) - 1) + v + \delta\right) - \\
& - (v(v + \delta) + \delta^2 - v^2) = 0, \quad (21)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \delta^3(\delta - \delta_1) - 3\delta^2 - \\
& - 2\delta v^2(\delta - \delta_1) - 4\delta v = 0, \quad (22)
\end{aligned}$$

$$\delta_1 = \delta - \frac{3\delta^2 + 4\delta v}{\delta(\delta^2 - 2v^2)}. \quad (23)$$

В этом случае пересечение ветвей закона дисперсии произойдет в точке с координатами $(\delta_1, \delta) = (2/v, 0)$. Асимптоты в данном случае возникнут при $\delta = 0$, $\delta = 1 - v\sqrt{2}$, $\delta = 1 + v\sqrt{2}$.

Далее рассмотрим случай, когда частоты, константы взаимодействия и константы туннелирования между дотами равны для первого и третьего дота, т. е.: $\omega_{01} = \omega_{03} = \omega_0$, $g_1 = g_3 = g$ и $V_1 = V_3 = V$. Учитывая введенные нормировки, дисперсионное соотношение примет вид:

$$\begin{aligned}
& \delta\left(\delta_1(\delta^2 - \delta\delta_2 - 2v^2) - \right. \\
& \quad \left. - \delta(s^2 + 2) - 4vs + 2\delta_2\right) = 0, \quad (24)
\end{aligned}$$

$$\delta_1 = \delta - \frac{\delta(\delta s^2 + 4vs + 2(\delta - \delta_2))}{\delta(\delta^2 - \delta\delta_2 - 2v^2)}. \quad (25)$$

Полюсами в данном случае являются точки $\delta = 0$, $\delta = \frac{1}{2}\delta_2 + \frac{1}{2}\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}$,

$\delta = \frac{1}{2}\delta_2 - \frac{1}{2}\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}$. Представление в виде неопределенных коэффициентов имеет вид:

$$\begin{aligned}
& \delta_1 = \delta - \frac{A}{\delta} - \frac{B}{\delta - \frac{1}{2}\delta_2 - \frac{1}{2}\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}} - \\
& - \frac{C}{\delta - \frac{1}{2}\delta_2 + \frac{1}{2}\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}}, \quad (26)
\end{aligned}$$

где $A = 0$,

$$\begin{aligned}
& B = \left((-v^2(s^2 - 4) - (vs - \delta_2)^2) + \right. \\
& + \sqrt{8v^2 + \delta_2^2}(\delta_2 - 2vs) \left. \right) \left(\sqrt{8v^2 + \delta_2^2} + \delta_2 \right) \times \\
& \times \left(4\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}v^2 \right)^{-1},
\end{aligned}$$

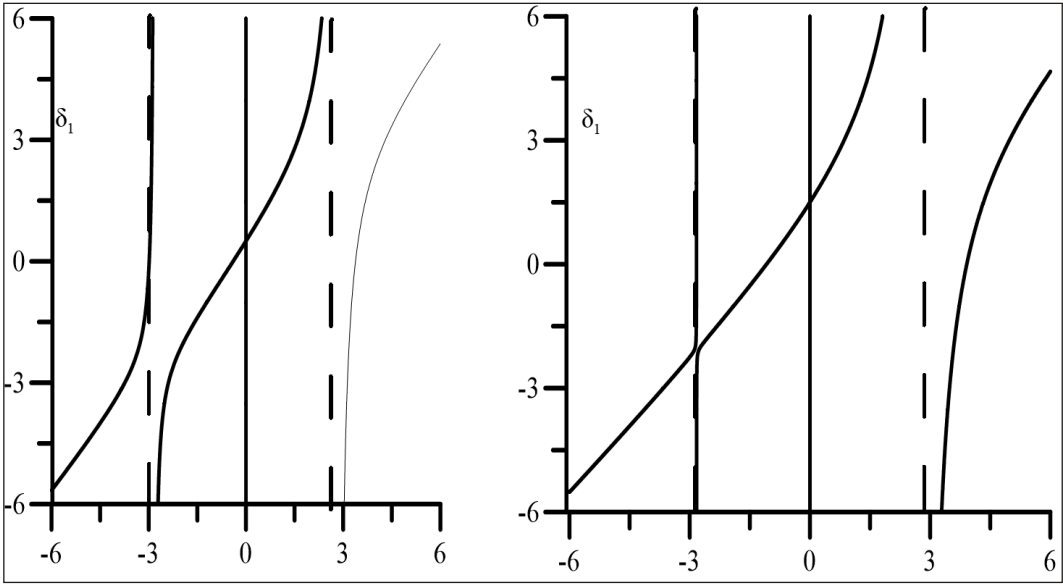


Рис. 3. Законы дисперсии экситон-поляритонов для системы из трех квантовых дотов при $\delta = 0$ $v = 2$ и а) $s = 0,5$, б) $s = 1,5$

$$C = \left((v^2(s^2 + 4) + (vs - \delta_2)^2 + \sqrt{8v^2 + \delta_2^2}(\delta_2 - 2vs)) \left(-\sqrt{8v^2 + \delta_2^2} + \delta_2 \right) \right) \times \left(4\sqrt{8v^2 + \delta_2^2}v^2 \right)^{-1}. \quad (27)$$

В случае если $\delta_2 = 0$, (27) приобретает вид:

$$\delta_1 = \delta + \frac{\sqrt{8s + s^2 + 2}}{2(\delta - \sqrt{2}v)} - \frac{\sqrt{8s - s^2 - 2}}{2(\delta + \sqrt{2}v)}. \quad (28)$$

На рис. 3 представлено поведение функции при нескольких значениях параметров. Видно, что функция $\delta_1(\delta)$ состоит из четырех ветвей. Каждая ветвь увеличивается с ростом δ . В полюсах, при $\delta = 0, \pm\sqrt{2}v$, ветви стремятся к $\pm\infty$. Расстояния в сужениях между первой и вто-

рой, а также между второй и третьей ветвями растут с увеличением параметра S . Из (10) видно, что при $\delta = 0$ пересечение ветвей закона дисперсии происходит при любой комбинации параметров. Однако, на рис. 3, б наблюдается пересечение ветвей закона дисперсии и при $\delta \neq 0$. Т. е. в данном случае наблюдается еще одно вырождение частот, обусловленное равенством нулю числителя третьего слагаемого (28). Это возможно если выполняется условие: $\sqrt{8s - s^2 - 2} = 0$, т. е. $s = \sqrt{2}$. При таких значениях параметров наблюдается двойное вырождение частот.

Цитируемая литература

1. Artuso, R. D., Bryant, G. W. Strongly coupled quantum dot-metal nanoparticle systems: Exciton-induced transparency, discontinuous

response, and suppression as driven quantum oscillator effects // *Phys.Rev.* – B 2010. – 82. – P. 195419.

2. **Kosionis, S. G.**, Paspalakis, E. Pump-probe optical response of semiconductor quantum dot-metal nanoparticle hybrids // *J. Appl.Phys.* – 2018. – 124. – P. 223104.

3. **Kosionis, S. G.**, Paspalakis, E. Control of self-Kerr nonlinearity in a driven coupled semiconductor quantum dot–metal nanoparticle structure// *J. Appl. Chem.* – C 2019. – 123. – P. 7308–7317.

4. **Kosionis, S. G.**, Paspalakis, E. Pump-probe optical response of an asymmetric double quantum dot molecule // *Phys. E Low Dimens. Syst. Nanostruct.* – 2015. – 73. – P. 126–134.

5. **Kosionis, S. G.** Four-wave mixing in an asymmetric double quantum dot molecule // *Superlatt. Microstr.* – 2018. – 118. – P. 152–159.

6. **Borges, H. S.**; Sanz, L.; Villas-Bôas, J. M.; Neto, Diniz, O. O.; Alcalde, A. M. Tunneling induced transparency and slow light in quantum dot molecules.// *Phys. Rev.* – B 2012. – 85. – P. 115425.

7. **Lu, X.-Q.**; Li, Z.-Z.; Jing, J., Xiong, W.; Li, T.-F.; Yu, T. Spectral features of the tunneling-induced transparency and the Autler-Townes doublet and triplet in a triple quantum dot // *Sci. Rep.* – 2018. – 8. – P. 3107.

8. **Хаджи, П. И.**, Надькин Л. Ю., Марков Д. А. Закон дисперсии экситон-поляритонов в условиях действия сильной накачки в области М-полосы люминесценции / П. И. Хаджи, Л. Ю. Надькин, Д. А. Марков. – Текст : непосредственный // *ФТТ.* – 2018. – Т. 60. – С. 660–665.

9. **Хаджи, П. И.** Законы дисперсии поляритонного типа для трехуровневых атомов, взаимодействующих с двумя импульсами лазерного излучения / П. И. Хаджи, О. В. Коровай, Л. Ю. Надькин. – Текст : непосредственный // *ЖЭТФ.* – 2019. – Т. 155. – вып. 4. – С. 620–635.

10. **Надькин, Л. Ю.** Несимметричное расщепление Аутлера–Таунса / Л. Ю. Надькин, О. В. Коровай, Д. А. Марков. – Текст : непосредственный // *Оптика и спектроскопия.* – 2021. – Т. 129. – вып. 3. – С. 272–281.

УДК 537.632

ДИНАМИКА СВЯЗЫВАНИЯ АТОМОВ ТРЕХ СОРТОВ БОЗЕ-КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ТОЧНОГО РЕЗОНАНСА

А. П. Зинган, О. Ф. Васильева, М. А. Обевзенко, Р. В. Пономаренко

Изучен процесс когерентного нелинейного взаимодействия атомов трех сортов с образованием трехатомных гетероядерных молекул в условиях точного резонанса при сверхнизких температурах. Получены периодические и аperiodические режимы эволюции.

Ключевые слова: *трехатомные гетероядерные молекулы, периодический и аperiodический режимы эволюции.*

DYNAMICS OF ATOM BINDING OF THREE TYPES BOSE-CONDENSED PARTICLES UNDER EXACT RESONANCE CONDITIONS

A. P. Zingan, O. F. Vasilieva, M. A. Obevzenko, R. V. Ponomarenko

The process of coherent nonlinear interaction of atoms of three types with the formation of triatomic heteronuclear molecules under exact resonance conditions at ultralow temperatures has been studied. Periodic and aperiodic modes of evolution are obtained.

Keywords: *triatomic heteronuclear molecules, periodic and aperiodic modes of evolution.*

Введение

Изучение бозе-конденсатов в последнее время является очень перспективной линией изучения свойств ультрахолодных молекулярных газов. В последние годы важным направлением является получение сложных, многоатомных молекул при сверхнизких температурах [1–12]. В [13] было описано существование трехатомных ефимовских резонансных молекул, которые впервые наблюдались в ультрахолодных газах в 2006 г. Тримерные молекулы наблюдались экспериментально в трехкомпонентных ферми-газах ${}^6\text{Li}$ [14,

15] и в бозе-газе атомов ${}^{39}\text{K}$ [16]. Этот факт открывает новые пути исследования многочастичных квантовых систем. Также недавно были получены тетрамеры в ультрахолодном газе цезиевых атомов. В приближении среднего поля были описаны свойства гомоядерных и гетероядерных тетрамеров [17, 18]. В [12] теоретически изучено образование стабильных гомо- и гетероядерных пентамеров из ультрахолодных атомов в процессе обобщенного стимулированного рамановского адиабатического прохождения.

В [19] с использованием модифицированной системы уравнений Гросса-Питаевского изучена динамика атомного и молекулярного бозе-эйнштейновских

конденсатов ^{87}Rb в сферически симметричной ловушке в процессе стимулированной рамановской фотоассоциации. Показано, что динамика системы существенно определяется не только межатомными взаимодействиями, но также атомно-молекулярными и межмолекулярными. Пространственно-временная эволюция атомов и молекул сводится к монотонному радикальному уменьшению плотности частиц в ловушке и осцилляционным колебаниям плотностей во времени.

В [20] сообщалось о генерации квантовой вырожденной Ферми-Ферми смеси двух атомов различных сортов ^6Li и ^{40}K охлажденным бозонным газом ^{87}Rb . Была описана комбинация методов для успешного охлаждения смеси. В частности, показано, что эффективность охлаждения газа ^6Li и ^{87}Rb повышается за счет присутствия атомов ^{40}K через каталитическое охлаждение. Из-за различных физических свойств этих двух компонентов квантовая вырожденная смесь Ферми-Ферми $^6\text{Li}-^{40}\text{K}$ является отличным вариантом для стабильной гетероядерной системы, позволяющей изучать некоторые до сих пор не до конца исследованные типы квантовой материи.

В [21] представлены результаты теоретического исследования явления фотоассоциации бозе-конденсированных ультрахолодных атомов и трехатомных молекул с образованием двухатомных гетероядерных димеров и атомов. Показана возможность существования синфазного и антифазного режимов эволюции системы, при которых возможен как периодический, так и аперiodический режим превращения атомов в молекулы.

Что касается практического применения конденсатов, то в работе [22] показано, как сильно взаимодействующие ультрахолодные бозонные газы в периодических потенциалах можно использовать в качестве проводников в цепи и как их можно использовать для построения атомных аналогов диодов и транзисторов с биполярным переходом. Таким образом, появляется возможность реализации атомного усилителя – устройства, которое позволяет управлять большим атомным током. Транзистор, представленный в [22], непосредственно служит этой цели, поскольку небольшие изменения тока базы приводят к большим изменениям тока коллектора. Отсюда открывается перспектива представления более сложных бистабильных устройств.

Создание мощных источников света и их применение при изучении физических свойств твердых тел, в частности полупроводников, открыло новый этап в исследовании бозе-конденсатов. В настоящее время интенсивно изучаются физические процессы в полупроводниках при больших уровнях возбуждения. С помощью лазеров удается генерировать как молекулы, состоящие из нескольких видов атомов, так и гомоядерные молекулы. В этих условиях оказывается существенным атомно-молекулярное взаимодействие, которое приводит к принципиально новым, коллективным эффектам. Исследования по физике бозе-эйнштейновской конденсации образуют ряд важных направлений: электронно-дырочные капли и плазма, когерентные нелинейные явления, в том числе явления самозахвата и др. [23–27].

Актуальность указанных исследований обусловлена, во-первых, необходимостью

детального изучения принципиально новых эффектов нелинейного взаимодействия света с веществом, во-вторых, возможностью создания на их основе новых приборов оптоэлектронной техники и, в-третьих, возможностью получения информации о свойствах вещества, в частности, о матричных элементах переходов, временах релаксации, спектре квазичастиц и т. д.

Постановка задачи. Основные результаты

В предлагаемой работе представлены результаты исследований, посвященные когерентному нелинейному взаимодействию атомов трех сортов с образованием трехатомных гетероядерных молекул. В этом случае можно представить гамильтониан взаимодействия H_{int} , описывающий единый процесс индуцированной атомно-молекулярной конверсии в виде:

$$H_{int} = \hbar g (\hat{a}_1^+ \hat{a}_2^+ \hat{a}_3^+ \hat{b} + \hat{a}_1 \hat{a}_2 \hat{a}_3 \hat{b}^+), \quad (1)$$

где g – константа взаимодействия. Используя (1), удалось получить систему гайзенберговских уравнений для соответствующих операторов:

$$\begin{cases} i \frac{d\hat{a}_1}{dt} = \omega_1 \hat{a}_1 + g \hat{a}_2^+ \hat{a}_3^+ \hat{b}, \\ i \frac{d\hat{a}_2}{dt} = \omega_2 \hat{a}_2 + g \hat{a}_1^+ \hat{a}_3^+ \hat{b}, \\ i \frac{d\hat{a}_3}{dt} = \omega_3 \hat{a}_3 + g \hat{a}_1^+ \hat{a}_2^+ \hat{b}, \\ i \frac{d\hat{b}}{dt} = \Omega \hat{b} + g \hat{a}_1 \hat{a}_2 \hat{a}_3. \end{cases} \quad (2)$$

Вводя далее в рассмотрение плотности частиц $n_1 = \hat{a}_1^+ \hat{a}_1$, $n_2 = \hat{a}_2^+ \hat{a}_2$, $n_3 = \hat{a}_3^+ \hat{a}_3$, $N = \hat{b}^+ \hat{b}$, задачу можно рассматривать, приведя ее к системе уравнений, описывающих эволюцию динамики атомно-молекулярной конверсии:

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = \frac{dn_2}{dt} = \frac{dn_3}{dt} = -gQ, \\ \frac{dN}{dt} = gQ, \\ \frac{dQ}{dt} = -\Delta R - 2g(Nn_1n_2 + Nn_1n_3 + Nn_2n_3 - n_1n_2n_3), \\ \frac{dR}{dt} = \Delta Q, \end{cases} \quad (3)$$

где Δ – расстройка резонанса.

Полученную систему необходимо дополнить начальными условиями:

$$\begin{aligned} n_{1,2,3}|_{t=0} &= n_{10,20,30}, \quad N|_{t=0} = N_0, \\ R|_{t=0} &= 2\sqrt{n_{10}n_{20}n_{30}N_0} \cos \theta_0, \\ Q|_{t=0} &= 2\sqrt{n_{10}n_{20}n_{30}N_0} \sin \theta_0. \end{aligned}$$

Используя систему дифференциальных уравнений для плотностей частиц (3), можно получить следующие интегралы движения

$$\begin{aligned} N + n_1 &= N_0 + n_{10}, \\ N + n_2 &= N_0 + n_{20}, \\ N + n_3 &= N_0 + n_{30}. \end{aligned} \quad (4)$$

Наконец, из (3) можно получить нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее временную эволюцию плотности молекул $N(t)$, которое при $\Delta = 0$ можно представить в виде $\dot{N}^2 + W(N) = E_0$,

где $W(N) = -4N(N_0 + n_{10} - N)(N_0 + n_{20} - N) \times$
 $\times (N_0 + n_{30} - N),$

$$E_0 = -4n_{10}n_{20}n_{30}N_0 \cos^2 \theta_0. \quad (5)$$

Здесь \dot{N}^2 , $W(N)$ и E_0 играют роль кинетической, потенциальной и полной энергий нелинейного осциллятора соответственно, колебания которого происходят в той области значений N , где $W(N) \leq E_0$.

Рассматривая более простой случай, когда плотности атомов равны в начальный момент времени $n_{10} = n_{20} = n_{30} = n_0$ и начальная разность фаз θ_0 равна $\pi/2$, удается получить точное аналитическое решение для плотности трехатомных молекул

$$N = \frac{(N_0 + n_0) \left(\pm g(N_0 + n_0)t + \sqrt{N_0/n_0} \right)^2}{1 + \left(\pm g(N_0 + n_0)t + \sqrt{N_0/n_0} \right)^2}. \quad (6)$$

Видно, что в этом случае связывание атомов в молекулы происходит аperiодическим образом. В начальный момент плотность молекул равна N_0 . Затем плотность молекул либо увеличивается с течением времени, достигая значения $N_0 + n_0$, либо уменьшается до нуля в момент времени

$$t_0 = \frac{\sqrt{N_0/n_0}}{g(N_0 + n_0)},$$

а далее увеличивается также до значения $N_0 + n_0$, чем эволюция и завершается (рис. 1).

Пусть теперь плотности атомов различны в начальный момент времени и $n_{10} < n_{20} < n_{30}$, но начальная разность фаз по-прежнему равна $\pi/2$. Тогда динамика атомно-молекулярной конверсии су-

щественно отличается от предыдущего рассмотренного случая. Также удается получить точное аналитическое решение для плотности трехатомных молекул

$$N = (N_0 + n_{30})(N_0 + n_{10}) \times$$

$$\times sn^2 \left(\pm g \sqrt{(n_{30} - n_{10})(N_0 + n_{20})} t + F(\varphi_0, k) \right) \times$$

$$\times \left(n_{30} - n_{10} + (N_0 + n_{10}) \times \right.$$

$$\left. \times sn^2 \left(\pm g \sqrt{(n_{30} - n_{10})(N_0 + n_{20})} t + F(\varphi_0, k) \right) \right)^{-1}$$

$$\varphi_0 = \arcsin \left(\sqrt{\frac{N_0}{n_{30}} \frac{n_{30} - n_{10}}{N_0 + n_{10}}} \right), \quad (7)$$

$$k^2 = \frac{N_0 + n_{10}}{N_0 + n_{20}} \frac{n_{30} - n_{20}}{n_{30} - n_{10}}.$$

Следовательно, плотность молекул изменяется со временем периодически, причем амплитуда колебаний существенно определяется начальными плотностями атомов и молекул, а период колебаний выражается как

$$T = \frac{2K(k)}{g \sqrt{(n_{30} - n_{10})(N_0 + n_{20})}}. \quad (8)$$

Здесь $sn(x)$ – эллиптическая функция Якоби с модулем k , а $F(\varphi_0, k)$ – неполный эллиптический интеграл первого рода с модулем k и $K(k)$ – полный эллиптический интеграл первого рода с модулем k [28, 29].

В том же приближении, но при начальной плотности одной из частиц равной нулю, также получены решения:

при $N_0 = 0$

$$N = \frac{n_{30}n_{10}sn^2 \left(g\sqrt{n_{20}(n_{30}-n_{10})}t \right)}{n_{30}-n_{10} + n_{10}sn^2 \left(g\sqrt{n_{20}(n_{30}-n_{10})}t \right)},$$

$$k^2 = \frac{n_{10}}{n_{20}} \frac{n_{30}-n_{20}}{n_{30}-n_{10}},$$

$$T = \frac{2K(k)}{g\sqrt{n_{20}(n_{30}-n_{10})}}; \quad (9)$$

при $N_0 = 0$ и $n_{30} = n_{20}$

$$N = \frac{n_{20}n_{10}\sin^2 \left(g\sqrt{n_{20}(n_{20}-n_{10})}t \right)}{n_{20}-n_{10}\cos^2 \left(g\sqrt{n_{20}(n_{20}-n_{10})}t \right)},$$

$$T = \frac{\pi}{g\sqrt{n_{20}(N_0+n_{20})}}; \quad (10)$$

при $n_{10} = 0$

$$N = \frac{N_0cn^2 \left(g\sqrt{n_{30}(N_0+n_{20})}t \right)}{1 - \frac{N_0}{N_0+n_{20}}sn^2 \left(g\sqrt{n_{30}(N_0+n_{20})}t \right)},$$

$$T = \frac{2K(k)}{g\sqrt{n_{30}(N_0+n_{20})}}; \quad (11)$$

при $n_{10} = 0$ и $n_{30} = n_{20}$

$$N = \frac{N_0\cos^2 \left(g\sqrt{n_{20}(N_0+n_{20})}t \right)}{1 - \frac{N_0}{N_0+n_{20}}\sin^2 \left(g\sqrt{n_{20}(N_0+n_{20})}t \right)},$$

$$T = \frac{\pi}{g\sqrt{n_{20}(N_0+n_{20})}}. \quad (12)$$

На рис. 2 представлен график временной эволюции плотности молекул при различных значениях параметра n_{10}/n_{20} в случае $N_0 = 0$ и $n_{30} = n_{20}$. Видно, что при $n_{10} \neq n_{20}$ имеет место колебательный режим эволюции плотности молекул, а при $n_{10} = n_{20}$ эволюция становится аperiodической. Амплитуда и период колебаний зависят от начальных плотностей частиц. С ростом параметра n_{10}/n_{20} от нуля до единицы амплитуда

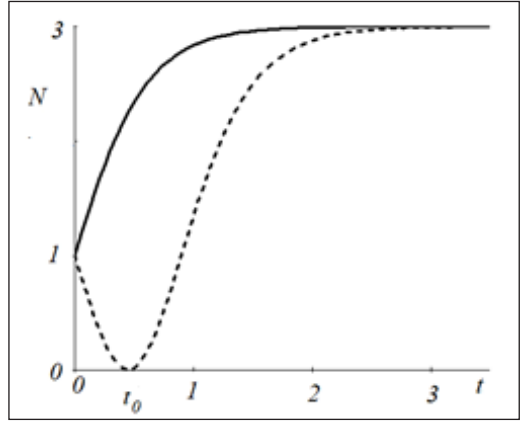


Рис. 1. Динамика плотности трехатомных молекул в условиях точного резонанса в случае, когда плотности атомов равны в начальный момент времени $n_{10} = n_{20} = n_{30} = n_0$ и начальная разность фаз равна $\pi/2$

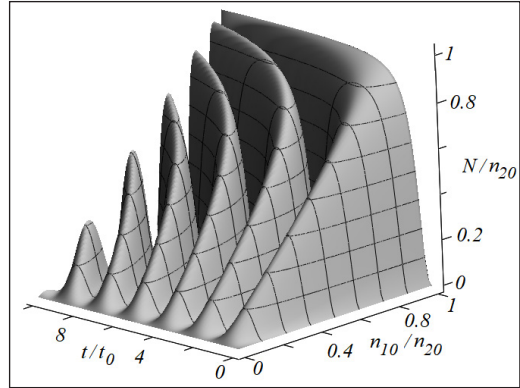


Рис. 2. Временная эволюция плотности молекул при различных значениях параметра n_{10}/n_{20} при $N_0 = 0$ и $n_{30} = n_{20}$

колебаний монотонно растет. При этом период колебаний T монотонно убывает при удалении от точки $\frac{n_{10}}{n_{20}} = 1$, в которой он

расходится, что свидетельствует об аperiodичности эволюции. При $n_{10} = n_{20}$ реакция атомно-молекулярной конверсии является необратимой и сводится к связыванию всех атомов в молекулы.

На рис. 3 представлен график временной эволюции плотности молекул при различных значениях параметра N_0/n_{20} в случае $n_{10} = 0$ и $n_{30} = n_{20}$. Видно, что как при $N_0 \neq n_{20}$ имеет место колебательный режим эволюции плотности молекул, так и при $N_0 = n_{20}$. Амплитуда и период колебаний зависят от начальных плотностей частиц. С ростом параметра N_0/n_{20} от нуля до единицы амплитуда колебаний монотонно растет. При начальной плотности молекул равной нулю эволюция в системе атомов и молекул не происходит, это связано с отсутствием стимулирования реакции.

Рассматривая другие приближения, можно убедиться, что возможна также периодическая эволюция превращения ато-

мов в молекулы и обратно, а также режим покоя в системе.

Закключение

Таким образом, из представленных результатов можно сделать вывод о том, что динамика атомно-молекулярной конверсии в общем случае, без применения приближений заданных начальных плотностей частиц, является периодической и состоит в циклическом распаде и связывании атомов в тримеры. В общем случае возможен этот вывод только на основе исследования поведения потенциальной энергии. Что касается аperiodической динамики, то она возможна только в случае равных начальных плотностей атомов, и в этом случае удастся получить точное аналитическое решение. Временная эволюция атомов и молекул в процессе стимулированной конверсии существенно определяется начальными плотностями частиц и начальной разностью фаз, что позволяет эффективно управлять динамикой конверсии.

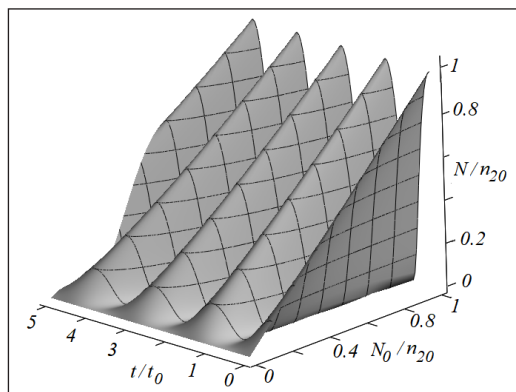


Рис. 3. Временная эволюция плотности молекул при различных значениях параметра N_0/n_{20} при $n_{10} = 0$ и $n_{30} = n_{20}$

Цитированная литература

1. **Burchianti, A. C.** Dual-species Bose-Einstein condensate of 41K and 87Rb in a hybrid trap/ A. C. Burchianti // *Phys. Rev.* – 2018. – A 98. – P. 063616.
2. **Wang, K.** Preparation of a heteronuclear two-atom system in the three-dimensional ground state in an optical tweezer / K. Wang // *Phys. Rev.* – 2019. – A 100. – P. 063429.
3. **Voges, K.** Formation of ultracold weakly bound dimers of bosonic $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ / K. Voges // *Phys. Rev.* – 2020. – A 101. – P. 042704.

4. **Hood, J. D.** Multichannel interactions of two atoms in an optical tweezer / J. D. Hood // *Phys. Rev.* – 2020. – R 2. – P. 023108.
5. **Gregory, P.** Loss of Ultracold $87\text{Rb}133\text{Cs}$ Molecules via Optical Excitation of Long-Lived Two-Body Collision Complexes / P. Gregory // *Phys. Rev. Lett.* – 2020. – 124. – P. 163402.
6. **Wang, X.** Observation of state-to-state hyperfine-changing collisions in a Bose-Fermi mixture of 6Li and 41K atoms / X. Wang // *Phys. Rev.* – 2020. – A 101. – P. 041601.
7. **Wang, F.** Observation of resonant scattering between ultracold heteronuclear Feshbach molecules / F. Wang // *Phys. Rev.* – 2019. – A 100. – P. 042706.
8. **Liu, L.** Observation of Interference between Resonant and Detuned stirap in the Adiabatic Creation of $23\text{Na}40\text{K}$ Molecules / L. Liu // *Phys. Rev. Lett.* – 2019. – 122. – P. 253201.
9. **Guijarro, G.** Few-body bound states of two-dimensional bosons / G. Guijarro // *Phys. Rev.* – 2020. – A 101. – P. 041602.
10. **Dey, A.** Interaction-induced instability and chaos in the photoassociative stimulated Raman adiabatic passage from atomic to molecular Bose-Einstein condensates / A. Dey // *Phys. Rev.* – 2020. – A 101. – P. 053627.
11. **Meng, S.-Y.** Instability, adiabaticity and controlling effects of external fields for the dark state in a heteronuclear atom-tetramer conversion system / S.-Y. Meng, X.-H. Chen, S.-N. Ning, J.-M. Wen, L.-B. Fu // *Journal of Physics.* – 2014. – B47. – P. 185303.
12. **Dou, F.-Q.** Creating pentamer molecules by generalized stimulated Raman adiabatic passage / F.-Q. Dou, S.-C. Li, H. Cao, L.-B. Fu // *Phys. Rev.* – 2012. – A85. – P. 023629.
13. **Kraemer, T.** Evidence for Efimov quantum states in an ultracold gas of caesium atoms / T. Kraemer, M. Mark, P. Waldburger, J. G. Danzl et. al // *Nature.* – 2006. – № 440. – P. 315 – 318.
14. **Ottenstein, T. B.** Collisional Stability of a Three-Component Degenerate Fermi Gas / T. B. Ottenstein, T. Lompe, M. Kohnen, A. N. Wenz, S. Jochim // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – № 101. – P. 203202.
15. **Hucknaus, J. H.** Three-Body Recombination in a Three-State Fermi Gas with Widely Tunable Interactions / J. H. Hucknaus, J. R. Williams, E. L. Hazlett, R. W. Stites, K. M. O'Hara // *Phys. Rev. Lett.* – 2009. – № 102. – P. 165302.
16. **Zaccanti, M.** Observation of an Efimov spectrum in an atomic system / M. Zaccanti, B. Deissler, C. D'Errico, M. Fattori, M. Jona-Lasinio // *Nature Physics.* – 2009. – № 5. – P. 586 – 591.
17. **Jing, H.** Surface breathers in discrete magnetic metamaterials / H. Jing, Y. Jiang // *Physical Review.* – 2008. – E77. – P. 065601.
18. **Li, G. Q.** Formation of a heteronuclear tetramer A_3B via Efimov-resonance-assisted stimulated Raman adiabatic passage / G. Q. Li, P. Peng // *Phys. Rev.* – 2011. – A83. – P. 043605.
19. **Gupta, M.** An analytical approach for the nonlinear modified Thomas-Fermi equation to derive the ground-state and dynamic properties of a spherically and cylindrically trapped Bose-Einstein condensate / M. Gupta, K. R. Dastidar // *Journal of Physics.* – 2008. – B41. – P. 195302.
20. **Taglieber, M.** Quantum Degenerate Two-Species Fermi-Fermi Mixture Coexisting with a Bose-Einstein Condensate / M. Taglieber // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – № 100. – P. 010401.
21. **Зинган, А. П.** Динамика бозе-конденсированных ультрахолодных атомов и тримерных молекул с образованием атомно-молекулярных пар / А. П. Зинган, О. Ф. Васильева, П. И. Хаджи. – Текст : непосредственный // *ЖЭТФ.* – 2019. – № 156. – С. 843.
22. **Seaman, B. T.** Atomtronics: ultracold atom analogs of electronic devices / B. T. Seaman // *Phys. Rev.* – 2007. – A75. – P. 023615.
23. **Zin, P.** Quantum Bose-Bose droplets at a dimensional crossover / P. Zin, M. Pylak, T. Wasak, M. Gajda, Z. Idziaszek // *Phys. Rev.* – 2018. – A98. – P. 051603.
24. **Tanzi, L.** Feshbach resonances in potassium Bose-Bose mixtures / L. Tanzi, C. R. Cabrera, J. Sanz, P. Cheiney, M. Tomza, L. Tarruell // *Phys. Rev.* – 2018. – A98. – P. 062712.

25. **Grether, M.** Bose-Einstein Condensation in the Relativistic Ideal Bose Gas / M. Grether, M. de Llano, A. George // *Phys. Rev. Lett.* – 2007. – № 99. – P. 200406.
26. **Grusdt, F.** Strong-coupling Bose polarons in a Bose-Einstein condensate / F. Grusdt, R. Schmidt, Y. E. Shchadilova, E. Demler // *Phys. Rev.* – 2017. – A96. – P. 013607.
27. **Wang, B.** Self-trapping and tunneling of Bose-Einstein condensates in a cavity-mediated triple-well system / B. Wang, H. Zhang, Y. Chen, L. Tan // *Eur. Phys. J. D.* – 2017. – Vol. 71. – P. 56.
28. **Градштейн, И. С.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – Текст : непосредственный // Наука. – 1971.
29. **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Текст : непосредственный // Наука. – 1968.

УДК 535.37+621.383.4+546.23.48

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ФОТОПРИЕМНИКА НА ОСНОВЕ СЛОЕВ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ

В. И. Чукита, А. В. Воронов, В. С. Фещенко, В. Н. Чебан, В. В. Косюк

Представлены экспериментальные результаты исследования характеристик и параметров 4-контактных позиционно-чувствительных фотоприемников на основе фоточувствительных слоев CdSe/слиуда. На основании полученных экспериментальных данных построены диаграммы чувствительности от толщины фотоприемного элемента и от величины входного тока, полярные диаграммы чувствительности для различных безразмерных радиусов оптического зондирования.

Ключевые слова: квазизамкнутый объем, 4-контактный позиционно-чувствительный фотоприемник, селенид кадмия (CdSe), фоточувствительные слои, кратность фотоответа.

CHARACTERISTICS OF A POSITION-SENSITIVE PHOTODETECTOR BASED ON CADMIUM SELENIDE LAYERS

V. I. Chukita, A. V. Voronov, V. S. Feshchenko, V. N. Cheban, V. V. Cosiuc

Experimental results of studying the characteristics and parameters of 4-contact position-sensitive photodetectors based on CdSe/mica photosensitive layers are presented. On the basis of the obtained experimental data, diagrams of sensitivity by the thickness of the photodetector element and by the value of the input current, polar diagrams of sensitivity for various dimensionless radii of optical sounding are plotted.

Keywords: quasi-closed volume, epitaxial layers, photoconductivity, spectral distribution of photoconductivity, kinetics of photoconductivity, multiplicity of photoresponse.

Исследование новых типов полупроводниковых позиционно-чувствительных фотоприемников (ППЧФ), составляющих элементную базу современной электроники, связано с решением важных научных и прикладных задач применения фотоприемников [1, 2].

Полупроводниковые позиционно-чувствительные фотоприемники применяются в различных областях науки и техники и предназначены для регистрации и преобразования в аналоговый [3] или цифровой [4] электрический сигнал информации о пространственных перемещениях механических и светоизлучающих объектов, обнаружения источника излучения, бесконтактного определения расстояния, определения линейных и угловых координат облученной области в режиме реального времени [5, 6]. К настоящему времени известны позиционно-чувствительные фотоприемники на основе однородных полупроводниковых слоев с нетрадиционной схемой расположения и коммутации электрических контактов. В зависимости от конструкции они позволяют фиксировать местоположения излучающего объекта по одной и двум координатам [7–10].

В настоящее время для позиционно-чувствительных фотоприемников представляется перспективным и технически возможным использование в качестве светоприемной основы полупроводниковые фоточувствительные слои селенида кадмия (CdSe). Такие слои обладают высокой фоточувствительностью в видимой области спектра и наибольшей кратностью фототовета среди широкозонных соединений группы $A^{IV}B^{VI}$.

Следовательно, возникает необходимость в экспериментальном исследовании характеристик позиционной чувствительности 4-контактных фотоприемников на основе слоев селенида кадмия, необходимых для изготовления позиционно-чув-

ствительных фотоприемников с улучшенными характеристиками.

Позиционно-чувствительные фотоприемники изготавливались на основе слоев CdSe методом термического испарения в квазизамкнутом объеме в вакууме ($P \leq 10^{-4}$ Па). Методика выращивания слоев изложена в нашей статье [11]. Слои выращивались в форме диска с толщиной $d \geq 6$ мкм и радиусом $R = 9$ мм. Удельное электросопротивление полученных слоев в зависимости от режимов осаждения изменялось от 10^6 до 10^9 Ом·см. Кратность их фототовета при 300 К и освещенности 200 лк составляла величину 10^4 . Измерения параметров и характеристик проводились при 300 К.

На рис. 1 приведена схема включения 4-контактного ППЧФ. Она состоит из однородного полупроводникового слоя, по краям которого наносятся четыре линейных омических контакта (А, В, С, D), располагающихся в вершинах квадрата. К одной паре контактов (А и С), размещенных на концах его диагонали, подключается источник входного стабилизированного напряжения, и через фотоприемный элемент пропускается ток $I_{ВХ}$. К двум другим контактам (В и D), расположенным на эквипотенциальной линии поля, подключается резистор нагрузки, с которого снимается «поперечное» выходное напряжение $U_{ВЫХ}$, возникающее при локальной засветке поверхности приемного элемента ППЧФ.

Выходные характеристики ППЧФ определялись величиной выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, зависящего от местоположения и интенсивности светового пятна,

а также от величины входного тока. Входное сопротивление 4-х контактных ППЧФ изменялось в пределах 20 кОм ÷ 24 МОм.

Оптическое зондирование поверхности приемного элемента ППЧФ осуществлялось по кругу с помощью источника излучения, представляющего собой твердотельный лазер LD – 67005W с длиной волны 630 нм и средней мощностью 5 мВт. Луч лазера направляли перпендикулярно поверхности приемного элемента и фокусировали в пятно радиусом $a \approx 0,5$ мм. Текущие значения измеряемых величин контролировали универсальным вольтметром В7-21А.

Установлено [12,13], что выходной сигнал $U_{\text{ВЫХ}}$ такого ППЧФ зависит от местоположения, радиуса и интенсивности L светового пятна, ($\delta\sigma \sim L$), а также от величины тока $I_{\text{ВХ}}$ и определяется следующим выражением:

$$U_{\text{ВД}} = \frac{\delta\sigma}{\sigma} \cdot \frac{a^2}{R^2} \cdot \frac{I_{\text{ВХ}}}{\pi\sigma d} \cdot \frac{8r_{00}^2 \sin 2\Theta}{(1-r_{00}^4)^2 + 4r_{00}^4 \sin^2 2\Theta}, \quad (1)$$

где $r_{00} = r_0/R$ – безразмерный радиус оптического зондирования, r_0 – модуль радиус-

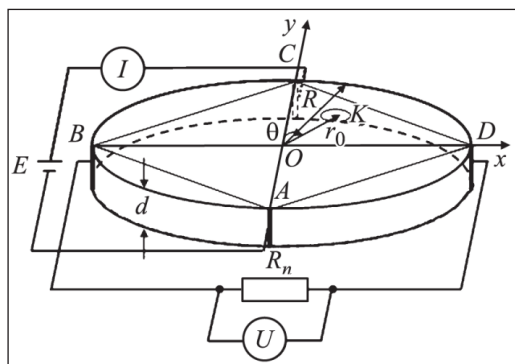


Рис. 1. Схема включения 4-контактного ППЧФ с «привязкой» координат исследуемых точек и пятна засветки

вектора пятна засветки, a – радиус пятна засветки, Θ – угол между вектором \vec{r}_0 и положительным направлением оси X, R и d – радиус и толщина полупроводникового диска соответственно, σ – удельная темновая электропроводность и $\delta\sigma$ – ее изменение при локальной засветке в точке $K(\vec{r}_0)$. При выводе соотношения (1) относительная величина фототовета в области засветки приемного элемента характеризовалась неравенством $\delta\sigma/\sigma \ll 1$. Кроме того, в формуле (1) при проведении расчетов сделано допущение об отсутствии размытия пятна неравновесных носителей под действием внешнего электрического поля.

На рис. 2 представлена конструкция 4-контактного ППЧФ. Фоточувствительный слой селенида кадмия методом термического испарения в вакууме осаждается на ориентирующую поверхность (0001)

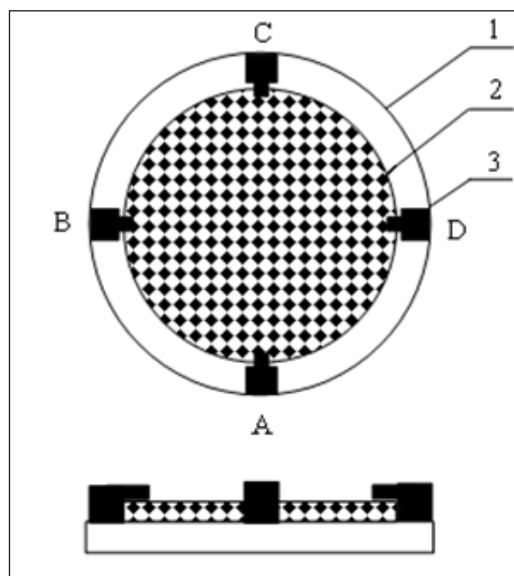


Рис. 2. Конструкция 4-контактного ППЧФ на основе слоев CdSe; 1 – диэлектрическая подложка (слода); 2 – полупроводниковый слой CdSe; 3 – А, В, С, D – индиевые контакты

диэлектрической подложки слюды (мусковит). Толщина слоя CdSe в зависимости от технологических режимов варьировалась в пределах от 6 до 120 мкм. Напылением в вакууме на боковую и лицевую поверхность полупроводникового слоя наносились линейные индиевые контакты А, В, С, D. Площадь одного контакта составляла $(2,0 \times 2,0)$ мм² при толщине 2 мкм. Для предотвращения внешних факторов fotocувствительный полупроводниковый слой покрывался специальным защитным лаком марки ЭП-9114.

На рис. 3 представлены экспериментальные зависимости выходного напряжения ППЧФ от величины входного тока через светоприемный элемент CdSe. Видно, что зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВХ}})$, как и следует из формулы (1), описывается линейной функцией. При этом с ростом величины безразмерного радиуса засветки светоприемного элемента и заданной величине его центрального угла Θ , наклон прямой $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВХ}})$ так же возрастает, что не противоречит теоретическим расчетам.

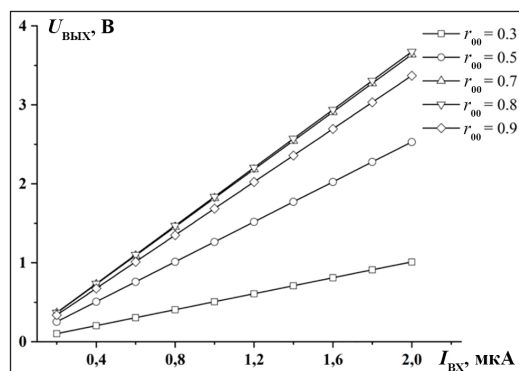


Рис. 3. Зависимости величины выходного напряжения ППЧФ от величины входного тока образца № 7, при 300 К для пяти безразмерных радиусов оптического зондирования $r_{00} = 0,3; 0,5; 0,7; 0,8; 0,9$; при $\Theta = \pi/4$ и $L = 10^3$ лк

Линейная зависимость выходного сигнала ППЧФ от величины входного тока и интенсивности зондирующего луча свидетельствует о том, что удельная спектральная чувствительность исследуемых ППЧФ, определяемая величиной выходного напряжения, отнесенного к единичным значениям тока, протекающего через фотоприемник и мощности оптического зонда не зависит от величины внешних факторов.

Зависимости выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от толщины слоев CdSe представлены на рис. 4. Кривые снимались при фиксированных значениях величины входного тока $I_{\text{ВХ}} = 1$ мкА и освещенности $L = 10^3$ лк, для безразмерных радиусов $r_{00} = 0,3; 0,5; 0,7$. Видно, что экспериментальные зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(d)$ носят нелинейный характер. Наибольшие значения выходного напряжения ППЧФ наблюдается у образцов с меньшей толщиной слоя CdSe. Однако с уменьшением толщины слоев CdSe уменьшается и электропроводность [14], что приводит к необходимости

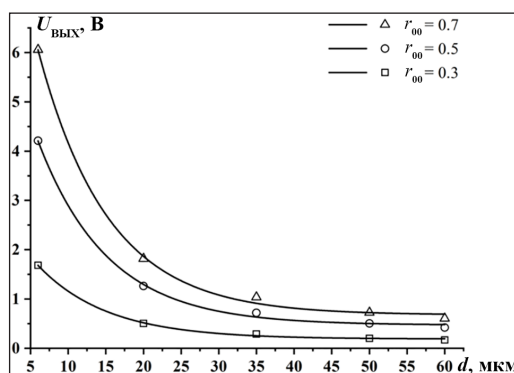


Рис. 4. Экспериментальные зависимости выходного напряжения ППЧФ при 300 К, $I_{\text{ВХ}} = 1$ мкА, $L = 10^3$ лк, для безразмерных радиусов $r_{00} = 0,3; 0,5; 0,7$

использования более высоких питающих напряжений. Из выражения (1) следует, что при прочих равных условиях (I , L , $\vec{r}_0 = \text{const}$) величина выходного сигнала ППЧФ обратно пропорциональна толщине полупроводникового слоя приемного элемента, что коррелирует с экспериментальными результатами.

Для ППЧФ использовались слои CdSe такой толщины, при которой напряжение питания не превышало 20 В. В этом случае выходной сигнал измерялся с помощью приборов, имеющих чувствительность порядка 10^{-3} В.

Исследования позиционной чувствительности проводились при 300 К, фиксированном значении входного тока $I_{\text{вх}} = 1,4$ мкА и интенсивности локальной засветки $L = 10^3$ лк. При построении диаграмм на радиус-векторах, проведенных из начала полярных координат X и Y , связанных с центром «О» фронтальной поверхности диска, под соответствующим углом

Θ , откладывались в выбранном масштабе абсолютные значения выходного сигнала.

На рис. 5 представлена экспериментальная полярная диаграмма (сплошная линия) выходного напряжения $U_{\text{ВД}}$ фотоприемного элемента для безразмерного радиуса $r_{00} = 0,3$. Видно, что диаграмма выходного напряжения ППЧФ имеет 4-лепестковую форму близкую к квадратной. В каждом квадранте напряжение $U_{\text{ВД}}$ возрастало по абсолютному значению за исключением засветки точек, расположенных на осях X и Y . Знак напряжения $U_{\text{ВД}}$ менялся при переходе от одного квадранта светоприемного элемента к соседнему и достигал максимального значения при локальной засветке его точек вблизи биссектрис углов между осями X и Y , т. е. в точках, характеризующихся радиус-векторами

$$\vec{r}_0 = \left(r_0; \theta = (2n+1)\frac{\pi}{4}, n = 0, 1, 2, 3 \right).$$

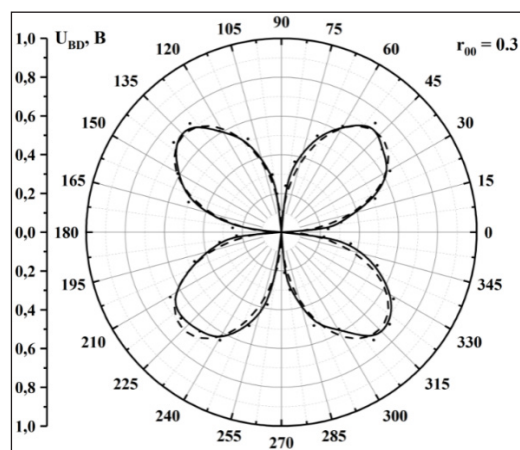


Рис. 5. Экспериментальная полярная диаграмма зависимости выходного напряжения ППЧФ от координат светового зонда для безразмерного радиуса $r_{00} = r_0/R = 0,3$ при $I_{\text{вх}} = 1,4$ мкА и $d = 20$ мкм

На рис. 6 представлена экспериментальная полярная диаграмма (сплошная линия) выходного напряжения $U_{\text{ВД}}$ для безразмерного радиуса $r_{00} = 0,7$. Из графика видно, что наблюдается изменение формы экспериментальной зависимости, что подтверждается появлением двух максимумов у теоретической зависимости (штриховая линия). Исследования показывают, что с увеличением r_{00} максимумы функции $U_{\text{ВД}} = f(r_{00}, \Theta)$ смещаются к ближайшим осям X и Y . При засветке точек приемного элемента, находящихся на осях X и Y , выходной сигнал равен нулю.

На рис. 7 приведены экспериментальные зависимости (кривые 1, 2) выходного

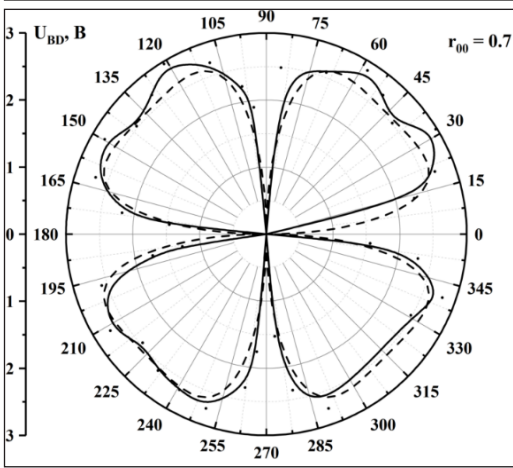


Рис. 6. Экспериментальная полярная диаграмма зависимости выходного напряжения ППЧФ от координат светового зонда для безразмерного радиуса $r_{00} = r_0/R = 0,7$ при $I_{ВХ} = 1,4$ мкА и $d = 20$ мкм

сигнала U_{BD} от безразмерного радиуса r_{00} при оптическом зондировании фотоприемного элемента. Кривые сняты для слоев CdSe толщиной 20 мкм при мощности оптического зонда $P = 5$ мВт, для двух значений входного тока.

На возрастающем участке экспериментальной зависимости $U_{BD} = f(r_{00})$ при входном токе $I_{ВХ} = 1,4$ мкА найдена удельная координатная чувствительность (η) исследуемого образца ППЧФ:

$$\eta = \frac{U_{BD, \max}}{R \cdot \Delta r_{00} \cdot I_{ВХ} \cdot P} = \frac{2,5}{9 \cdot 0,58 \cdot 1,4 \cdot 5} = 68 \cdot 10^{-3} \frac{\text{В}}{\text{мм} \times \text{мкА} \times \text{мВт}},$$

где $\Delta r_{00} = r_{\max} - r_{\min} = 0,78 - 0,2 = 0,58$;
 $P = 5$ мВт – средняя мощность твердотельного лазера;
 R – радиус полупроводникового слоя.

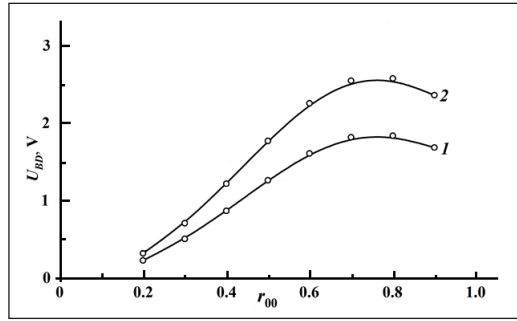


Рис. 7. Экспериментальные зависимости выходного напряжения U_{BD} слоев CdSe от безразмерного радиуса засветки r_{00} при величине входного тока (мкА): 1 – 1,0; 2 – 1,4

Удельная спектральная чувствительность (χ) определяется величиной выходного напряжения, отнесенного к значению входного тока, протекающего через фотоприемник ($I_{ВХ} = 1,4$ мкА), и к мощности оптического зонда ($P = 5$ мВт), при источнике монохроматическом излучении $\lambda = 630$ нм и $\Delta r_{00} = 0,58$:

$$\chi = \frac{U_{BD, \max}}{I_{ВХ} \cdot P} = \frac{2,5}{1,4 \cdot 5} = 357 \cdot 10^{-3} \frac{\text{В}}{\text{мкА} \cdot \text{мВт}}$$

Высокие значения χ и η обусловлены тем, что слои CdSe имели высокую фоточувствительность (кратность фотоотклика $1,1 \cdot 10^4$).

Заключение

С помощью экспериментальных исследований характеристик позиционной чувствительности при 300 К 4-контактных фотоприемников на основе слоев селенида кадмия сопоставлены экспериментальные полярные диаграммы чувствительности ППЧФ с теоретически рассчитанными.

Установлена корреляция этих кривых по форме и положению максимумов при одинаковых значениях Γ_{00} .

Установлено, что величина выходного сигнала 4-х контактных ППЧФ на основе слоев CdSe обратно пропорциональна толщине слоя и линейно возрастает с величиной входного тока.

Удельная координатная и спектральная чувствительности 4-х контактных ППЧФ, изготовленных на основе слоев CdSe/слюда, выращенных в условиях, близких к термодинамически равновесным, при монохроматическом облучении ($\lambda = 630$ нм) и $I_{\text{вх}} = 1,4$ мкА составили величину $68 \cdot \text{мВ}/\text{мм} \cdot \text{мкА} \cdot \text{мВт}$ и $357 \cdot \text{мВ}/\text{мкА} \cdot \text{мВт}$ соответственно.

Цитированная литература

1. **Шарапов, В. М.** Датчики: справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук [и др.]; под общей редакцией В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – Москва: Техносфера, 2012. – 625 с. – Текст : непосредственный.

2. **Ишанин, Г. Г.** Приемники оптического излучения: учебник / Г. Г. Ишанин, В. П. Челибанов; под ред. проф. В. В. Коротаева. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 304 с. – Текст : непосредственный.

3. **Сенокосов, Э. А.** Экспериментальное и теоретическое исследования характеристик позиционно-чувствительных фотоприемников на основе эпитаксиальных слоев n-CdSe/слюда / Э. А. Сенокосов, В. И. Чукита [и др.]. – Текст : непосредственный // Физика и техника полупроводников. – Санкт-Петербург, 2017. – Т. 51. – № 5. – С. 689–694.

4. **Чукита, В. И.** Цифровой двухкоординатный позиционно-чувствительный фотоприемник на основе эпитаксиальных слоев CdSe/слюда / В. И. Чукита, Э. А. Сенокосов [и др.]. –

Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского государственного университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3 (63). – С. 19–24.

5. **Клюканов, А. А.** Двухкоординатные фотодатчики на основе однородных проводящих полупроводниковых пленок / А. А. Клюканов, Э. А. Сенокосов [и др.]. – Текст : непосредственный // ЖТФ. – 2003. – Т. 73. – В. 5. – С. 123–125.

6. **Гурин, Н. Т.** Позиционно-чувствительный фотоприемник для фотоэлектрических преобразователей углов поворота / Н. Т. Гурин, С. Г. Новиков [и др.]. – Текст : непосредственный // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – В. 6. – С. 57–62.

7. **Brida, D.** New insights on large area flexible position sensitive detectors / D. Brida, E. Fortunato, H. Aguas [et. al.] // J. Non-Crystalline Solids, 2002, 299–302, pp. 1272–1276.

8. **Сенокосов, Э. А.** Устройство для регистрации слабых световых сигналов / Э. А. Сенокосов, А. А. Клюканов [и др.]. – Текст : непосредственный // А. С. СССР №1436796, приоритет от 12.08.86, опублик. 08.07.88.

9. Способ измерения спектрального распределения стационарной фотопроводимости полупроводников / Э. А. Сенокосов, Д. А. Щербан, А. А. Клюканов [и др.]. – Текст : непосредственный // А. С. СССР №1499119, приоритет от 1.12.87, опублик. 08.08.89.

10. **Andersson, H. A.** Processing and Characterization of a MOS-Type Tetra Lateral Position Sensitive Detector with Indium Tin Oxide Gate Contact / H.A. Andersson, K. Bertilsson, G. Thungström, H-E. Nilsson // IEEE Sensors J., 2008. V.8. № 10. P. 1704–1709.

11. **Чукита, В. И.** Выращивание эпитаксиальных слоев селенида кадмия на подложках слюды / В. И. Чукита. – Текст : непосредственный // Научные исследования: итоги и перспективы. – 2021. – Т. 2. – № 1. – С. 28–37.

12. Функциональные возможности фотоприемников на основе низкоомных

полупроводниковых пленок / А. А. Ключанов, Э. А. Сенокосов, Д. Е. Богинский [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – № 1. – С. 49–51.

13. Характеристики позиционно-чувствительного фотоприемника на основе полупроводниковых слоев селенида кадмия / В. И. Чукиита, В. С. Фещенко, В. Г. Суринов [и др.]. – Текст : непосредственный // Сборник докладов конференции Института

перспективных технологий и промышленного программирования РТУ МИРЭА. – Москва, 2022. – С 324–331.

14. Спектры экситонной люминесценции и электрофизические характеристики фоточувствительных слоев CdSe, выращенных на слюде в квазизамкнутом объеме / В. И. Чукиита, Э. А. Сенокосов, В. Г. Суринов [и др.]. – Текст : непосредственный // Неорган. материалы. – 2021. – Т. 57. – № 7. – С. 700–704.

УДК 512.57

МНОГООБРАЗИЯ КОММУТАТИВНЫХ АЛГЕБР. СВОБОДНЫЕ АЛГЕБРЫ МНОГООБРАЗИЙ КОММУТАТИВНЫХ АЛГЕБР

Л. С. Николаева

Автор исследует многообразия коммутативных алгебр и их устройство в зависимости от характеристики поля. Описаны все тождества данных многообразий. Благодаря простоте их устройства, получено элегантное доказательство конечной базированности этих многообразий. Построены свободные алгебры этих многообразий. Выяснилось, что все они являются полугрупповыми алгебрами, т. е. довольно просто устроены и полностью описываются.

Ключевые слова: многообразия коммутативных алгебр, свободная коммутативная алгебра, 0-полугрупповая алгебра, конечно базированные многообразия.

VARIETIES OF COMMUTATIVE ALGEBRAS. FREE ALGEBRAS OF VARIETIES OF COMMUTATIVE ALGEBRAS

L. S. Nikolaeva

In this paper, varieties of commutative algebras and their structure depending on the characteristics of the field were studied. We describe all the identities of these varieties and, thanks to the simplicity of their structure, we obtain an elegant proof that these varieties are finitely based. In addition, free algebras of these varieties simply arranged are fully described.

Keywords: varieties of commutative algebras, free commutative algebra, 0-semigroup algebra, finitely based varieties.

Знаменитая проблема Бернсайда 1902 года о периодических группах: является ли конечной группа с конечным числом порождающих и с тождеством

$x^n = 1$, где n фиксированное натуральное число, способствовала рассмотрению аналогичных вопросов и в других алгебраических структурах (полугруппах, кольцах, алгебрах и др.). Вариант про-

блемы конечной базирюемости для ассоциативных алгебр известен как проблема Шпехта: верно ли, что любая система полиномиальных тождеств ассоциативных алгебр конечно базирюема? Почти 40 лет проблема, поставленная Шпехтом, оставалась открытой. Ее решению посвящены работы В. Н. Латышева [1, 2], Ю. П. Размыслова, Г. К. Генова, А. П. Попова [3] и др. Полное решение проблемы конечной базирюемости систем полиномиальных тождеств в той формулировке, которую дал В. Шпехт, было получено в 1987 году А. Р. Кемером [4]. В серии своих работ А. Р. Кемер показал, что любая система полиномиальных тождеств ассоциативных алгебр над полем характеристики нуль конечно базирюема.

В 1999 году вышли статьи А. Я. Белова, А. В. Гришина [5, 6], В. В. Щиголева [7], А. Н. Красильникова, С. К. Гупта [8], в которых были построены примеры неконечно базирюемых систем тождеств ассоциативных алгебр над полем положительной характеристики. В последнее время появилось много работ, исследующих данную проблему и близкие к ней на различных алгебраических объектах [9–11].

В данной работе исследовались многообразия коммутативных алгебр и их устройство в зависимости от характеристики поля. Описаны все тождества данных многообразий, и благодаря простоте их устройства, получено элегантное решение проблемы Шпехта для этих многообразий – они оказались конечно базирюемыми. Кроме того, построены свободные алгебры этих многообразий, выяснилось, что все они являются 0-полугрупповыми

алгебрами, т. е. довольно просто устроены и полностью описываются.

Сформулируем и докажем некоторые вспомогательные факты, необходимые для доказательства основных результатов.

1. Общие утверждения

Общеизвестны следующие теоремы:

Теорема 1.1. Пусть A – коммутативная алгебра над бесконечным полем $\Phi = \Phi(\infty)$, f – полиномиальное тождество, справедливое на A . Тогда тождество f эквивалентно конечной системе полиоднородных тождеств.

Теорема 1.2. Пусть A – коммутативная алгебра над полем Φ нулевой характеристики, f – полиномиальное тождество, справедливое на A . Тогда тождество f эквивалентно конечной системе полилинейных тождеств.

Пусть A – коммутативная PI -алгебра, т. е. кроме тождества коммутативности, выполняется еще хотя бы одно полиномиальное тождество, не являющееся следствием тождества коммутативности. Тогда, применив к ней эти теоремы, получим:

Утверждение 1. Если поле Φ бесконечно, то любое тождество f , справедливое на коммутативной алгебре A над этим полем, эквивалентно конечной системе мономиальных тождеств.

Утверждение 2. Пусть A – коммутативная PI -алгебра над полем Φ нулевой характеристики. Тогда любое полиномиальное тождество, справедливое на A , эквивалентно тождеству нильпотентности, причем степень нильпотентности равна длине наименьшего монома, входящего в запись тождества f .

2. Многообразия коммутативных PI-алгебр над полем нулевой характеристики. Свободные алгебры этих многообразий. Решетка многообразий.

Пусть A – коммутативная PI-алгебра над полем Φ нулевой характеристики. Согласно утверждению 2 получаем, что все ее тождества эквивалентны тождествам нильпотентности. Выбрав из них тождество нильпотентности $x_1 x_2 \dots x_N$ наименьшего индекса нильпотентности N , получим, что все тождества этой алгебры следуют из него. Итак, многообразие алгебр $\mathbf{M}(A)$, порожденное алгеброй A , задается единственным тождеством – тождеством нильпотентности, благодаря которому легко понять структуру всех многообразий таких алгебр.

Теорема 2.1. Решетка многообразий коммутативных PI-алгебр над полем нулевой характеристики имеет вид

$$\begin{aligned} 0 \subseteq \mathbf{M}(x_1 x_2) \subseteq \mathbf{M}(x_1 x_2 x_3) \subseteq \dots \\ \dots \subseteq \mathbf{M}(x_1 x_2 \dots x_n) \subseteq \dots \end{aligned} \quad (1)$$

Естественно, объединением этой цепочки многообразий будет многообразие всех коммутативных алгебр.

Теорема 2.2 (о построении свободной алгебры). Пусть

$$\begin{aligned} S = \langle X \rangle = \{x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_k^{\alpha_k} \dots \\ \dots \mid \alpha_i \in N_0; \Sigma \alpha_i \in N\} \end{aligned} \quad (2)$$

есть свободная коммутативная полугруппа со счетным множеством

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots\} \quad (3)$$

свободных порождающих, занумерованных натуральными числами N . Рассмотрим вполне характеристический идеал

$$\begin{aligned} T(N) = \{x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_k^{\alpha_k} \dots \\ \dots \mid \alpha_i \in N_0; \Sigma \alpha_i \in N\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Построим фактор-полугруппу Риса полугруппы S по идеалу $T(N)$

$$S_0 = S / T(N), \quad (5)$$

в которой элементы идеала $T(N)$ отождествляются с нулем, а все остальные элементы остаются без изменения. Поэтому ненулевые элементы из S_0 и из S будем обозначать одинаково. Построим 0-полугрупповую алгебру

$$\Phi_0 S_0 = \{\Sigma a_i s_i \mid a_i \in \Phi, s_i \in S_0\}, \quad (6)$$

в которой $S_0 \setminus \{0\}$ – базис, а нуль полугруппы отождествляется с нулем алгебры (более того, элементы полугруппы будем отождествлять с элементами алгебры с единичным коэффициентом). Тогда построенная алгебра $\Phi_0 S_0$ является свободной в многообразии алгебр $\mathbf{M}(x_1 x_2 \dots x_N)$, задаваемом тождеством

$$x_1 x_2 \dots x_N \equiv 0. \quad (7)$$

3. Многообразия коммутативных PI-алгебр над бесконечным полем характеристики p . Свободные алгебры этих многообразий.

Лемма 1. Пусть A – коммутативная PI-алгебра над бесконечным полем

$\Phi = \Phi(p, \infty)$ характеристики p . Если в алгебре A выполнено M -тождество

$$f \cdot x^N \quad (8)$$

(мономиальное тождество с единичным коэффициентом $1 \in \Phi$), причем f не содержит x либо f есть внешняя единица, то оно эквивалентно M -тождеству

$$f \cdot x^{\alpha_s p^s} \cdot y^{q_s}, \quad (9)$$

где

$$q^s = N - \alpha_s p^s \neq 0, \quad (10)$$

$$N = \alpha_s p^s + \dots + \alpha_1 p + \alpha_0,$$

f не содержит y

Лемма 2. Пусть A – коммутативная PI -алгебра над бесконечным полем $\Phi = \Phi(p, \infty)$. Тогда, если в ней выполнено M -тождество

$$f \cdot x^{\alpha_s p^s}, \quad (11)$$

где $\alpha_s \neq 0, s \in N$, то оно эквивалентно M -тождеству

$$f \cdot x_1^{p^s} \cdot \dots \cdot x_{\alpha_s}^{p^s}. \quad (12)$$

Лемма 3. Пусть A – коммутативная PI -алгебра над полем $\Phi = \Phi(p, \infty)$. Тогда, если в ней выполнено M -тождество (1)

$$f \cdot x^N,$$

то оно эквивалентно любому из M -тождеств:

$$1) f \cdot x^{\alpha_s p^s} \cdot y^{q_s}, \text{ тождество (9);}$$

$$2) f \cdot x_s^{\alpha_s p^s} \cdot x_{s-1}^{\alpha_{s-1} p^{s-1}} \cdot \dots \cdot x_1^{\alpha_1 p} \cdot x_0^{\alpha_0}; \quad (13)$$

$$3) f \cdot (x_{s,1}^{p^s} \cdot \dots \cdot x_{s,\alpha_s}^{p^s}) \cdot \dots \cdot (x_{s-1,1}^{p^{s-1}} \cdot \dots \cdot$$

$$\cdot \dots \cdot x_{s-1,\alpha_{s-1}}^{p^{s-1}}) \cdot \dots \cdot (x_{1,1}^p \cdot \dots \cdot x_{1,\alpha_1}^p) \cdot$$

$$\cdot (x_{0,1} \cdot \dots \cdot x_{0,\alpha_0}), \quad (14)$$

где для разложения N выполнены условия (3); в (6) считаем, что $x^0 = e$ – внешняя единица; в (7) если $\alpha_i = 0$, то множитель $x_{i,1}^{p^i} \cdot \dots \cdot x_{i,\alpha_i}^{p^i}$ объявляется равным внешней единице e .

Теорема 3.1. (о тождествах специального вида). Пусть A – коммутативная PI -алгебра над полем $\Phi = \Phi(p, \infty)$. Тогда любое полиномиальное тождество f эквивалентно конечной системе M -тождеств вида

$$(x_{s,1}^{p^s} \cdot \dots \cdot x_{s,\alpha_s}^{p^s}) \cdot \dots \cdot (x_{s-1,1}^{p^{s-1}} \cdot \dots \cdot x_{s-1,\alpha_{s-1}}^{p^{s-1}}) \cdot \dots \cdot (x_{1,1}^p \cdot \dots \cdot x_{1,\alpha_1}^p) \cdot (x_{0,1} \cdot \dots \cdot x_{0,\alpha_0}). \quad (15)$$

Доказательство.

Пусть $f = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i, \alpha_i \neq 0, f_i$ – не подоб-

ные между собой M -тождества. По теореме 1.1 тождество f эквивалентно системе M -тождеств f_i , некоторые из них, возможно, эквивалентны либо связаны отношением «являться следствием». Но каждое из M -тождеств f_i , согласно лемме 3, примененной конечное число раз, эквивалентно конечной системе тождеств специального вида (15), получаемых из (14).

Лемма 4 (об устройстве фактор-алгебры $\Phi S / \Phi K$). Пусть ΦS – полугрупповая алгебра, K – идеал в S . Тогда ΦK – идеал в ΦS :

$$\Phi S / \Phi K = \{ \bar{a} = \sum a_s s + \Phi K \mid a_s \in \Phi, s \in S^- = S \setminus K \} \quad (16)$$

причем для каждого класса \bar{a} фактор-алгебры $\Phi S / \Phi K$ коэффициенты a_s определены однозначно.

Лемма 5 (о естественности фактор-полугруппы Риса). Пусть K – идеал полугруппы S . Тогда

$$\Phi S / \Phi K \cong \Phi_0(S / K), \quad (17)$$

где $\Phi_0(S / K)$ есть 0-полугрупповая алгебра фактор-полугруппы – Риса S / K , в которой идеал K отождествляется с нулем, а остальные элементы остаются без изменения.

Замечание. Леммы 4 и 5 справедливы для любых ассоциативных полугрупп (и скорее всего, известны).

Лемма 6. Пусть A – коммутативная PI -алгебра над полем $\Phi = \Phi(p, \infty)$, $T(A)$ – множество всех полиномиальных тождеств, справедливых на A , т. е. $T_0(A) = T(A) \cup \{0\}$ является идеалом тождеств алгебры ΦS . Обозначим через $\mu(A)$ множество всех M -тождеств, справедливых на A . Естественно, $\mu(A) \subseteq T(A)$, причем $\mu(A) \subseteq S$ (если вспомнить об отождествлении $1 \cdot S = S$). Тогда $\mu(A)$ есть идеал полугруппы S , причем он выдерживает гомоморфизмы этой полугруппы.

Теорема 3.2 (о построении свободной алгебры многообразия). Пусть A – коммутативная PI -алгебра над полем $\Phi = \Phi(p, \infty)$, $M(A)$ – многообразие алгебр, порожденное алгеброй A . Тогда 0-полугрупповая алгебра $\Phi_0(S / \mu(A))$ есть свободная алгебра этого многообразия.

Доказательство. Алгебра $\Phi S / T_0(A)$ есть свободная алгебра многообразия $M(A)$. Согласно утверждению 1, любое тождество $f = \sum a_i m_i \in T(A)$, где $a_i \in \Phi$, $m_i \in \underline{S}$, эквивалентно системе тождеств m_i , поэтому $m_i \in \mu(A)$. Значит,

$f = \sum a_i m_i \in \Phi \mu(A)$. Учитывая что $0 \in \Phi \mu(A)$, получим $T_0(A) \subseteq \Phi \mu(A)$. С другой стороны, $\Phi \mu(A) \subseteq T_0(A)$, поскольку сумма тождеств есть тождество. Откуда

$$\Phi \mu(A) = T_0(A). \quad (18)$$

Учитывая лемму 6 и равенство (18),

$$\begin{aligned} \Phi S / T_0(A) &= \Phi S / \Phi \mu(A) \cong \\ &\cong \Phi_0(S / \mu(A)). \end{aligned}$$

Итак, рассматриваемая алгебра $\Phi_0(S / \mu(A))$ изоморфна свободной алгебре нашего многообразия $M(A)$.

Лемма 7. Пусть $\mathcal{M}(M)$ есть оператор $S \rightarrow S$, который каждому подмножеству $M \subseteq S$ ставит в соответствие подмножество $\mathcal{M}(M)$ по правилу:

$$\mathcal{M}(M) = \{ \varphi(m) \mid \varphi \in \text{End}(S), m \in M \}, \quad (19)$$

где $\text{End}(S)$ – множество всех эндоморфизмов полугруппы S .

Пусть $S^\#$ – расширение полугруппы S с помощью внешне присоединенной единицы.

Определим $S^\#(M)$ оператор $S \rightarrow S$, который каждому подмножеству $M \subseteq S$ ставит в соответствие подмножество $S^\# \cdot M$:

$$S^\#(M) = S^\# M = \{ sm \mid s \in S^\#, m \in M \}. \quad (20)$$

Тогда $\mathcal{M}(M)$ и умножение на $S^\#$ являются операторами замыкания на S , причем они коммутативны

$$S^\# \mathcal{M} = \mathcal{M} S^\#, \quad (21)$$

а значит, $S^\# \mathcal{M}$ есть оператор замыкания, устойчивый к операторам $S^\#, \mathcal{M}$, а потому $S^\# \mathcal{M}(M)$ является наименьшим идеалом, содержащим M и устойчивым к эндоморфизмам. Итак, $S^\# \mathcal{M}(M)$ – вполне характеристический идеал, порожденный множеством M .

Теорема 3.3. В идеале $\mu(A)$ полугруппы S выделим тождества $s(A)$ специального вида (10). Тогда

$$S^\# \mathcal{M}(s(A)) = \mu(A), \quad (22)$$

т. е. замыкание до вполне характеристического идеала множества $s(A)$ тождеств специального вида дает множество всех M -тождеств, справедливых на A .

Пусть мы работаем в многообразии коммутативных алгебр над полем Φ (не обязательно бесконечным) характеристики p . Пусть ΦS – свободная коммутативная алгебра, порожденная бесконечным алфавитом X , т. е. алгебра многочленов без свободного члена. Она является полугрупповой алгеброй свободной коммутативной полугруппы $S = \text{sqr}(X)$, порожденной тем же алфавитом. Рассмотрим некоторый фиксированный набор \mathcal{M} мономов $m \in S \subseteq \Phi S$. Обозначим \mathcal{D} – множество всевозможных мономов, получаемых из мономов $m \in \mathcal{M}$ заменой входящих в них букв на слова полугруппы S . Пусть S^e – расширение полугруппы S с помощью внешней единицы. Тогда множество $\mathcal{D} S^e$ является идеалом полугруппы S , порожденным множеством \mathcal{D} определяющих соотношений. Рассмотрим фактор-полугруппу Риса $S / \mathcal{D} S^e$ полугруппы S по идеалу $\mathcal{D} S^e$. Она оказывается свободной коммутативной

полугруппой, порожденной алфавитом X и множеством определяющих соотношений \mathcal{D} (или набором тождеств $0 \equiv m \in \mathcal{M}$). В ней моном оказывается нулевым, если и только если он содержит в качестве подслова одно из определяющих соотношений из \mathcal{D} . Имеет место изоморфизм $\Phi_0(S / \mathcal{D} S^e) \cong \Phi S / \Phi(\mathcal{D} S^e)$ между 0-полугрупповой алгеброй $\Phi_0(S / \mathcal{D} S^e)$ и фактор-алгеброй $\Phi S / \Phi(\mathcal{D} S^e)$. В этой алгебре многочлен является нулевым, если он состоит из мономов, содержащих в качестве подслов определяющие соотношения из \mathcal{D} . Однако эта алгебра $\Phi_0(S / \mathcal{D} S^e)$ не обязана быть свободной алгеброй многообразия коммутативных алгебр с набором тождеств $0 \equiv m \in \mathcal{M}$.

Далее в работе рассмотрим коммутативные алгебры над бесконечным полем и многообразия таких алгебр. Пусть K – это многообразие коммутативных алгебр. Благодаря бесконечности поля, легко заметить, что если на коммутативной алгебре справедливы тождества, не вытекающие из коммутативности, то такая алгебра является ниль-алгеброй, т. е. в ней выполняется тождество $x^n = 0$. Более того, благодаря переходу от тождеств к полилинейным тождествам, получается, как хорошо известно, теорема.

Теорема 3.4. Если основное поле Φ имеет характеристику 0, то K совпадает точно с одним из многообразий M_k нильпотентных алгебр, и это многообразие можно задать тождеством $x_1 x_2 \dots x_k = 0$. В частности многообразия M_i , где $i=1, 2, \dots, k-1$, образуют цепочку многообразий, содержащихся в K .

Если основное поле имеет характеристику $p > 2$, то все эти многообразия можно описать, так как каждое тождество эквивалентно конечной системе полиоднородных.

Лемма 8. Если $k = p > 2$, M – невырожденное многообразие коммутативных алгебр, отличное от K и основное поле Φ бесконечно, то каждое такое многообразие M задается системой мономиальных тождеств вида $x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_n^{k_n} = 0$, где все $k_i \leq p^n$ для некоторого натурального числа n , при этом, конечно, учитывается тождество коммутативности и тождество $x^n = 0$.

Уточняя это, можно специализировать вид определяющих тождеств. Назовем моном $x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_m^{k_m}$ стандартным p -моном, если $k_i \in \{0, 1, p, p^2, \dots, p^m\}$, $1 \leq \sum k_i \leq p^{m+1}$.

Лемма 9. Каждое многообразие M из леммы 8 задается некоторой системой стандартных p -мономов.

Учитывая стандартную перестановку букв в p -тождествах, получаем еще более специальные стандартные p -мономы вида $u_1 u_2 \dots u_m$, где $u_i = (x_{k_i} x_{k_i+1} \dots x_{k_i+d_i-1})^{p^i}$ – это соответствующие степени полилинейных тождеств, причем некоторые u_i могут отсутствовать. С каждым таким p -моном можно связать соответствующую последовательность $(d_0, d_1, \dots, d_m, 0, 0, \dots)$, где $d_j \geq 0$, d_0 – число k_i , равных одному, d_1 – число k_i равных p , ..., d_j – число k_i , равных p^j , $j = 0, 1, \dots, m$. Указанные конечные последовательности покомпонентно упорядочиваются. В результате оказывается, что с каждым стандартным мономом однозначно связывается стандартный p -моном $x_1^{q_1} x_2^{q_2} \dots x_n^{q_s}$, где $1 \leq q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_s$.

Теорема 3.5. Пусть поле Φ бесконечно ($\text{char } \Phi = p$), тогда:

1) многообразие M является ниль-многообразием, т. е. во всех алгебрах из M справедливо тождество $x^{p^s} = 0$;

2) многообразие $M \neq 0$ задается некоторой системой специальных стандартных мономов;

3) если эти специальные стандартные p -мономы упорядочить, как в множестве последовательностей вида (d_0, d_1, \dots, d_m) $N_0 \times N_0 \dots \times N_0$, то в множестве указанных мономов возникает конечное число минимальных (так как указанная решетка $N_0 \times N_0 \dots \times N_0$ является частично упорядоченным множеством). Тогда само многообразие M задается конечным набором, т. е. шпехтово.

Действительно, если \mathcal{M} состоит из мономов специального вида

$$m(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_n^{k_n}, \text{ где } n \in N,$$

$$k_i \in \{1, p, p^2, \dots, p^k\}, k = \text{const} \in N_0, \quad (23)$$

то алгебра $\Phi_0(S / \mathcal{D}S^e)$ является свободной в многообразии M коммутативных алгебр с набором тождеств \mathcal{M} (такая же картина наблюдается, когда \mathcal{M} и некоторое подмножество специальных слов из \mathcal{M} порождают одинаковые определяющие отношения \mathcal{D}). Действительно, благодаря характеристике поля, моном (1) в алгебре ΦS аддитивен по всем переменным: $m(f_1 + f_2, g_2, \dots, g_n) = m(f_1, g_2, \dots, g_n) + m(f_2, g_2, \dots, g_n)$ для всех $f_1, f_2, g_2, \dots, g_n$, что и используется в доказательстве. Для построенной свободной алгебры $\Phi_0(S_i / \mathcal{D}_i S_i^e)$ ее конечно порожденные

подалфавитом $\dot{u}_t = \{ \dots, \dots \}$ подалгебры $\Phi_0(S_t / \mathcal{D}_t S_t^e)$ также свободны. Они порождают многообразие M , задаваемое тождествами \mathcal{M} , если и только если это многообразие нильпотентно, причем t не меньше индекса нильпотентности. Число $k \in N$ из (23) можно считать фиксированным для всех тождеств, так как рассматриваемые многообразия являются ниль-многообразиями, а потому локально нильпотентны.

Мы имеем следующую конструкцию.

Конструкция. Пусть \mathcal{L} – набор тождеств, определяющий собственное подмногообразие M многообразия всех коммутативных алгебр над бесконечным полем Φ , \mathcal{M} – множество всех тождеств специального вида

$$m = (x_{s,1}^{p^s} \cdot \dots \cdot x_{s,\alpha_s}^{p^s})(x_{s-1,1}^{p^{s-1}} \cdot \dots \cdot x_{s-1,\alpha_{s-1}}^{p^{s-1}}) \cdot \dots \cdot (x_{1,1}^p \cdot \dots \cdot x_{1,\alpha_1}^p)(x_{0,1} \cdot \dots \cdot x_{0,\alpha_0}) = 1 \\ = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k) \equiv 0,$$

справедливых в M и минимальных в смысле частичной упорядоченности. При этом будем полагать, что и \mathcal{L} , и \mathcal{M} записаны с помощью элементов свободной коммутативной алгебры $\Phi S \cong \Phi_0 S_0$, где ΦS – полугрупповая алгебра свободной коммутативной полугруппы $S = \text{sqr}(X)$, порожденной бесконечным алфавитом X , $\Phi_0 S_0$ – 0-полугрупповая алгебра свободной коммутативной полугруппы S_0 с нулем, получаемой из S внешним присоединением нуля. Обозначим через \mathcal{D} множество всевозможных мономов, получаемых из мономов $m \in M$

заменой входящих в них букв на буквы алфавита X (причем разрешены замены на одинаковые буквы). Рассмотрим идеал $\mathcal{D}S_0^e$ полугруппы S_0 . В свободной коммутативной алгебре $\Phi S \cong \Phi_0 S_0$ построим идеал $\Phi(\mathcal{D}S^e) \cong \Phi_0(\mathcal{D}S_0^e)$, получаемый с помощью определяющих соотношений \mathcal{D} . Этот идеал оказывается замкнутым относительно гомоморфизмов алгебры (в виду аддитивности порождающих слов \mathcal{M}), поэтому является вполне характеристическим идеалом, причем он порождается как идеал тождеств, этими словами \mathcal{M} . Таким образом, 0-полугрупповая алгебра

$$\Phi_0(S / \mathcal{D}S^e) \cong \Phi S / \Phi(\mathcal{D}S^e) \cong \Phi_0 S_0 / \Phi_0(\mathcal{D}S_0^e) \quad (24)$$

фактор-полугруппы Риса полугруппы S по идеалу $\mathcal{D}S^e$ ввиду изоморфизмов (23) оказывается свободной с набором тождеств \mathcal{L} , причем она фактически определена с помощью определяющих соотношений \mathcal{D} . Из конструкции видно, что все алгебры многообразия M локально конечномерны и даже локально нильпотентны. Поэтому конечно порожденная свободная алгебра порождает многообразие M тогда и только тогда, когда многообразие нильпотентно.

Подведем итог и заметим, что если поле Φ бесконечно, то любое собственное невырожденное подмногообразие многообразия всех коммутативных алгебр задается специальными мономияльными тождествами, согласно лемме 9, потому мы описали все свободные алгебры этого случая.

Если рассмотреть собственные невырожденные подмногообразия коммутативных алгебр над полем Φ нулевой ха-

раактеристики, то выясняется, что каждое из них нильпотентно, причем задается только одним мономиальным тождеством вида $x_1 \dots x_n \equiv 0$. Это тождество аддитивно в свободной алгебре ΦS . Поэтому свободные алгебры этих многообразий являются 0-полугрупповыми, полностью описываются и имеют вид $\Phi_0(S//S^n)$, т. е. описаны все тождества данных многообразий и благодаря простоте их устройства получено элегантное решение проблемы Шпехта для этих многообразий – они оказались конечно базлируемыми. Кроме того, построенные свободные алгебры этих многообразий являются 0-полугрупповыми алгебрами, т. е. довольно просто устроены и полностью описываются.

Цитированная литература

1. **Латышев, В. Н.** О некоторых многообразиях ассоциативных алгебр / В. Н. Латышев – Текст : непосредственный // Изв. АН СССР. Сер. «Математика». – 1973. – Т. 37, № 5. – С. 1010–1037.
2. **Латышев, В. Н.** Конечная базлируемость некоторых колец / В. Н. Латышев. – Текст : непосредственный // Успехи мат. наук. – 1977. – Т. 32, № 4. – С. 259–262.
3. **Попов, А. П.** О шпехтовости некоторых многообразий ассоциативных алгебр / А. П. Попов. – Текст : непосредственный // Плиска. – 1981. – № 2. – С. 41–53.
4. **Кемер, А. Р.** Конечная базлируемость тождеств ассоциативных алгебр / А. Р. Кемер – Текст : непосредственный // Алгебра и логика. – 1987. – Т. 26. – С. 597–641.
5. **Grishin, A. V.** On the finite basis property of T-spaces over field of finite characteristic / Grishin A.V. – Текст : непосредственный // Proceedings of Tainan-Moscow Algebra Workshop. – 1994. – P. 225–227.
6. **Grishin, A. V.** On non-Shpechtianness of the variety of associative rings that satisfy the identity $x^3=0$ / Grishin A.V. – Текст : электронный // Electron. Res. Announc. Amer. Math. Soc. – 2000. Vol 6. – P. 50–51 (electronic).
7. **Щиголов, В. В.** Бесконечно базлируемые Т-пространства и Т-идеалы: дис. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук / Щиголов В. В. // М.: МГУ. – 2002 – Текст : непосредственный.
8. **Krasilnicov, A. N., Gupta, C. K.** A non-finitely based system of polynomial identities which contains the identity $x^6=0$ / Krasilnicov, A.N., Gupta, C.K. Quart. – Текст : непосредственный // J. Math. 53 – 2002. – P. 173–183 (Oxford University Press).
9. **Мищенко, С. С.** О росте многообразий коммутативных линейных алгебр / С. С. Мищенко. – Текст : непосредственный // Фундаментальная и прикладная математика. – 2008. – Т. 14, № 5. – С. 165–170.
10. **Мищенко, С. П.** О почти нильпотентных многообразиях в классе коммутативных метабелевых алгебр / С. П. Мищенко, О. В. Шулежко. – Текст : непосредственный // Вестн. СамГУ. Естественнонаучн. сер. – 2015. – № 3(125). – С. 21–28.
11. О многообразиях коммутативных метабелевых алгебр / С. П. Мищенко, Н. П. Панов, Ю. Ю. Фролова, Чанг Т. Т. Нгуен. – Текст : непосредственный // Фундамент. и прикл. матем. – 2016. – С. 165–180.

О КВАЗИГРУППАХ БОЛА И МУФАНГ

Н. Н. Дидурик, Н. Н. Малютина

Настоящая статья посвящается нашему учителю Ивану Архиповичу Флоря. Представляет собой обзор важных результатов, полученных И. А. Флоря. Доказано, что любая квазигруппа Муфанг (Q, \cdot) с тождеством $x(y \cdot xz) = (xy \cdot x)z$ является лупой.

Ключевые слова: квазигруппы, лупа, изотоп, единица, квазигруппы Муфанг, квазигруппы Бола.

SOME BOL AND MOUFANG QUASIGROUPS

N. N. Didurik, N. N. Malyutina

This article is dedicated to our teacher Ivan Arkhipovich Florya. It is a review of important results obtained by I. A. Florya. It is proved that any Moufang quasigroup (Q, \cdot) with the identity $x(y \cdot xz) = (xy \cdot x)z$ is a loop.

Keywords: quasigroups, loop, isotope, unit, group, quasigroups Moufang, quasigroups Bol.

Теория квазигрупп зародилась в 20–30-х гг. XX века, после публикации фундаментальных работ Дэвида Гильберта в конце XIX века, посвященных аксиоматизации математики и, в частности, аксиоматизации геометрии, а также после появления работ, относящихся к различным системам аксиом, как правило, к системам аксиом различных геометрий, включая евклидову, проективную, геометрию Лобачевского, в измерениях 2 и 3.

Сам термин «квазигруппа» появился в работе Рут Муфанг [1], посвященной проблемам координатизации проективных плоскостей. В своих работах Муфанг через квазигруппу воспринимала объект, который теперь называется лупой Муфанг.

Через два года после появления работ Муфанг была опубликована важная статья по теме квазигрупп Геррита Бола (1937), а

именно “Gewebe und Gruppen”. Бол обратился к понятию квазигруппы с геометрической точки зрения.

Кроме того, по квазигруппам уже было несколько американских публикаций: Хаусманн и Оре, Теория квазигрупп (1937); Мёрдоч, Квазигруппы, удовлетворяющие обобщенным законам ассоциативности (1939); Гаррисон, Квазигруппы (1940).

Первыми публикациями, в которых был введен термин «лупа», были две очень важные статьи, написанные Альбертом в 1943 г.: „Quasigroups. I“ и „Quasigroups. II“ [2, 3].

В 30-х гг. XX века было введено понятие сети. В терминологии теории сетей понятие квазигруппы имеет четкую геометрическую интерпретацию.

В Республике Молдова В. Белоусов (1925–1988) и его ученики (Флоря, Басараб,

Гварамия и др.) получили фундаментальные результаты в теории квазигрупп:

1) новые подходы к квазигруппам – производные операции, специальные квазигруппы и F-квазигруппы;

2) новые свойства известных квазигрупп – дистрибутивные, которые изотопны некоторой лупе Муфанг; дистрибутивные с лева, которые изотопны некоторой группе; F-квазигруппы, которые изотопны вполне симметричной квазигруппе;

3) n -арные квазигруппы;

4) обобщенные лупы Муфанг и Бола.

В теории квазигрупп важную роль играют лупы, т. е. квазигруппы с единицей.

Квазигруппа Муфанг – это квазигруппа (Q, \cdot) , удовлетворяющая любому из следующих тождеств:

$$\begin{aligned} (x \cdot yz)x &= xy \cdot zx, & yx \cdot xz &= x(zy \cdot x), \\ (zx \cdot y)x &= z(x \cdot yx), & x(y \cdot xz) &= (xy \cdot x)z. \end{aligned}$$

Галкин объявил в 1988 г. [4], что квазигруппа, удовлетворяющая одному из первых двух тождеств, является лупой. В 1996 г. Кунен доказал [5], что квазигруппа, удовлетворяющая одному из приведенных выше тождеств, является лупой. Такой же результат был получен в [6] Щербаковым и Избашем. По результатам Бола и Брака [7, с. 115] эти четыре тождества эквивалентны в лупах. Следовательно, эти тождества эквивалентны в квазигруппах. Таким образом, квазигруппы Муфанг на самом деле являются лупами Муфанг.

Поскольку все примеры квазигрупп Муфанг, известные Белоусову, были лупами, а квазигруппы, изотопные квазигруппам Муфанг, могут не иметь единиц, им было предложено другое, более общее

определение квазигрупп Муфанг. Его квазигруппы Муфанг (иногда называемые M-квазигруппами) имеют единицу только в том случае, когда они являются лупой Муфанг. Более того, всякая лупа, изотопная квазигруппам Муфанг Белоусова, является лупой Муфанг. Первые результаты о таких квазигруппах появились в работе Белоусова и Флори в 1966 г. [8].

Определение 1. [9] Квазигруппа (Q, \cdot) называется квазигруппой Муфанг, если она удовлетворяет тождествам

$$(xy \cdot z)y = x(y(e_y z \cdot y)), \tag{1}$$

$$y(x \cdot yz) = ((y \cdot x f_y)y)z, \tag{2}$$

где $ye_y = y = f_y y$.

Пример 1. Квазигруппа (Q, \cdot) , определенная следующей таблицей,

\cdot	1	2	3	4	5
1	2	1	4	3	5
2	1	3	2	5	4
3	4	2	5	1	3
4	3	5	1	4	2
5	5	4	3	2	1

является квазигруппой Муфанг (в смысле Белоусова) без единицы. Таким образом, она не является квазигруппой Муфанг в классическом смысле.

В своей докторской диссертации (1965), написанной под руководством В. Д. Белоусова, И. А. Флоря доказал, что тождества (1) и (2) эквивалентны. В связи с этим можно определить квазигруппу Муфанг как квазигруппу, которая удовлетворяет только одному из этих тождеств.

Любая квазигруппа Муфанг (в классическом смысле) является квазигруппой Муфанг в смысле Белоусова, но не наоборот.

Другой интересный класс квазигрупп – это специальный класс *LIP*-квазигрупп, которые называются левыми квазигруппами Бола. Флоря Иван Архипович в своей докторской диссертации определил левые квазигруппы Бола (называемые им – квазигруппами Бола). Дал положительный ответ на вопрос о существовании различных квазигрупп Бола, которые не являются лупами Бола.

Представляем некоторые важные результаты, полученные И. А. Флорья.

Определение 2. Квазигруппа (Q, \cdot) называется *LIP*-квазигруппой (с левым свойством обратимости), если существует отображение $I_l: Q \rightarrow Q$ такое, что выполняется равенство $I_l x \cdot xy = y$ или ${}^{-1}x \cdot xy = y, \forall x, y \in Q$.

Определение 3. Квазигруппа (Q, \cdot) называется *RIP*-квазигруппой (с правым свойством обратимости), если существует отображение $I_r: Q \rightarrow Q$ такое, что выполняется равенство $yx \cdot I_r x = y$, или $yx \cdot x^{-1} = y$, где $I_r x = x^{-1}$.

Квазигруппа (Q, \cdot) называется *IP*-квазигруппой, если одновременно является *RIP*- и *LIP*-квазигруппой.

Определение 4. Элемент $b \in Q$ произвольной квазигруппы (Q, \cdot) называется левым элементом Бола, если выполняется равенство:

$$b(x \cdot by) = R_{e_b}^{-1}(b \cdot xb)y, \forall x, y \in Q, \quad (3)$$

где $R_{e_b} x = xe_b, be_b = b$.

Запишем (3) с помощью трансляций $L_b(x \cdot L_b y) = R_{e_b}^{-1} L_b R_b x \cdot y$ или

$L_b(x \cdot y) = R_{e_b}^{-1} L_b R_b x \cdot L_b^{-1} y$. Получили автотопию $T = (R_{e_b}^{-1} L_b R_b, L_b^{-1}, L_b)$.

Определение 5. Элемент $a \in Q$ называется элементом Муфанг произвольной квазигруппы (Q, \cdot) , если выполняется равенство:

$$a(x \cdot ay) = ((a \cdot x f_a) a) y, \quad (4)$$

где $L_{f_a} x = f_a x, f_a a = a$.

Теорема 1. [10] Лупа (Q, \circ) , изотопная *LIP*-квазигруппе (Q, \cdot) , где изотопия имеет вид:

$$x \circ y = R_a^{-1} x \cdot L_b^{-1} y, \quad (5)$$

будет тоже *LIP*-лупой тогда и только тогда, когда элемент b является левым элементом Бола.

Доказательство. Пусть $I_l' x \circ (x \circ y) = y$, откуда на основании (5) можем записать

$$R_a^{-1} I_l' x \cdot L_b^{-1} (R_a^{-1} x \cdot L_b^{-1} y) = y \text{ или}$$

$$L_b^{-1} (R_a^{-1} x \cdot L_b^{-1} y) = I_l R_a^{-1} I_l' x \cdot y.$$

Совершаем подстановку в последнем равенстве $x \rightarrow R_a x, y \rightarrow L_b y$ и получаем $L_b^{-1}(xy) = \delta x \cdot L_b y$ где $\delta = I_l R_a^{-1} I_l' R_a$.

Получили автотопию $T = (\delta, L_b, L_b^{-1})^{-1} = (\delta^{-1}, L_b^{-1}, L_b)$, т. е. b является левым элементом Бола. Обратное утверждение очевидно.

Рассмотрим *LIP*-квазигруппу (Q, \cdot) , которая обладает свойством, что любая лупа, изотопная квазигруппе (Q, \cdot) , является тоже *LIP*-лупой. Так мы приходим к понятию левой квазигруппы Бола.

Определение 6. Квазигруппа (Q, \cdot) , в которой выполняется равенство:

$$x(y \cdot xz) = R_{e_x}^{-1}(x \cdot yx) \cdot z, \forall x, y \in Q, \quad (6)$$

где $R_{e_x}y = ye_x, xe_x = x$, называется левой квазигруппой Бола.

Теорема 2. [10] Любая лупа (Q, \circ) , изотопная левой квазигруппе Бола (Q, \cdot) , является левой лупой Бола, т. е. в (Q, \circ) выполняется тождество:

$$x \circ (y \circ (x \circ z)) = (x \circ (y \circ x)) \circ z. \quad (7)$$

Доказательство. Достаточно рассмотреть главный изотоп (Q, \circ) , где изотопия имеет вид:

$$x \circ y = R_a^{-1}x \cdot L_b^{-1}y. \quad (8)$$

Из (8) получаем $xu = R_ax \circ L_by$. Используем последнее равенство в (6):

$$R_ax \circ L_b(R_ay \circ L_b(R_ax \circ L_bz)) =$$

$$= R_aR_{e_x}^{-1}(x \cdot yx) \circ L_bz.$$

Если $L_bz = e, e$ – единица лупы (Q, \circ) , то получаем $R_ax \circ L_b(R_ay \circ L_b(R_ax \circ L_bz)) = (R_ax \circ L_b(R_ay \circ L_bR_ax)) \circ L_bz$.

Подставляем $y \rightarrow a^{-1}$, $y \rightarrow R_a^{-1}y, z \rightarrow L_b^{-1}z$ и получаем

$$x \circ L_b(y \circ L_b(x \circ z)) = (x \circ L_b(y \circ L_bx)) \circ z.$$

Пусть $x = e$, тогда

$$L_b(y \circ L_bz) = \varphi y \circ z, \quad (9)$$

где $\varphi y = L_b(y \circ L_b e)$, φ – подстановка множества Q . На основании (9) можем записать: $x \circ (\varphi y \circ (x \circ z)) = (x \circ (\varphi y \circ x)) \circ z$. Подставляем $y \rightarrow \varphi^{-1}y$ и получаем (7).

Аналогично определяется правая квазигруппа Бола.

Определение 7. Квазигруппа (Q, \cdot) называется правой квазигруппой Бола, если выполняется тождество:

$$(zx \cdot y)x = z \cdot L_{f_x}^{-1}(xy \cdot x), \quad (10)$$

где $L_{f_x}y = fy, fx = x$.

Так же найдено необходимое и достаточное условие, чтобы леводистрибутивная квазигруппа, т. е. квазигруппа с тождеством $x \cdot yz = xy \cdot xz$, была квазигруппой Бола.

Теорема 3. Леводистрибутивная квазигруппа (Q, \cdot) будет квазигруппой Бола тогда и только тогда, когда в (Q, \cdot) имеет место равенство $a \cdot ay = y$ для некоторого фиксированного элемента a и для любого $y \in Q$.

Доказательство. См. [10, Лемма 3].

Для левых квазигрупп Бола И. А. Флора было введено понятие сердцевин $(Q, +)$:

$$x + y = R_{e_x}^{-1}(x \cdot^{-1}yx),$$

где $y \cdot^{-1}yu = e_y$. Это понятие было введено Браком для луп Муфанг и Белоусовым для луп Бола. Сердцевин луп Муфанг и Бола являются инвариантными при изотопии. Это же свойство имеет место и для квазигрупп Бола.

Теорема 4. Если две квазигруппы с левым тождеством Бола изотопны, то их сердцевин изоморфны.

Доказательство. Достаточно рассмотреть изотоп (8). Знаем, что (Q, \circ) – лупа с единицей $e = ba = L_b a = R_a b$. Так как если две квазигруппы изотопны, то они изотопны лупе (Q, \circ) . Знаем, что (Q, \circ) является левой лупой Бола. Запишем сердцевину этой лупы:

$$x \oplus y = x \circ (y^{-1} \circ x). \quad (11)$$

Докажем, что имеет место равенство

$$R_a^{-1}(x \oplus y) = R_a^{-1}x + R_a^{-1}y. \quad (12)$$

Из (11) и (8) можем записать

$$x \oplus y = R_a^{-1}x \cdot L_b^{-1}(R_a^{-1}y^{-1} \cdot L_b^{-1}x). \quad (13)$$

В левой квазигруппе Бола имеет место $L_b^{-1} = L_{-b}$. Из (13) получаем

$$\begin{aligned} x \oplus y &= R_a^{-1}x \cdot {}^{-1}b(R_a^{-1}y^{-1} \cdot ({}^{-1}bx)) = \\ &= R_a^{-1}x \cdot \left(R_{e_{-b}}^{-1} \left({}^{-1}b \cdot (R_a^{-1}y^{-1} \cdot {}^{-1}b) \right) \cdot x \right). \quad (14) \end{aligned}$$

В $x + y = R_{e_x}^{-1}(x \cdot {}^{-1}yx)$ ставим $x = y$. Получаем $y \oplus y = y$. Подставляем в (14) $x = y$:

$$y = R_a^{-1}y \cdot \left(R_{e_{-b}}^{-1} \left({}^{-1}b \cdot (R_a^{-1}y^{-1} \cdot {}^{-1}b) \right) \cdot y \right). \quad (15)$$

Знаем, что

$$x \cdot {}^{-1}xy = y. \quad (16)$$

Из (15) и (16) получаем равенство

$$R_{e_{-b}}^{-1} \left({}^{-1}b \cdot (R_a^{-1}y^{-1} \cdot {}^{-1}b) \right) = {}^{-1}(R_a^{-1}y). \quad (17)$$

Подставляем (17) в (14):

$$\begin{aligned} x \oplus y &= R_a^{-1}x \cdot \left({}^{-1}(R_a^{-1}y) \cdot x \right) = \\ &= \underbrace{R_a^{-1}x}_v \cdot \left({}^{-1}(R_a^{-1}y) \cdot \left(\underbrace{R_a^{-1}x \cdot x}_v \right) \right) = \\ &= R_{e_v}^{-1} \left(v \cdot {}^{-1}(R_a^{-1}y)v \right) \cdot a \Rightarrow \\ &\Rightarrow R_a^{-1}(x \oplus y) = v + R_a^{-1}y = R_a^{-1}x + R_a^{-1}y. \end{aligned}$$

В [6] доказано, что любая квазигруппа Муфанг (Q, \cdot) с тождеством $x(y \cdot xz) = (xy \cdot x)z$ является лупой. Результаты этой статьи были объявлены ав-

торами в [11]. Приводим другое доказательство этого утверждения.

Теорема 5. Любая квазигруппа Муфанг (Q, \cdot) с тождеством

$$x(y \cdot xz) = (xy \cdot x)z, \quad (18)$$

$\forall x, y, z \in Q$ является лупой.

Доказательство. Подставляем в (18) $z = e_x$, где $\dot{y}_x =$, и получаем левое тождество Бола:

$$x(y \cdot xz) = R_{e_x}^{-1}(x \cdot yx) \cdot z, \quad (19)$$

$$\forall x, y, z \in Q.$$

Известно [10], что такая квазигруппа обратима слева (${}^{-1}x \cdot xy = I_l x \cdot xy = y$) и любая лупа, изотопная квазигруппе (Q, \cdot) , является левой лупой Бола.

Имеем:

$${}^{-i}x \cdot xy = I_{i^*}x \cdot xy = y, \quad {}^{-i}x \cdot x = e, \quad I = \varepsilon, \quad (20)$$

$\forall \dot{y}_x \in$, где ε является тождественной подстановкой множества Q .

В любой квазигруппе (Q, \cdot) имеет место $x \cdot x^{-1} = x \cdot I_r x = f_x$, где $f_x x = x$, I_r является отображением множества Q в Q .

$$x \cdot x^{-1} = x \cdot I_r x = f_x, \quad (21)$$

$$\forall x \in Q.$$

В нашей квазигруппе (Q, \cdot) убедимся, что имеет место $I_l = I_r$, ${}^{-1}x = x^{-1}$, $I_l^2 = I_r^2 = \varepsilon$.

Имеем $x({}^{-1}x \cdot xz) = ((x \cdot {}^{-1}x)x)z, xz =$

$$\begin{aligned}
 &= \left((x \cdot {}^{-1}x)x \right) \cdot z, x = (x \cdot {}^{-1}x)x, x \cdot {}^{-1}x = \\
 &= f_x, \underbrace{x \cdot {}^{-1}x = x \cdot x^{-1}, {}^{-1}x = x^{-1}}_{(21)} \\
 &{}^{-1}x = x^{-1}, I_l = I_r, I_l^2 = I_r^2 = \varepsilon. \quad (22)
 \end{aligned}$$

Теперь докажем

$$\begin{aligned}
 e_x &= f_x, \\
 \forall x \in Q. \quad (23)
 \end{aligned}$$

Имеем

$$\begin{aligned}
 x(e_x \cdot x e_x) &= (x e_x \cdot x) e_x, x(e_x x) = (x x) e_x, e_x x = \\
 &= {}^{-1}x((x x) e_x) = {}^{-1}x((x x)({}^{-1}x x)) = \\
 &= \left(({}^{-1}x \cdot x x) {}^{-1}x \right) x = \underbrace{(x \cdot {}^{-1}x)x = f_x x, e_x = f_x}_{(21)}.
 \end{aligned}$$

Далее докажем

$$\begin{aligned}
 e_x^2 &= f_x^2 = e_x = f_x, \\
 \forall x \in Q. \quad (24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Имеем } f_x(x \cdot f_x f_x) = (f_x x \cdot f_x) f_x = \\
 &= x, x \cdot f_x f_x = x, f_x^2 = e_x = f_x.
 \end{aligned}$$

Далее, из ${}^{-1}x \cdot x y = y$ получаем ${}^{-1}f_x \cdot f_x = x, {}^{-1}f_x = f_x$. Получили

$$f_x \cdot f_x y = y, e_x \cdot e_x y = y, L_{f_x}^2 = \varepsilon, L_{e_x}^2 = \varepsilon, \quad (25)$$

$$\forall x, y \in Q.$$

Для упрощения записи обозначим $L_{e_a} = L, R_{e_a} = R$.

Имеем

1) $e_a(y \cdot e_a z) = (e_a y \cdot e_a)z$. Получили автотопию $T = (RL, L^{-1}, L)$ и $T^{-1} = (L^{-1}R^{-1}, L^{-1}, L^{-1}) = (LR^{-1}, L, L)$. Замечаем, что $T = T^{-1}$. Поэтому получили

$$RL = LR^{-1}; \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
 2) e_a(y \cdot e_a e_a) &= (e_a y \cdot e_a) e_a, e_a(y e_a) = \\
 &= (e_a y \cdot e_a) e_a, L R y = R^2 L y.
 \end{aligned}$$

$$LR = R^2 L; \quad (27)$$

$$3) R^2 L = \underbrace{R(RL)}_{(26)} = \underbrace{RLR^{-1}}_{(26)} = \underbrace{LR^{-2}}_{(27)} = LR, R^3 = \varepsilon.$$

$$R_{e_a}^3 = R^3 = \varepsilon; \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
 4) e_a(f_{e_a z} \cdot e_a z) &= \left((e_a \cdot f_{e_a z}) e_a \right) z, e_a \cdot e_a z = \\
 &= \left((e_a \cdot f_{e_a z}) e_a \right) z, z = \left((e_a \cdot f_{e_a z}) e_a \right) z.
 \end{aligned}$$

Если $z = e_b$, получаем $(e_a \cdot f_{e_a e_b}) e_a = e_b$.

Последнее равенство умножаем слева на e_a

$$\begin{aligned}
 &e_a \left((e_a \cdot f_{e_a e_b}) e_a \right) = \\
 &= e_a e_b, e_a \left((e_a \cdot f_{e_a e_b}) \cdot (e_a \cdot e_a) \right) = e_a e_b, \\
 &\left((e_a (e_a \cdot f_{e_a e_b})) e_a \right) e_a = e_a e_b, (f_{e_a e_b} \cdot e_a) = e_a e_b.
 \end{aligned}$$

Последнее равенство умножаем справа на e_a и используем (28). Получаем $f_{e_a e_b} = (e_a e_b) \cdot e_a$. Теперь используем (21) $x x^{-1} = f_x$ и получаем $e_a = (e_a e_b)^{-1}, e_a^{-1} = e_a e_b, e_a = e_a e_b, e_a = e_b$.

Получили $e_a = e_b, \forall a, b \in Q, (Q, \cdot)$ является лупой.

Цитированная литература

1. **Moufang, R.** Zur Structur von Alternativ Korpern. / R. Moufang. // Math. Ann., vol. 110, pp. 416–430, 1935.

2. **Albert, A. A.** Quasigroups. I. / A. A. Albert // Transactions of the American Mathematical Society, vol. 54, no. 1, pp. 507–519, 1943.

3. **Albert, A. A.** Quasigroups. II / A. A. Albert // Transactions of the American Mathematical Society, vol. 55, pp. 401–419, 1944.

4. **Galkin, V. M.** Quasigroups / V. M. Galkin // J. Soviet Math., 49 (1990), 941 – 967 (transl. from Itogi Nauki i Tekhniki, Algebra. Topology. Geometry, 26 (1988), 3–44).

5. **Kunen, K.** Moufang quasigroups / K. Kunen // J. Algebra, 183 (1996), 231–234.

6. **Shcherbacov V., Izbash V.** On quasigroups with Moufang identity / V. Shcherbacov, V. Izbash

// Bul. Akad. Ştiinţe RSS Moldoven., 2(27) (1998), 109–116.

7. **Bruck R. H.** A Survey of Binary Systems / R. H. Bruck Springer-Verlag, Berlin, New York, 1958.

8. **Belousov V. D., Florja I. A.** Quasigroups with the inverse property / V. D. Belousov, I. A. Florja // (Russian), Bul. Akad. Ştiinţe RSS Moldoven., (1966), no. 4, 3–17.

9. **Белоусов, В. Д.** Основы теории квазигрупп и луп / В. Д. Белоусов. – Москва : Наука, 1967. – Текст : непосредственный.

10. **Флоря, И. А.** Квазигруппы Бола / И. А. Флоря. – Текст : непосредственный // Исследования по общей алгебре. – Кишинев : Изд-во АН МССР, 1965. – С. 136–153.

11. **Избаш, В. И.** О квазигруппах с тождеством Муфанг / В. И. Избаш, В. А. Щербаков. – Текст : непосредственный // Третья международная конференция по алгебре памяти М. И. Каргаполова (1928–1976): Тезисы докладов, 23–28 августа. – 1993. – С. 134–135.

УДК 512.548.7:004.056.55

КВАЗИГРУППЫ В КРИПТОЛОГИИ

Н. Н. Дидурик, Н. Н. Малютина, В. А. Щербаков

Представлен обзор применения квазигрупп в криптологии. Теория приложений квазигрупп в криптологии переживает период быстрого развития, представляет собой очень перспективную область. Задача авторов – показать эффективность и преимущества применения квазигрупп в криптологии.

Ключевые слова: квазигруппа, криптология, криптография, криптоанализ, ключ, криптосистема, ассоциативная система, неассоциативная система, шифр, открытый текст, зашифрованный текст.

QUASIGROUPS IN CRYPTOLOGY

N. N. Didurik, N. N. Malyutina, V. A. Shcherbacov

This article is devoted to an overview of the use of quasigroups in cryptology. The theory of applications of quasigroups in cryptology is experiencing a period of rapid growth. This topic is a very prospective area. Our task was to show the efficiency and advantages of using quasigroups in cryptology.

Keywords: quasigroup, cryptology, cryptography, cryptanalysis, key, cryptosystem, associative system, non-associative system, cipher, plaintext, ciphertext.

Теория квазигрупп в настоящее время развивается в нескольких направлениях, наибольший интерес представляет применение теории квазигрупп в криптологии. Коды и шифры, основанные на неассоциативных структурах, показывают лучшие возможности, чем коды и шифры, построенные на основе ассоциативных структур. Многие результаты, полученные в области применения квазигрупп в криптологии и теории кодирования до конца 1980-х годов, описаны в [1, 2]. В настоящем обзоре основное внимание уделяется результатам, полученным в этом направлении позднее.

Современная алгебра, понимаемая как изучение операций над какими-либо мате-

матическими объектами, является одним из разделов математики, формирующим общие понятия и методы для всей математики. Свойства операций над математическими объектами в разных ситуациях иногда оказываются одинаковыми, несмотря на различие между объектами. Отвлекаясь от природы объектов, но фиксируя некоторые свойства операций над ними, ученые пришли к понятию универсальной алгебры. В ходе развития математики и ее приложений первоначально выделялось сравнительно немного типов универсальных алгебр: группы, векторные пространства, ассоциативные кольца и алгебры, модули. Позднее предметом изучения стали другие классы: неассоциативные кольца и алгебры (алгебры Ли, йордановы алгебры), решетки, полугруппы, квазигруппы, луны

и другие. Изучение установленных типов универсальных алгебр получило название общей алгебры.

В современной алгебре теорию квазигрупп можно рассматривать как одно из звеньев между классическими алгебраическими системами – группами и общими системами универсальной алгебры. Эта теория представляет собой самостоятельный раздел общей алгебры со своими задачами и проблемами.

Теория квазигрупп возникла в 30-х годах XX века, когда появились работы Руф Муфанг (Ruth Moufang), посвященные недезарговым проективным плоскостям, и в настоящее время имеет тесные связи с геометрией (теорией проективных плоскостей), комбинаторикой (теорией латинских квадратов) и теорией алгебраических сетей. Квазигруппы имеют различные приложения в дифференциальной геометрии, теории автоматов, криптографии, физике и т. д. Квазигруппы нашли свое применение в теории относительности при изучении пространственно-временных задач, в результате появились такие понятия, как квазигруппа Пуанкаре и квазигруппа Лоренца. С одной стороны, в недрах проективной геометрии возникли квазигруппы, а с другой, гораздо раньше – как комбинаторный объект – латинские квадраты в работах Леонарда Эйлера (Leonhard Euler).

В. Дёрнте (W. Dornst) изучал тернарные квазигруппы как обобщения бинарных групп. А. К. Сушкевич, один из основоположников теории обобщенных групп, исследовал бинарные квазигруппы с некоторыми дополнительными условиями (постулатами Сушкевича) и определил медиальные квази-

группы. К. Бурстин (C. Burstin) и В. Майер (W. Mayer) изучали дистрибутивные квазигруппы. Важные результаты по теории квазигрупп были получены А. А. Албертом (A. A. Albert), Р. Бэром (R. Baer), Д. Ч. Мёрдочем (D. C. Murdoch), К. Тойодой (K. Toyoda) и Р. Х. Браком (R. H. Bruck). Работы этих авторов положили начало развитию алгебраической теории квазигрупп.

Фундаментальные результаты в теории бинарных и n -арных квазигрупп, а также в теории сетей и теории функциональных уравнений принадлежат В. Д. Белоусову.

Важную роль в теории квазигрупп играет понятие изотопии, заимствованное А. А. Албертом из топологии, обобщающее понятие изоморфизма, которое используется в теории неассоциативных тел.

В классе квазигрупп, изотопных группам, интерес представляют так называемые линейные квазигруппы. Эти квазигруппы были введены В. Д. Белоусовым в [3] и затем по аналогии с линейными квазигруппами были определены алинейные квазигруппы. Позже, как обобщение линейных и алинейных квазигрупп, были введены классы квазигрупп, линейные слева или справа, алинейные слева или справа и смешанного типа линейности.

Многие классические объекты относятся к классу обобщенных линейных квазигрупп. Помимо результатов, полученных В. Д. Белоусовым, чешские алгебраисты – Т. Кепка (T. Kepka), П. Немец (P. Němec), Й. Ежек (J. Ježek), а также представители квазигрупповой школы В. Д. Белоусова и Г. Б. Белявской и их ученики В. А. Щербаков, В. И. Избаш, К. К. Щукин, Ф. Н. Со-

хацкий, П. Н. Сырбу, А. Х. Табаров и В. А. Дудек (W. A. Dudek) провели исследования по линейным квазигруппам и их обобщениям. Исследованы алгебраические и комбинаторные аспекты обобщенных линейных квазигрупп. Также изучались n -арные линейные квазигруппы. Многие вопросы и проблемы теории квазигрупп до сих пор остаются нерешенными.

Криптология состоит из двух частей: криптографии и криптоанализа. Криптографию можно определить как науку о передаче и управлении информацией в присутствии противника, а криптоанализ – наука о методах и способах раскрытия шифров. Шифр – это способ (метод, алгоритм) преобразования информации с целью ее защиты, а ключ – это скрытая часть или параметр шифра.

Теория кодирования – это прежде всего наука о защите информации от случайных ошибок, вызванных преобразованием и передачей этой информации.

С древних времен человечество использовало различные варианты кодирования информации, изобретались устройства, которые бы способствовали сохранению в тайне секретной информации. Толчком к развитию теории информации послужила работа нидерландского лингвиста Огюста Керкгофса (Auguste Kerckhoffs) «Военная криптография» («La Cryptographie Militaire», 1883). Одним из главных трудов XX века в области криптоанализа выступила в 1920 году монография Уильяма Фредерика Фридмана (William Frederick Friedman) “The Index of Coincidence and its Application in Cryptography” (1921). Фрид-

ман впервые ввел в обращение термины *cryptanalysis* (1920) и *cryptology* (1935).

Криптография долгое время продолжала оставаться секретной наукой, так как ее основной задачей являлось сохранение в тайне государственных секретов. Клод Шеннон (Claude Shannon) в своей статье “Communication Theory of Secrecy Systems” (1949), опубликованной в журнале “Bell System Technical Journal”, сформулировал фундаментальные понятия теоретической криптографии и положил начало криптографии как отдельной и очень важной науки.

В 1968 году Хорст Фейстель (Horst Feistel) начал работать в IBM Watson Laboratory над проблемами безопасности данных. Он был одним из первых неправительственных исследователей, который занялся разработкой теории блочных шифров. Фейстель принимал участие в создании проекта *Lucifer* и первым предложил использовать *SP*-сети. Его исследования в области блочных шифров послужили основой для создания алгоритма шифрования DES (Data Encryption Standard).

После появления стандарта шифрования DES в 1975 году Уитфильд Диффи (Whitfield Diffie) и Мартин Хеллман (Martin Hellman) предложили новый метод криптографического преобразования информации – криптографию с открытым ключом или асимметричную криптографию. В своей работе авторы описали абсолютно новый подход к распределению криптографических ключей, ссылаясь на работы Ральфа Меркля (Ralph Merkle), который параллельно с ними занимался задачей распределения ключей среди пользователей. Новый

метод использовал модульную арифметику и в нем появились два фундаментальных изменения: персонализация ключей и разделение ключей. В результате взлом ключа стал крайне сложной задачей.

Алгоритм Диффи – Хеллмана считается основой современной криптографии и демонстрирует возможность получения криптографического метода, который не требует обмена ключами, хотя и использует открытую связь – передачу пары первых чисел, которые служат для определения ключа. Алгоритмы такого типа и задачи дискретного логарифмирования долго не получали должного внимания, вплоть до 1990-х годов.

Появление концепции ассиметричных криптографических систем и создание первых криптографических алгоритмов нового типа, которые были практически реализуемы, произвел революционный переворот в криптографии и привели к быстрой ее алгебраизации и вовлечению в криптографическую теорию и практику все новых алгебраических объектов.

Многие авторы книг, посвященных криптологии, делят эту науку на две части: до статьи Диффи и Хеллмана (криптология с симметричным ключом) и после этой работы (криптология с открытым ключом). Практически Диффи и Хеллман открыли новую эру в криптологии.

В последние годы получили развитие квантовая теория кода и квантовая криптология. Квантовая криптология также использует теоретические достижения классической криптологии.

Эффективность применения квазигрупп в криптологии основана на том, что

квазигруппы представляют собой «обобщенные перестановки» того или иного вида и число квазигрупп порядка n больше, чем $(n \cdot (n - 1)! \cdot \dots \cdot 2! \cdot 1!)$. Использование квазигрупп в криптологии дает такие же перестановки и замены, но легко генерируется и не требует большого объема памяти устройства, воздействуя «локально» только на один блок открытого текста.

Первыми профессиональными криптографами, которые занимались развитием теории квазигрупп, были А. А. Алберт, А. Дриско (A. Drisko), М. М. Глухов, Дж. Б. Россер (J. B. Rosser), Э. Шёнхардт (E. Schonhardt), Х. Дж. Мендельсон (C. I. Mendelson) и Р. Шауфлер (R. Schaufler). Некоторые результаты, полученные в области применения квазигрупп в криптологии и теории кодирования, описаны в работах Дж. Денеша (J. Denes) и А. Д. Кидвелла (A. D. Keedwell) [1, 4, 5]. Многие результаты неассоциативной криптографии с открытым ключом можно найти у А. Калки (A. Kalka) [6].

Важные результаты в применении теории квазигрупп в криптографии были получены М. Э. Тужиным; Ю. М. Мовсисяном; А. В. Грибовым, П. А. Золотых и А. В. Михалевым; Дж. Мейз (G. Maze), К. Монико (C. Monico) и И. Розенталем (J. Rosenthal); В. Шпильрайном (V. Shpilrain) и А. Ушаковым; Р. Э. Атани (R. E. Atani), Ш. Э. Атани (Sh. E. Atani) и С. Мирзакучаки (S. Mirzakuchak); А. Крапежем (A. Krapez); К. А. Мейером (K. A. Meyer); В. А. Аргамоновым, С. Чакрабартти (S. Chakrabarti), В. Т. Марковым и С. К. Полом (S. K. Pal).

Ч. Кошельны (C. Koscielny) и Г. Л. Маллен (G. L. Mullen) представили

криптосистему с открытым ключом, использующую обобщенные поточные шифры, основанные на квазигруппах. Квазигруппы для безопасного кодирования предложили использовать Э. Оходкова (E. Ochodkova) и В. Шнасель (V. Snasel); С. Марковски (S. Markovski), А. Милева, Д. Глигороски (D. Gligoroski), Б. Стойчевска (B. Stojcevska) и В. Бакева (V. Bakeva); В. Димитрова (V. Dimitrova), З. Трайческа (Z. Trajcheska), М. Петковска (M. Petkovska), М. Костадиноски (M. Kostadinovski) и Д. Бухов.

Более полный обзор применения квазигрупп в криптологии можно найти в работе В. А. Щербакова [7].

С. Марковски и его соавторы представили поточный шифр с почти открытым ключом, основанным на квазигруппах в [8]. Алгоритм Марковского и его обобщения в настоящее время широко известны и часто используются в поточных шифрах на основе квазигрупп. Усовершенствования и исследования алгоритма Марковского интенсивно проводились В. А. Щербаковым в [7].

Важные результаты были получены А. Крапежем, В. Бакевой, В. Димитровой и А. Поповской-Митровики (A. Popovska-Mitrovikj). А. Крапеж и Д. Живкович (D. Zivkovic) предлагают использовать парастрофические преобразования квазигрупп и их модификации, которые весьма перспективны для применения и исследования. Криптоанализ этих шифров изучался в диссертационной работе М. Войводы (M. Vojvoda) [9].

Некоторые обобщения и модификации алгоритма Марковского можно най-

ти в работах В. А. Щербакова и А. Петреску (A. Petrescu) [10–14]. Дальнейшее развитие алгоритма Марковского представляется в работах С. Марковского, Д. Глигороски, Л. Кочарева (L. Kocarev), С. Й. Кнапскога (S. J. Knapskog), М. Хассинена (M. Hassinen) [15–17]; Ч. Сушета (C. Sucheta), Сейбал К. Пал (K. Pal Saibal) и Г. Сугата (G. Sugata) [18].

Важные сведения о криптоанализе некоторых поточных шифров можно найти в статье В. А. Щербакова и П. Ксёрго (P. Csorgo) [19].

Алгоритм Марковского имеет множество различных обобщений и может быть использован для построения аналогов схемы Эль-Гамала. Аналог системы шифрования Эль-Гамала на основе алгоритма Марковского приведен в работах В. А. Щербакова и Н. А. Молдовяна [20]; А. В. Грибова [21].

Интенсивное развитие современной криптологии связано с быстрым внедрением и совершенствованием персональных компьютеров и сетей. В этом направлении появилось много новых математических и криптографических задач, часть из которых до сих пор не решена.

Криптографические методы стали широко использоваться в электронной коммерции, телекоммуникациях и многих других средах. Эти методы используются не только для шифрования транзакций и контроля над производством криптовалют, но и обеспечивают безопасную работу банковских систем, пластиковых карт, банкоматов, беспроводных устройств и т. д.

Современная криптография занимается такими проблемами защиты ин-

формации, как конфиденциальность, целостность, аутентификация, управление ключами и невозможность отказа сторон от авторства. Создание надежных алгоритмов шифрования является ключевой задачей защиты информации. Поэтому любой построенный алгоритм необходимо подвергать тщательному анализу с целью выявления его слабых мест и возможности взлома.

Без криптографии не обойтись при защите данных, передаваемых по открытым каналам связи, а также там, где необходимо подтвердить целостность электронной информации или доказать ее авторство. Криптографические методы нашли широкое применение в практической информатике для решения многочисленных задач защиты информации.

Важной задачей современной криптографии является повышение стойкости и уменьшение размера блоков данных за счет модификации существующих криптосистем и построения новых с улучшенными характеристиками.

Существует два основных элементарных метода шифрования информации:

1) символы в открытом тексте представляются по какому-то закону. Первый известный шифр такого рода – Скитала;

2) все символы в фиксированном алфавите изменяются законом на другие буквы этого же алфавита. Одним из первых шифров такого рода является шифр Цезаря.

Во многих современных шифрах (DES, российский ГОСТ, Blowfish) эти два метода используются с некоторыми модификациями.

Поскольку латинский квадрат имеет комбинаторную природу и представляет собой таблицу умножения квазигруппы, его можно рассматривать как самое раннее использование неассоциативной алгебраической структуры в криптологии. Впервые в криптографии латинский квадрат был использован в полиалфавитном шифре Тритемия. Шифр Тритемия использует 26×26 квадратный массив, содержащий 26 букв алфавита. Различные строки этого квадратного массива используются для шифрования различных букв открытого текста способом, предписанным ключевым словом или ключевой фразой.

Впоследствии этот шифр был усовершенствован Г. Б. Белласо (G. B. Bellaso). Вместе с идеей Л. Б. Альберти (L. B. Alberti) использовать произвольный алфавит появился новый шифр на основе квазигруппы, что стало важной вехой в развитии криптографии.

Р. Шауфлер (R. Schaufler) в своей диссертации обсудил минимальное количество открытого текста и соответствующего ему зашифрованного текста, которые потребуются для взлома шифра Виженера. Он рассмотрел минимальное количество заполнений частичного латинского квадрата, которое полностью определяет квадрат. В последнее время эта проблема вновь возникла как проблема определения так называемых критических множеств в латинских квадратах.

Более поздние системы шифрования, которые можно рассматривать как продолжение идеи Виженера, – это механические машины, такие как колесо Джефферсона, конвертер М-209 (используемый армией

США до начала 1950-х годов) и электронные потоковые шифры современности.

Во время Второй мировой войны Р. Шауфлер, работая в немецкой криптографической службе, разработал метод обнаружения ошибок, основанный на использовании обобщенных тождеств (название было дано позднее В. Д. Белоусовым), в котором контрольные цифры вычисляются с помощью ассоциативной системы квазигруппы. Сведения о системах квазигрупп с обобщенными тождествами, применяемых в современной криптографии, можно найти в работах Ю. М. Мовсисяна.

Потоковые шифры являются важным классом алгоритмов шифрования. Они шифруют отдельные символы открытого текстового сообщения по одному, используя шифрование, которое меняется со временем. В отличие от этого, блочные шифры, как правило, одновременно шифруют группы символов текстового сообщения, используя фиксированное шифрование. Потоковые шифры обычно быстрее, чем блочные шифры в аппаратном обеспечении, и имеют менее сложную аппаратную схему. Они также более уместны, а в некоторых случаях даже обязательны, когда буферизация ограничена или когда символы должны обрабатываться индивидуально по мере их получения.

Часто предыдущий зашифрованный блок используется для шифрования блока открытого текста, и Фейстель был одним из первых, кто предложил этот метод шифрования (сеть Фейстеля).

В [22] при построении блочного стандарта шифрования используются такие квазигрупповые понятия, как изотопия и

квазигрупповая операция. В [23] С. Кочельны показал, как могут быть созданы потоковые шифры на основе квазигрупп (неполей), которые являются более эффективными и более безопасными, чем основанные на группах (полях).

В [24, 8] Смиле Марковски и соавторы предложили использовать квазигруппы для безопасного кодирования. Алгоритм Марковского и его обобщения в настоящее время являются наиболее известными и наиболее используемыми потоковыми шифрами на основе квазигрупп. Интенсивно проводились улучшения и исследования алгоритма Марковского.

В статье [25] авторы находят распределение k -кортежей букв после n приложений квазигруппового преобразования ($k > n$) и дают алгоритм статистической атаки для обнаружения исходного сообщения. Кроме того, предоставляются некоторые выводы о том, как защитить оригинальные сообщения.

В работе [26] А. Крапеж и Д. Живкович определяют парастрофические преобразования квазигрупп, которые достаточно перспективны для дальнейшего применения и исследования в криптографии.

Блочный шифр на основе алгоритма Марковского предлагается в [16]. Авторы исследовали существование MQQ (многомерные квадратичные квазигруппы) порядков 8, 16 и 32 и показали, что предложенный шифр устойчив по отношению к выбранной атаке открытого текста, атакам с дифференциальным криптоанализом, атакам XL и некоторым другим видам атак.

Алгебраический криптоанализ криптосистемы открытого ключа MQQ при-

веден в [27]. Представлена эффективная атака многомерной квадратичной квазигрупповой (MQQ) криптосистемы. Криптоанализ ломает криптосистемы MQQ путем решения систем многомерных квадратичных полиномиальных уравнений с использованием модифицированной версии алгоритма MutantXL.

В [24] предлагается использовать алгоритм Марковского для безопасного шифрования файловой системы. Обзор механизмов безопасности в системах мобильной связи приведен в [28].

SMS (служба коротких сообщений) иногда используются для обмена конфиденциальными данными, такими как номер социального страхования, номер банковского счета, пароль и т. д. Опечатка при выборе номера при отправке такого сообщения может иметь серьезные последствия. Большинство мобильных операторов шифруют все данные мобильной связи, включая SMS-сообщения. Помимо прочего, эти потребности обуславливают необходимость разработки дополнительного шифрования SMS-сообщений, с тем чтобы только аккредитованные стороны могли осуществлять связь. В [17] описан подход к этой задаче с использованием алгоритма Марковского.

В [8] авторы вводят потоковый шифр с почти открытым ключом, основанный на квазигруппах, для определения подходящего шифрования и дешифрования. Они учитывают безопасность этого метода. Показано, что ключ (ключевая квазигруппа) может быть открытым и при этом обладать достаточной безопасностью.

В [29] представлена криптосистема с открытым ключом, использующая обобщенные потоковые шифры на основе квазигрупп. Показано, что такая криптосистема позволяет безопасно передавать как криптограмму, так и секретную часть ключа шифрования по одному и тому же небезопасному каналу.

В статье [18] предложены следующие обобщения алгоритма Марковского:

1. Предлагается использовать комбинацию бинарных квазигрупп для того, чтобы построить некоторые n -арные ($n \geq 2$) квазигруппы.

2. Предлагается использовать изотопию n -арных квазигрупп для генерации ключевой квазигруппы.

В [18] предложен модифицированный потоковый шифр на основе тернарных квазигрупп. Схема предназначена для экспоненциального увеличения сложности ключа и может быть использована в современных практических приложениях. Первая часть ключа случайным образом генерирует начальную квазигруппу. Поскольку выбор тернарных квазигрупп велик даже для малого порядка и он также увеличивается экспоненциально, мы включаем эту структуру и используем ее для настройки алгоритма на основе ключа, используемого для шифрования. В этой статье рассмотрены только приводимые тернарные квазигруппы. Продолжается расширение этой схемы для выбора подходящей случайно сгенерированной тернарной квазигруппы на основе ключа. Это помогло бы улучшить криптографическую стойкость схемы.

Имеется возможность развития этого направления с использованием ортого-

нальных систем бинарных или n -арных квазигрупп. Такие системы имеют более равномерное распределение элементов базового набора и поэтому могут быть более предпочтительными в защите от статистических криптоаналитических атак. Построение линейных двоичных кодов с использованием ортогональных систем латинских квадратов можно найти в [30].

Среди примеров использования латинских квадратов для построения потоковых шифров необходимо выделить предложенный в 2005 году шифр Edon-80. Разработчики шифра из 576 существующих латинских квадратов 4-го порядка тщательно отобрали 4, на основе которых в криптосхему встроен конвейер из 80 латинских квадратов, он используется для генерации гаммы.

Квазигрупповые понятия, такие как изотопия, квазигрупповая операция, используются при построении стандарта блочного шифрования в [31]. С. Кошельны в своих работах показал, как можно создавать поточные шифры на основе квазигрупп (неполей), которые более эффективны и надежны, чем на основе групп (полей).

Авторы в [32] строят криптосистему, используя не ассоциативную структуру, а именно кольцо квазигрупп. Там же описаны модификации, повышающие защищенность этой схемы от возможных атак. Анализируются некоторые неассоциативные структуры, пригодные для построения криптосистем.

Криптография с открытым ключом, основанная на полугрупповых действиях,

изучается в [33]. Двустороннее групповое действие используется для криптологической необходимости в [34]. Криптография с открытым ключом на основе полумодулей над полукольцами факторов исследуется в [35]. Криптографически пригодные квазигруппы, основанные на функциональных уравнениях, изучаются в [36].

Криптосистема с открытым ключом, использующая обобщенные поточные шифры на основе квазигрупп, представлена в [29].

Под идентификацией сообщения мы подразумеваем, что его получатель может установить его происхождение, а злоумышленник не мог маскироваться под кого-то другого. Некоторые квазигрупповые подходы к проблемам идентификации сообщений, получения динамического пароля, цифровых отпечатков пальцев обсуждаются в [37].

Под аутентификацией сообщения мы подразумеваем, что его получатель может убедиться, что сообщение не было изменено при передаче. Авторы предложили новую схему аутентификации на основе квазигрупп в [38]. В [39] создан новый код аутентификации сообщений QMAC, безопасность которого основана на неассоциативности квазигрупп.

В [40] рассмотрено несколько криптосистем, основанных на квазигруппах и различных комбинаторных объектах, таких как ортогональные латинские квадраты и частичные квадраты, блочные конструкции и пространственные квадраты.

Изотопию квазигрупп в протоколе с нулевым разглашением предлагается использовать в [41].

При построении криптосистем на основе квазигрупп возникает вопрос: насколько велико расстояние между различными бинарными или n -арными квазигруппами? Автор обсуждает расстояния Хэмминга алгебраических объектов с бинарными операциями в [42]. Он также объясняет, как набор расстояний двух квазигрупп дает 2-комплекс и указывает на связь с разрезами равносторонних треугольников.

Важной криптографической задачей является генерация «больших» квазигрупп, которые можно легко хранить в компактном виде в памяти компьютера. Понятно, что для этих целей наиболее подходящим способом является сохранение небольшой базы и некоторых процедур получения необходимых элементов. Поэтому возникла необходимость легко генерировать объекты (циклические группы, абелевы группы, группы) с помощью быстрых методов их преобразования (парастрофы, изотопии, изострофы, пересеченные изотопии, гомотопии, обобщенные изотопии, скрещенное произведение, обобщенное скрещенное произведение). Для этих целей вполне подходят различные линейные квазигруппы (особенно n -арные квазигруппы).

В [43] предлагается использовать булевы векторы и простые поля для построения n -арных и бинарных квазигрупп. Метод генерации почти неограниченного числа квазигрупп произвольного порядка с помощью системы компьютерной алгебры Maple7 представлен в [44]. Авторы дают эффективный алгоритм построения огромных квазигрупп с использованием расширенных сетей Фейстеля в [45].

Квазигруппы нашли свое применение в схемах секретного доступа. Существуют схемы разделения секретов, использующие китайскую теорему об остатках (схемы Миньо (Mignot) и Асмута – Блума (Asmuth–Bloom)) и ортогональные массивы. Схемы разделения секретов, основанные на критических множествах в латинских квадратах, изучены в [46]. Исследование недостатков некоторых теоретических криптографических схем, основанных на критических множествах в латинских квадратах, продолжается в [47]. Обзоры критических множеств латинских квадратов даны в [48, 49].

Открытые вопросы, касающиеся схем разделения секретов с использованием латинских квадратов, можно найти в [50, 51]. Некоторые системы разделения секретов описаны в [1]. Г. Б. Белявская предлагает общую схему разделения секретов, основанную на частично ортогональных системах k -арных операций, которая обобщает некоторые известные схемы.

Некоторые применения CI -квазигрупп (скрещенных инверсных квазигрупп) в криптологии с асимметричными ключами описаны в [52]. CI -квазигруппа может быть использована для предоставления сайта одноразового обмена ключами (без вмешательства центра распределения ключей). В этой схеме В. А. Щербаков предлагает применять (r,s,t) -инверсные квазигруппы. Схему можно обобщить, используя некоторые m -инверсные квазигруппы, (r,s,t) -инверсные квазигруппы или (α,β,γ) -инверсные квазигруппы.

Во многих случаях в криптографии возможно изменение ассоциативных си-

стем на неассоциативные и практически в любом случае это изменение дает в некотором смысле лучшие результаты, чем использование ассоциативных систем. Квазигруппы, несмотря на свою простоту, имеют различные приложения в криптологии. Многие новые криптографические алгоритмы могут быть сформированы на основе квазигрупп.

Обзор применения квазигрупп в криптографии можно найти в диссертации Н. Н. Малютиной [53]. Эта работа посвящена построению новых обобщений алгоритма Марковского, которые в настоящее время широко известны и часто используются для построения поточных шифров на основе квазигрупп. В первой главе работы представлен обзор особенностей современных криптографических систем, а также рассмотрены основные проблемы, связанные с определением криптографической стойкости современных систем защиты информации и подходы к их решению. Автором были выделены основные перспективы применения теории квазигрупп в криптологии, и, в частности, проведен обзор различных способов обобщения алгоритма Марковского и схемы Эль-Гамала. Кроме того, осуществлен синтез представленных в современной литературе научных исследований по эволюции развития методов анализа для изучения теории квазигрупп, теории кодирования и изучения основных приложений квазигрупп в теории кодирования.

На основании анализа текущей ситуации можно сделать следующие выводы:

1) важным аспектом безопасности информационных систем является оценка

надежности используемых криптографических алгоритмов;

2) ключевой задачей защиты информации является создание надежных алгоритмов шифрования;

3) любой вновь построенный алгоритм необходимо подвергать тщательному анализу с целью выявления его слабых мест и возможности взлома;

4) использование квазигрупп в криптологии показывает лучшие возможности и результаты, чем использование ассоциативных систем.

В последнее время во всем мире разрабатываются новые подходы к построению защищенных информационных систем и сетей на базе криптографических методов обеспечения защиты данных. В настоящее время рассматривается и разрабатывается достаточно большое количество вариантов обеспечения стойкости криптографических систем на базе использования квантового оборудования (компьютера), квантовой памяти и квантового распределения ключей.

Актуальность обзора результатов исследований по заявленной тематике обусловлена интенсивным развитием современных подходов к разработке криптографических и алгебраических алгоритмов ряда задач информационной безопасности, требующих построения новых адекватных математических моделей для своего теоретического обоснования. В условиях изменения возможностей потенциального злоумышленника (как индивидуального, так и коллективного) актуальной становится задача разработки криптографических и алгебраических алгоритмов и

их криптоанализ, а также поиск новых способов комплексной защиты информации.

Предметными областями перспективных исследований применения квазигрупп в криптологии могут быть такие, как кодирование данных, формы представления информации, криптоанализ и др. Результаты могут быть использованы при построении и эксплуатации пиринговых сетей, проектировании технологий обмена информацией в централизованных и децентрализованных сетях и системах, а также различных библиотеках. Особой областью использования могут быть банковские информационные системы, приложения и банковские продукты и услуги. Во всех перечисленных областях могут быть эффективно использованы такие алгебраические структуры, как квазигруппы.

Цитированная литература

1. **Denes, J.** and Keedwell, A. D. Latin squares: New Developments in the Theory and Applications // *Annals of Discrete mathematics.* – 1991. – North-Holland. – Vol. 46. – P. 1–469.
2. **Denes, J.** and Keedwell, A. D. Some applications of non-associative algebraic systems in cryptology // *P.U.M.A.* – 2002. – Vol. 12(2). – P. 147–195.
3. **Белоусов, В. Д.** Уравновешенные тождества в квазигруппах / В. Д. Белоусов. – Текст : непосредственный // *Математический сборник.* – 1966. – Т. 70 (112), № 1. – С. 55–97.
4. **Denes, J.** and Keedwell, A. D. Some applications of non-associative algebraic systems in cryptology // *Pure Mathematics and Applications.* – 2001. – Vol. 12(2). – P. 147–195.
5. **Denes, J.** On Latin squares and a digital encrypting communication system // *P.U.M.A., Pure Mathematics and Applications, Department of Mathematics, Corvinus University of Budapest.* – 2000. – Vol. 11, iss.4. – P. 559–563.
6. **Kalka, A.** Non-associative public-key cryptography. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1210.8270.pdf>.
7. **Shcherbacov, V. A.** Elements of Quasigroup Theory and Applications / V. A. Shcherbacov. – 1st ed: Chapman and Hall // CRC. – 2017. – 598 p.
8. **Markovski, S.,** Gligoroski, D., Stojcevska, B. Secure two-way on-line communication by using quasigroup enciphering with almost public key // *Novi Sad Journal of Mathematics.* – 2000. – Vol. 30, iss. 2. – P. 43–49.
9. **Vojvoda, M.** Stream Ciphers and Hash Functions: Analysis of Some New Design Approaches // PhD thesis in technical sciences. Department of Mathematics, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Slovak University of Technology. – Bratislava, 2004. – 94 p.
10. **Shcherbacov, V.** Elements of quasigroup theory and some its applications in code theory. – URL : <https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~drapal/speccurs.pdf>.
11. **Shcherbacov, V.** On some known possible applications of quasigroups in cryptology. – URL: <https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~drapal/krypto.pdf>.
12. **Petrescu, A.** Applications of quasigroups in cryptography // *Interdisciplinarity in Engineering Scientific International Conference Tg. Mures-Romania, 15–16 November.* – 2007. – P. 5.
13. **Petrescu, A.** n -Quasigroup cryptographic primitives: Stream ciphers // *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Informatica.* – 2010. – Vol. LV, iss.2. – P. 27–34.
14. **Shcherbacov, V. A.** Quasigroups in cryptology // *Computer Science Journal of Moldova.* – 2009. – Vol. 17, no.2 (50). – P. 193–228.
15. **Gligoroski, D.,** Markovski, S., Kocarev, L. Edon-R, an infinite family of cryptographic hash functions // *International Journal of Network Security.* – 2009. – Vol. 8, no. 3. – P. 293–300.
16. **Gligoroski, D.,** Markovski, S., Knapskog, S. J. A public key block cipher based

- on multivariate quadratic quasigroups. – URL: <https://arxiv.org/abs/0808.0247>.
17. **Hassinen, M.**, Markovski, S. Secure SMS messaging using Quasigroup encryption and Java SMS API // Proceedings of the Eighth Symposium on Programming Languages and Software Tools SPLST'03, June 17–18. – 2003. – P. 187–200.
18. **Chakrabarti, S.**, Saibal, K. P., Sugata, G. An Improved 3-Quasigroup based Encryption Scheme // ICT Innovations 2012, Secure and Intelligent Systems, Web Proceedings. – 2012. – P. 173–184.
19. **Csorgo, P.**, Shcherbacov, V. On some quasigroup cryptographical primitives. – URL: <https://arxiv.org/abs/1110.6591>.
20. **Moldovyan, N. A.**, Shcherbacov, A. V., Shcherbacov, V. A. On some applications of quasigroups in cryptology // Proceedings of the Workshop on Foundations of Informatics FOI-2015, August 24–29. – 2015. – P. 331–341.
21. **Грибов, А. В.** Алгебраические неассоциативные структуры и их приложения в криптографии: специальность 01.01.00 «Математическая логика, алгебра и теория чисел»: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Грибов Алексей Викторович. – Москва, 2015. – 93 с. – Текст : непосредственный.
22. **Xuejia Lai** and James L. Massey. A proposal for a new block encryption standard // Advances in Cryptology – EUROCRYPT 90, LNCS. –1991. – Vol. 473. – P. 389–404.
23. **Koscielny, C.** A method of constructing quasigroup-based stream ciphers // Appl. Math. and Comp.Sci. – 1996. – Vol. 6. – P. 109–121.
24. **Ochadkova, E.** and Snasel, V. Using quasigroups for secure encoding of file system // Abstract of Talks of Conference Security and Protection of Information. – 2001. – P. 175–181.
25. **Bakeva, V.** and Dimitrova, V. Some probabilistic properties of quasigroup processed strings useful in cryptanalysis // ICT-Innovations. – 2010. – P. 61–70.
26. **Krapez, A.** and Zivkovic, D. Parastrophically equivalent quasigroup equations // Publ. Inst. Math. (Beograd) (N.S.). – 2010. – Vol. 87(101). – P. 39–58.
27. **Mohamed Saied** Emam Mohamed, Jintai Ding, and Johannes Buchmann. Algebraic Cryptanalysis of MQQ Public Key Cryptosystem by MutantXL. – URL: <https://eprint.iacr.org/2008/451.pdf>.
28. **Vojvoda, M.** A survey of security mechanisms in mobile communication systems // Tatra Mt. Math.Publ. –2002. – Vol. 25. – P. 109–125.
29. **Koscielny, Cz.**, Mullen, G.L. A quasigroup-based public-key cryptosystem // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. – 1999. – Vol. 9, no. 4. – P. 955–963.
30. **Malyutina, N.**, Shcherbacov, A., Shcherbacov, V. Construction of linear binary codes using orthogonal systems of Latin squares // Proceedings of the Fifth Conference of Mathematical Society of Moldova, IMCS-55, September 28 – October 1. – 2019. – P. 97–100.
31. **Lai X.**, Massey J.L. A Proposal for a New Block Encryption Standard // Advances in Cryptology – EUROCRYPT '90. Lecture Notes in Computer Science. – 1990. – Vol. 473. – P. 389–404.
32. **Грибов, А. В.** Построение алгебраической криптосистемы над квазигрупповым кольцом / А. В. Грибов, П. А. Золотых, А. В. Михалев. – Текст : непосредственный // Математические вопросы криптографии. – 2010. – Т. 1, № 4. – С. 23–32.
33. **Maze, G.**, Monico, C., Rosenthal, J. Public key cryptography based on semigroup actions // Advances in Mathematics of Communications. – 2007. – V. 1, no. 4. – P. 489–507.
34. **Shpilrain, V.**, Ushakov, A. Thompson's Group and Public Key Cryptography // Applied Cryptography and Network Security, ACNS, Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – V. 3531. – P. 151–163.
35. **Atani, R. E.**, Atani, Sh. E., Mirzakuchaki, S. Public Key Cryptography Based on Semimodules over Quotient Semirings // International Mathematical Forum. – 2007. – V. 2, no. 52. – P. 2561–2570.

36. **Krapez, A.** Cryptographically Suitable Quasigroups via Functional Equations // ICT Innovations 2012, Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2013. V. 207. – P. 265–274.
37. **Coppersmith, D.**, Weakness in quaternion signatures // Journal of Cryptology. – 2001. – V. 14, iss. 2. – P. 77–85.
38. **Denes, J., Keedwell, A. D.**, A new authentication scheme based on latin squares // Discrete Mathematics. – 1992. – V. 106–107. – P. 157–161.
39. **Meyer, K. A.** A New Message Authentication Code Based on the Non-Associativity of Quasigroups // PhD thesis of doctor of philosophy. Iowa State University. – 2006. – 91 p.
40. **Sarvate, D. G., Seberry, J.** Encryption methods based on combinatorial designs // Ars Combinatoria. – 1986. – V. 21-A. – P. 237–245.
41. **Denes, J., Denes, T.** Non-associative algebraic system in cryptology. Protection against “meet in the middle” attack // Quasigroups and Related Systems. – 2001. – V. 8, no. 1. – P. 7–14.
42. **Drapal, A.** Hamming distances of groups and quasi-groups // Discrete Mathematics. – 2001. – V. 235, iss. 1–3. – P. 189–197.
43. **Nosov, V. A., Pankratiev, A. E.** Latin squares over Abelian groups // Journal of Mathematical Sciences. – 2008. – V. 149, iss. 3. – P. 1230–1234.
44. **Koscielny, C.** Generating quasigroups for cryptographic applications // The International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. – 2002. – V. 12, no. 4. – P. 559–569.
45. **Markovski, S., Mileva, A.** Generating huge quasigroups from small non-linear bijections via extended Feistel function // Quasigroups and Related Systems. – 2009. – V. 17, no. 1. – P. 91–106.
46. **Cooper, J., Donovan, D., Seberry, J.** Secret sharing schemes arising from latin squares // Bulletin of the Institute of Combinatorics and its Applications. – 1994. – V. 12. – P. 33–43.
47. **Donovan, D. M., Lefevre, J. G., Mccourt, T. A., Cavenagh, N. J., Khodkar, A.** Identifying flaws in the security of critical sets in latin squares via triangulations. In: Australasian Journal of Combinatorics. – 2012. – V. 52. – P. 243–268.
48. **Keedwell, D.** Critical sets in latin squares: an intriguing problem // The Mathematical Gazette. – 2001. – V. 85, no. 503. – P. 239–244.
49. **Keedwell, D.** Critical sets in latin squares and related matters: An update // Utilitas Mathematica. – 2004. – V. 65. – P. 97–131.
50. **Falcon, R. M.** Cycle structures of autotopisms of the Latin squares of order up to 11. – URL: <https://arxiv.org/pdf/0709.2973v2.pdf>.
51. **Stones, D. S., Vojtechovsky, P., Wanless, I. M.** Cycle structure of autotopisms of quasigroups and Latin squares // Journal of Combinatorial Designs. – 2012. – V. 20, no. 5. – P. 227–263.
52. **Golomb, S. W., Welch, L. R., Denes, J.** Encryption system based on crossed inverse quasigroups. – URL: <https://patents.google.com/patent/US7280663B1/en>.
53. **Малюткина, Н. Н.** Использование информационных технологий в разработке криптографических и алгебраических алгоритмов : специальность 122.03 «Моделирование, математические методы, программное обеспечение»: диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Малюткина Надежда Николаевна. – Кишинев, 2023. – URL: <http://www.cnaa.md/thesis/59186/>. – Текст : электронный.
-

**АЛЕКСАНДР МОИСЕЕВИЧ ФРЕНК
(К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)***И. Г. Стамов*

Александр Моисеевич Френк родился 23 августа 1928 г. в городе Бухаресте в семье инженера нефтепромыслового предприятия. Трудовую деятельность начал в должности лаборанта исследовательской группы Московского нефтяного института в 1943 г. С 1945 по 1950 г. обучался в Кишиневском педагогическом институте (с 1946 г. – Кишиневский педагогический университет) на физико-математическом факультете. С 1954 г. А. М. Френк работает в Тираспольском педагогическом институте. В 60-х годах прошлого столетия А. М. Френк входит в авторские коллективы изданий, посвященных великим физикам.

12 ноября 1963 г., после окончания аспирантуры Московского университета им. М. В. Ломоносова и защиты кандидатской диссертации на тему «История развития оптики движущихся тел», решением Объединенного совета при Институте истории естествознания и техники АН СССР ему присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук. Решением Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего и среднего специального образования СССР от 16 февраля 1966 г. А. М. Френк утвержден в ученое звание доцента по кафедре общей физики и методики преподавания физики.

В 1968 г. Александр Моисеевич перешел с должности доцента, заведующего



кафедрой физики и методики преподавания физики на научную работу в должности старшего научного сотрудника для работы над докторской диссертацией по теме «История физической оптики». С января 1971 г. А. М. Френк возвращается к педагогической работе в прежней должности, совмещая педагогическую работу с научной. Однако тяжелая и продолжительная болезнь не позволила представить подготовленную диссертационную работу к защите, 7 августа 1976 г. Александр Моисеевич Френк скончался.

За все время творческой работы им издано более 70 научных трудов, в числе

которых всемирно известные книги по истории и методологии физики, а также книги о Х. Гюйгенсе, Дж. В. Гиббсе (обе в соавторстве с У. И. Франкфуртом), Г. Гельмгольце (в соавторстве с А. В. Лебединским и У. И. Франкфуртом), Г. А. Лоренце, Н. Борне (обе в соавторстве с Е. М. Кляусом и У. И. Франкфуртом) и др.

А. М. Френк является составителем «Эйнштейновского сборника» 1971 г. совместно с известными советскими физиками В. Л. Гинзбургом, В. Я. Френкелем и Н. В. Мицкевичем и автором статей в «Эйнштейновских сборниках» 1966, 1974 гг. Его работы «Христиан Гюйгенс», «Физика наших дней», «Переписка Эйнштейна – Бизо» переведены на болгарский, польский и французский языки соответственно.

Ниже приведены наиболее известные и популярные научно-библиографические работы А. М. Френка с коллегами, изданные многотысячными тиражами.

1. Франкфурт У. И., Френк А. М. Христиан Гюйгенс. – М.: АН СССР, 1962. – 328 с.

2. Л. И. Сторчак, У. И. Франкфурт, А. М. Френк. Джозайя Виллард Гиббс, УФН, 1965, том 86, номер 1, 183–184.

3. Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М. Нильс Бор. – М.: Наука, 1977. – 384 с.

4. Франкфурт У. И., Френк А. М. У истоков квантовой теории. – М.: Наука, 1975. – 168 с.

5. Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М., Гендрик Антон Лоренц. – М.: Наука, 1975. – 238 с.

6. Френк А. М., Франкфурт У. И. Оптика движущихся тел. – М.: Наука, 1972. – 212 с.

7. Франкфурт У. И., Френк А. М. Физика наших дней. – М.: Наука, 1971. – 240 с.

8. Лебединский А. В., Франкфурт У. И., Френк А. М. Гельмгольц (1821–1894). – М.: Наука, 1966. – 320 с.

9. Френк А. М., Френкель В. Я., Мицкевич Н. В. Эйнштейновский сборник 1971. – М.: Наука, 1972. – 399 с.

12. Френк А. М. Эйнштейновский сборник 1974. – М.: Наука, 1976. – 402 с.

ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

УДК 631.51

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ТЕХНОЛОГИИ MZURI PRO-TIL

Г. В. Клинк, А. В. Димогло, А. С. Ставинский

Представлен аналитический обзор применения при возделывании сельскохозяйственных культур технологии полосовой обработки почвы strip-till и ее усовершенствованного варианта – технологии Mzuri Pro-Til, технической базой которой является универсальный однопроходный многофункциональный посевной комплекс Mzuri.

Определены цели и задачи, объекты и предметы научно-технических исследований по адаптации технологии Mzuri Pro-Til и многофункционального посевного комплекса Mzuri для работы в типичных засушливых природно-климатических условиях Приднестровья.

Уточнены технические характеристики, конструктивные особенности и технологические возможности посевного комплекса, а также степень износа наиболее нагруженных рабочих органов при выполнении технологических операций в полевых условиях ПК «Агрофирма "Дружба"».

Ключевые слова: *технология strip-till, Mzuri Pro-Til, многофункциональный посевной комплекс Mzuri, адаптация, рабочие органы.*

ANALYTICAL REVIEW AND APPLICATION STUDIES OF MULTIFUNCTIONAL SOWING COMPLEX FOR THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS USING MZURI PRO-TIL TECHNOLOGY

G. V. Klink, A. V. Dimoglo, A. S. Stavinsky

The article provides an analytical review of the application of Strip-till technology in the cultivation of agricultural crops and its improved version of the Mzuri Pro-Til technology, the technical basis of which is the universal single-pass multifunctional sowing complex Mzuri.

The goals and objectives, objects and subjects of scientific and technical research on the adaptation of the Mzuri Pro-Til technology and the multifunctional Mzuri sowing complex for operation in typical arid natural and climatic conditions of Pridnestrovie are determined.

The technical characteristics, design features and technological capabilities of the sowing complex have been clarified, as well as the degree of wear of the most loaded working parts when performing technological operations in the field of the PC "Agrofirma Druzha".

Keywords: Strip-till technology, Mzuri Pro-Til, multifunctional sowing complex Mzurii, adaptation, working parts.

В настоящее время в мировом аграрном производстве широкое распространение получили ресурсосберегающие агротехнологии mini-till, no-till, strip-till, при этом большое внимание уделяется усовершенствованию последней.

Технология полосовой обработки почвы strip-till была разработана американскими учеными, и с 1965 года является успешным методом выращивания пропашных культур в США, некоторых провинциях Канады и Австралии. В дальнейшем широкое распространение получила в Англии, Германии, Франции, Польше и в других странах Восточной Европы [1].

Современная технология strip-till – это усовершенствованная система обработки почвы, совмещающая преимущества классической системы обработки почвы и системы no-till с элементами технологии точного земледелия.

Сущность технологии strip-till заключается в целенаправленной концентрации производственной энергии на выполнении технологических процессов в зоне почвенных полос в рядах сева, в которых создаются благоприятные условия для роста и развития культурных растений, а также в сохранении нетронутых межполосных междурядий со стерней и пожнивными остатками и мониторинге за состоянием сорной растительности в них.

Главными подходами к применению технологии strip-till в зависимости от типа

почвы, природно-климатических условий, агроландшафта и наличия соответствующих технических средств являются разделенный или совмещенный методы выполнения технологических операций. В разных регионах и странах мира подготовительные, посевные и операции по уходу за растениями выполняют в разное время, применяются различные технические варианты полосовой обработки почвы strip-till.

При первом варианте применяют *разделенный метод* – рыхлят осенью и локально вносят основные удобрения, а сеют весной с добавлением стартовых доз. Технологические операции проводятся специальными орудиями и машинами, выпускаемыми известными крупными компаниями или отдельными машиностроительными предприятиями: Orthman (США) [2], Pluribus (DAWN), Kultistrip (Норвегия), Stripcat (Франция), Horsch Focus CS (Германия), СТВФ «Агрореммаш», ООО «Велес-Агро ЛТД» (Украина) [3], ООО «ДорАгроМаш» (Россия) [4] и др. Весной при достижении физической спелости почвы проводят посев в те же обработанные еще осенью полосы с использованием GPS и сеялок точного высева, способных сеять в мульчу, например, Horsch Maestro SW, Gaspardo Zebra или любой другой сеялкой.

При втором варианте используют *совмещенный метод* – рыхлят и одновременно сеют в весеннее время. При одновремен-

ном выполнении технологических операций по технологии strip-till применяют комбинированные агрегаты эшелонированного типа в составе специального культиватора и сеялки или универсальные многофункциональные посевные комплексы. В США выпускают комбинированные агрегаты эшелонированного типа марки 1tRIPr XD COMBO [5], а в Германии – KÖCKERLING Master [6]. Универсальные многофункциональные посевные комплексы HORSCH Focus 6 TD [7] изготавливают в Германии, а Mzuri [8] – в Англии и Польше.

На современном этапе большой интерес вызывает одно из самых перспективных направлений совершенствования технологии strip-till и технических средств ее обеспечения – это агротехнология будущего поколения Mzuri Pro-Til с использованием универсального многофункционального посевного комплекса Mzuri [9].

Система Mzuri Pro-Til, включающая технологию и машины для полосовой обработки почвы и посева, была разработана в Англии и внедрена в производство фермером, инженером Мартином Лоле [10]. В 2017 году права на использование технологии и производство комбинированных агрегатов Mzuri Pro-Til были переданы польскому предпринимателю, агроному, фермеру Мареку Ружняку.

В странах Восточной Европы технология Mzuri Pro-Til интенсивно осваивается на Украине [11], в Российской Федерации [12], Белоруссии [13], Казахстане [14], Приднестровье [15].

Для повышения качества разработок по системе Mzuri Pro-Til в январе 2020 года

в городе Смелин (Польша) состоялось открытие научно-исследовательского центра компании Mzuri, возглавляемого Мареком Ружняком, фермером в четвертом поколении, доктором сельскохозяйственных наук. В области исследований полосовой обработки почвы известны работы ученых многих стран мира – США, Англии, Польши. Значительный вклад в данное направление внесли ученые российских вузов и научно-исследовательских институтов – Башкирского ГАУ и Башкирского НИИСХ [1], Саратовского ГАУ имени Н. И. Вавилова, Волгоградского ГАУ, Алтайского ГАУ, Самарской ГСХА [16, 17, 18].

В Приднестровье инициатором освоения технологии Mzuri Pro-Til является Борис Петрович Зачёса (директор ООО «Агромеханизм», г. Тирасполь), который неоднократно выезжал в Польшу, встречался с Мареком Ружняком, директором и собственником компании Mzuri, знакомился и перенимал инновационный опыт ресурсосберегающих технологий. Затем фирма «Агромеханизм» стала официальным дилером компании MZURI-AGRO SP Z OO SP.K. по продаже специального оборудования и технологии Mzuri Pro-Til. В 2020 году был закуплен многофункциональный посевной комплекс Mzuri для возделывания сельскохозяйственных культур на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» с целью адаптации его работы в типичных засушливых природно-климатических условиях Приднестровья.

Начиная с 2021 года, для научного сопровождения и решения технологических и технических проблем и задач по углубленной адаптации и внедрению тех-

нологии Mzuri Pro-Til и многофункционального посевного комплекса в местных адаптивно-ландшафтных и почвенно-климатических условиях Приднестровья был создан временный творческий коллектив в составе аспирантов, ведущих сотрудников кафедр аграрно-технологического факультета и инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко и работников производственных фирм ООО «Агромеханизм» и ПК «Агрофирма "Дружба"».

В течение 2021–2023 годов проводились обзорно-технические и экспериментальные исследования, визуально-поисковые наблюдения и испытания макетных образцов рабочих органов многофункционального посевного комплекса Mzuri в типичных засушливых хозяйственных условиях на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» с целью научно-обоснованного определения целей и задач будущих исследований и испытаний.

Проведенный исследователями ПГУ им. Т. Г. Шевченко аналитический обзор патентных, технических и научных достижений и подробный анализ более 500 научных публикаций и сообщений (монографий, диссертаций, авторефератов, научных трудов, научных статей, фирменных проспектов, информационных сообщений в интернете) по применению технологии полосовой обработки почвы strip-till на основе системного научного подхода показал, что данное направление очень актуально и вызывает большую заинтересованность у производителей Приднестровья, однако необходимы всесторонние научно-технические исследования.

Цель исследования – совершенствование ресурсосберегающего технологического процесса полосовой обработки почвы и посева посредством оптимизации конструктивных параметров и режимов работы упрочненных рабочих органов универсального многофункционального посевного комплекса по технологии Mzuri Pro-Til.

Задачи исследования

1. Провести обзор и анализ существующих технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур по технологии strip-till и Mzuri Pro-Til.

2. Обосновать технологический процесс, схему, параметры и режимы упрочненных рабочих органов универсального многофункционального посевного комплекса для возделывания сельскохозяйственных культур по технологии Mzuri Pro-Til.

3. Выявить закономерности, раскрывающие взаимосвязь параметров и режимов работы усовершенствованных и упрочненных рабочих органов универсального многофункционального посевного комплекса с показателями физико-механических свойств тяжелосуглинистых черноземных почв Приднестровья.

4. Провести экспериментальные исследования с целью уточнения конструктивных параметров и режимов работы упрочненных рабочих органов универсального многофункционального посевного комплекса для возделывания сельскохозяйственных культур по технологии Mzuri Pro-Til.

5. Определить эффективность выполнения технологического процесса

разрабатываемыми рабочими органами универсального многофункционального посевного комплекса и дать агротехнологическую и экономическую оценку ресурсосберегающей технологии производства сельхозпродукции с применением технологии Mzuri Pro-Til.

Объект исследования – адаптированный технологический процесс возделывания сельскохозяйственных культур по технологии Mzuri Pro-Til и усовершенствованные упрочненные рабочие органы универсального многофункционального посевного комплекса.

Предмет исследования – выявление закономерностей во взаимосвязи параметров и режимов работы усовершенствованных и упрочненных рабочих органов универсального многофункционального посевного комплекса с показателями технологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур по технологии Mzuri Pro-Til и физико-механическими свойствами тяжелосуглинистых черноземных почв Приднестровья.

Теоретические исследования будут выполняться с использованием основных положений, законов и методов классической механики, механики в области земледелия (теоретическое наследие В. П. Горячкина), начертательной геометрии и инженерной графики, системного подхода, математического моделирования процессов, математической статистики, теории вероятности, законов техники и методов ТРИЗ.

При проведении экспериментальных исследований будут использоваться стандартные и разработанные частные методики с применением методов планиро-

вания эксперимента, тензометрирования, динамометрирования, а также стандартов и методик, используемых при испытаниях сельскохозяйственных машин.

Обработка полученных результатов будет осуществляться методами математической статистики, спектрального анализа и графоаналитическим методом.

В ходе визуально-поисковых исследований, технической экспертизы и экспериментальных испытаний макетных образцов многофункционального посевного комплекса Mzuri при выполнении технологических операций в полевых условиях ПК «Агрофирма "Дружба"» при возделывании подсолнечника и кукурузы были уточнены технические характеристики, конструктивные особенности и технологические возможности посевного комплекса, а также степень износа наиболее нагруженных рабочих органов.

Особенностью технологии Mzuri Pro-Til является использование универсального многофункционального посевного комплекса Mzuri (рис. 1), выполняющего за один проход несколько многофункциональных технологических операций при возделывании как зерновых культур (озимых и яровых пшеницы и ячменя, гречихи и рапса), так и пропашных (кукурузы, подсолнечника, сои, сорго, горчицы, нута, картофеля, сахарной свеклы, капусты).

Технология Mzuri Pro-Til предусматривает выполнение одновременно шести технологических операций (прорезание растительных остатков, полосовое глубокое рыхление почвы с локальным внесением удобрений, уплотнение с формированием семенного ложа, рыхление и



Рис. 1. Однопроходный многофункциональный посевной комплекс Mzuri в работе на полях ПК «Агрофирма "Дружба"»

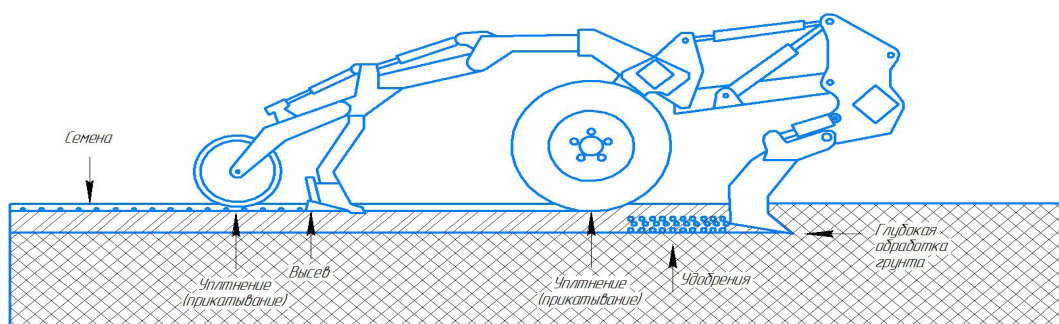


Рис. 2. Схема выполнения одновременно пяти технологических операций рабочими органами многофункционального посевного комплекса Mzuri



Рис. 3. Остов посевного комплекса Mzuri

высев семян, прикатывание семян, заделка семян) за один проход по полю многофункциональным посевным комплексом Mzuri без предварительной подготовки почвы непосредственно по стерне предшественника.

На рис. 2 показана схема выполнения одновременно пяти технологических операций рабочими органами многофункционального посевного комплекса Mzuri, кроме заделки семян пружинными зубьями заделывающей бороны.

Несущей конструкцией комплекса является остов, который соединяет между собой все его части (рис. 3).

Остов посевного комплекса состоит из усиленной продольной сниги с сцепным устройством и двойной поперечной рамы.

На остоу посевного комплекса смонтированы: рабочие и ходовые органы – блок передних режущих дисков, блок лапчатых анкерных глубокорыхлителей с аппликаторами и тукопроводами, блок пневматических ходовых опорно-уплотняющих колес, блок посевных секций анкерных сошников с семяпроводами и прикапывающими пневматическими катками, гидрофицированная пружинно-пальцевая заделывающая борона; гидравлическая система для регулирования автономной работы отдельных ходовых и рабочих органов; бункер для удобрений и семян; системы подачи, транспортирования и укладки удобрений и семян, включающие вентиляторы для подачи воздуха с гидравлическим приводом, дозаторы, распределители, подводящие тукопроводы и семяпроводы; органы управления и контроля – маркер прохода с гидравлическим управлением, компьютер управления технологическими процессами RDS Artemis.

Проведенными визуально-поисковыми исследованиями установлено, что происходит наиболее интенсивный износ рабочих кромок режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей посевного комплекса. Предложено восстанавливать их методом электроискрового легирования.

Проведенный аналитический обзор показал, что сейчас научно-практический интерес вызывают технология strip-till и ее усовершенствованный вариант – технология Mzuri Pro-Til с использованием

универсального многофункционального посевного комплекса Mzuri.

Поставленные научно обоснованные цели и задачи исследований позволят намного ускорить адаптацию технологии Mzuri Pro-Til и многофункционального посевного комплекса Mzuri для работы в хозяйствах в типичных засушливых природно-климатических условиях Приднестровья.

Цитированная литература

1. Агротехнические особенности использования Strip-till технологии в растениеводстве (рекомендации производству) / Х. М. Сафин, Р. С. Фахрисламов, Л. С. Шварц [и др.]. – Уфа : Мир печати, 2017. – 44 с. URL: <https://apkrb.info/sites/default/files/doc/pdf/agrotechnicheskieosobennostiispolzovaniyastrip-till.pdf?ysclid=ljv1s33hsm448431142> (дата обращения: 19.10.21) – Текст : электронный.
2. Агрегат для предпосевной обработки почвы 1tRIPr. – URL: <https://engine-market.ua/agregat-dlya-predposevnoi-obrabotki-pochvy-1tripr-t44517/> (дата обращения: 26.10.21). – Текст : электронный.
3. Машины, работающие по «полосовому» пути. Технология стрип-тилл. – URL: <https://propozitsiya.com/mashiny-rabotayushchie-po-polosovomu-puti-tehnologiya-strip-till> (дата обращения: 26.10.21) – Текст : электронный.
4. Передовая технология Strip-till – с российской техникой. – URL: <https://prodrinok.ru/peredovaya-tehnologiya-strip-till-s-rossiyskoj-tehnikoy> (дата обращения: 27.10.21). – Текст : электронный.
5. 1tRIPr XD COMBO. Обработывайте, вносите удобрения и сейте за один проход. – URL: <http://striptill.com.ua/produkcija/orthman-1tripr-xd-combo/> (дата обращения: 29.10.21). – Текст : электронный.
6. KÖCKERLING Master (технология Strip Till), культиваторы стерновые купить. –

- URL: <https://agro-lider.ru/agrotechnics/sternevyekultivatory/k-ckerling-master-strip-till/> (дата обращения: 25.10.21). – Текст : электронный.
7. HORSCH Focus: идеально для технологии StripTill. – URL: <https://agrosbit.ru/news/29-05-20/horsch-focus-idealno-dlya-tekhnologii-stripitill> (дата обращения: 1.11.21). – Текст : электронный.
8. Высевающая техника strip till, оборудование для полосной обработки. – URL: <https://propozitsiya.com/strip-till-ne-tolko-dlya-propashnyh> (дата обращения: 5.11.21). – Текст : электронный.
9. MZURI PRO-TILL: технология будущего уже сегодня. – URL: <https://rynok-apk.ru/articles/technology/mzuri-pro-till/> (дата обращения: 7.05.22). – Текст : электронный.
10. Пахать или не пахать – теперь не вопрос! – URL: <https://prodrinok.ru/pahat-ili-ne-pahat-teper-ne-vopros> (дата обращения: 7.05.22). – Текст : электронный.
11. Технология STRIP-TILL от MZURI PRO-TIL. – URL: <https://mzuri.in.ua/tehnologija/> (дата обращения: 28.03.23). – Текст : электронный.
12. Mzuri Pro-Til – агротехнология с большим будущим. – URL: <https://rynok-apk.ru/articles/technology/mzuri-pro-til/?ysclid=lh0n26z4wb29104290> (дата обращения: 29.04.23). – Текст : электронный.
13. Гости из будущего, или как работают сеялки Mzuri. – URL: <https://glavpahar.ru/news/gosti-iz-budushchego-ili-kak-rabotayut-na-polyah-seyalki-mzuri?ysclid=lh0be57prs14930180> (дата обращения: 28.04.23). – Текст : электронный.
14. Преимущества технологии STRIP-TILL. – URL: https://зерноочистка.kz/prieimushchiestva_tiekhniloghii_stripitill? (дата обращения: 30.04.23). – Текст : электронный.
15. Инновационный агрегат для полосовой обработки почвы. – URL: <http://www.agromeh.com/news/pervyj-v-pridnestrove-innovatsionnyj-agregat-mzuri-pro-til-6t-select> (дата обращения: 30.04.23). – Текст : электронный.
16. Классификация машин для полосовой технологии обработки почвы / В. М. Бойков, С. В. Старцев, И. Л. Воротников, В. Б. Нарушев. – Текст : электронный // Аграрный научный журнал. – № 5.– 2020. – С. 72–76. – URL: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/1063/882> (дата обращения: 27.03.23).
17. Обоснование целесообразности использования полосовой (Strip-till) обработки почвы в условиях степного Поволжья / В. М. Бойков, И. Л. Воротников, В. Б. Нарушев, С. В. Старцев. – Текст : электронный // Аграрный научный журнал.–№ 10.–2019. – С. 99–76. – URL: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/873/759> (дата обращения: 27.03.23).
18. Strip-till – энергоресурсовлагодерегающая технология подготовки почвы для пропашных культур. – URL: http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/1234_56789/11176/1/2016-20-259-264.pdf (дата обращения: 6.07.23). – Текст : электронный.
-

УДК 631.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ УПРОЧНЕННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА MZURI PRO-TIL 4T SELECT

А. С. Ставинский, Е. В. Юрченко, Г. В. Клинок, С. Ю. Косаченко

В статье приведены результаты исследований и сравнительных испытаний, упрочненных экспериментальных рабочих органов многофункционального посевного комплекса Mzuri Pro-Til 4T Select в полевых условиях ПК «Агрофирма "Дружба"».

В качестве экспериментальных образцов использовались серийные и упрочненные электроискровым легированием режущие диски, и крылья лап глубокорыхлителей, непосредственно установленные на посевном комплексе.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждаются фотоотчетами и экспериментальными данными, обработанными и предоставленными в виде рисунков, таблиц и графиков.

Ключевые слова: *посевной комплекс, режущий диск, сменное крыло, износ, упрочнение, электроискровое легирование.*

EXPERIMENTAL RESEARCH AND TESTING OF HARDENED WORKING PARTS OF THE MULTIFUNCTIONAL SOWING COMPLEX MZURI PRO-TIL 4T SELECT

A. S. Stavinsky, E. V. Yurchenko, G. V. Klink, S. Y. Kosachenko

The article presents the results of research and comparative tests of hardened experimental working parts of the multifunctional sowing complex Mzuri Pro-Til 4T Select in the field of the PC "Agrofirma Druzhba".

As experimental samples, serial and electro-spark alloyed cutting discs and wings of the deep-diggers' chisels, directly installed on the sowing complex, were used.

The experimental studies carried out are confirmed by photo reports and experimental data, processed and provided in the form of figures, tables and graphs.

Keywords: *sowing complex, cutting disc, replaceable wing, wear, hardening, electric spark alloying.*

На данном этапе одним из основных направлений научных исследований в сельском хозяйстве является разработка и применение ресурсосберегающих агротехнологий и технических средств. Сейчас при возделывании сельскохозяйственных культур широкое распространение полу-

чила технология полосовой обработки почвы strip-till и ее усовершенствованный вариант – технология Mzuri Pro-Til [1].

В Приднестровье инициатором освоения технологии Mzuri Pro-Til является ООО «Агромеханизм» (г. Тирасполь) – официальный дилер компании MZURI-AGRO SP Z OO SP.K. по продаже специального оборудования и технологии Mzuri Pro-Til [2].

Отличительной особенностью технологии Mzuri Pro-Til является применение многофункционального посевного комплекса Mzuri, производящего за один проход шесть технологических операций при возделывании зерновых и пропашных культур.

Внедрение технологии Mzuri Pro-Til и многофункционального посевного комплекса Mzuri происходит на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» – дочернего предприятия ООО «Агромеханизм».

В 2021–2022 годах аспирантами и сотрудниками кафедр аграрно-технологического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко выполнялись научные исследования по оценке качества выполнения технологического процесса обработки почвы и посева рабочими органами многофункционального посевного комплекса Mzuri Pro-Til 4T Select.

В результате проведенных исследований в 2021 году был выявлен интенсивный износ кромок режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей. В дальнейшем были отобраны изношенные режущие диски и крылья лап глубокорыхлителей в качестве экспериментальных образцов для упрочнения методом электроискрового легирования как одного из эффективных методов наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин в условиях лаборатории кафедры машиноведения и технологического оборудования Инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко [3].

В соответствии с программой и методикой проведения экспериментальных исследований в 2022 году выполнялись

сравнительные испытания упрочненных экспериментальных образцов режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей, непосредственно установленных на посевном комплексе, на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» в типичных для данной зоны почвенно-климатических условиях. Перед установкой и после снятия экспериментальных образцов выполнялась техническая экспертиза их состояния, а также осуществлялись измерительные процессы.

Для проведения исследований и испытаний было отобрано пять экспериментальных образцов режущих дисков и пять экспериментальных образцов сменных крыльев лап глубокорыхлителей посевного комплекса Mzuri Pro-Til 4T Select. Из них рабочие кромки трех режущих дисков и трех сменных крыльев лап глубокорыхлителей были упрочнены точечным электроискровым легированием тремя разными материалами, а два серийных режущих диска и два серийных сменных крыла лап глубокорыхлителей, расположенных для обработки почвы в рабочей части поля и по следу движения колеса трактора, являлись контрольными образцами, не подвергались упрочнению.

На рис. 1 показана расстановка экспериментальных и контрольных образцов режущих дисков на передней раме посевного комплекса.

Контрольным образцом № 1 (Контроль 1) являлся первый крайний слева серийный режущий диск посевного комплекса по ходу движения машинно-тракторного агрегата, а контрольным образцом № 2 (Контроль 2) стал четвертый слева серийный режущий диск посевного

комплекса, расположенный по следу движения трактора.

Экспериментальным образцом № 1, № 2, № 3 (Образец 1, 2, 3) соответственно стали второй, третий, пятый слева наплавленный режущий диск посевого комплекса по ходу движения машинно-тракторного агрегата.

Такой же порядок выдержан и при обозначении экспериментальных образцов сменных крыльев лап глубокорыхлителей посевого комплекса.

Для получения объективных данных экспериментальные образцы режущих дисков и сменных крыльев лап глубокорыхлителей установили на посевной комплекс так, чтобы все рабочие органы (серийные и наплавленные) чередовались друг с другом и находились в одинаковых условиях износа.

Величина износа кромок режущих дисков и сменных крыльев лап глубокорыхлителей определялась по величине уменьшения линейных размеров и по величине уменьшения массы экспериментальных образцов. Исходные данные первоначальных величин массы режущих дисков и сменных крыльев лап глубокорыхлителей и материал упрочнения представлены в табл. 1.

Исследования и сравнительные испытания экспериментальных образцов режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей проводились на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» при посеве подсолнечника однопроходным многофункциональным посевным комплексом Mzugi Pro-Til 4T Select в составе машинно-тракторного агрегата.



Рис. 1. Расстановка экспериментальных и контрольных образцов режущих дисков на передней раме посевого комплекса

Таблица 1
Исходные данные первоначальных величин массы экспериментальных образцов и материал упрочнения

Образец	Масса, г	Материал упрочнения
Режущие диски		
Контроль 1	3934	–
Контроль 2	3935	–
Образец 1	3944	1 слой – медно-графитный сплав 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)
Образец 2	3950	1 слой – НХ 9 (хромель) 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)
Образец 3	3959	1 слой – НМцАК 2-2-1 (алюмель) 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)
Сменные крылья лап глубокорыхлителей		
Контроль 1	1012	–
Контроль 2	1011	–
Образец 1	1015	1 слой – медно-графитный сплав 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)
Образец 2	1025	1 слой – НХ 9 (хромель) 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)
Образец 3	1015	1 слой – НМцАК 2-2-1 (алюмель) 2 слой – ВК 8 (вольфрам-кобальтовый сплав)

Изменение массы экспериментальных образцов в зависимости от наработки 150 га и 400 га

Образец	Масса режущего диска, г			Масса сменного крыла, г		
	Исходные данные	Наработка 150 га	Наработка 400 га	Исходные данные	Наработка 150 га	Наработка 400 га
Контроль 1	3934	3748	3717	1012	699	626
Контроль 2	3935	3646	3608	1011	579	382
Образец 1	3944	3885	3689	1015	947	530
Образец 2	3950	3932	3676	1025	928	407
Образец 3	3959	3928	3618	1015	948	497



Рис. 2. Контроль проверки качества работы экспериментальных образцов посевного комплекса Mzuri Pro-Til 4T Select при посеве подсолнечника

В процессе выполнения посева было проведено два замера. Нарabотка на каждый экспериментальный образец составила 150 га и 400 га. Результаты замеров массы экспериментальных образцов в зависимости от различной наработки занесены в табл. 2.

На рис. 2 показан контроль проверки качества работы экспериментальных образцов посевного комплекса Mzuri Pro-Til 4T Select при посеве подсолнечника.

В табл. 3 и 4 приведено фото экспериментальных и контрольных образцов износа режущих дисков и сменных крыльев лап глубокорыхлителей в зависимости от наработки 150 га и 400 га для визуального сравнения.

На основании проведенных исследований и сравнительных испытаний экспериментальных образцов режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей, а также выполненных измерений и расчетов были получены данные по потере натуральной массы и в процентном соотношении режущих дисков (табл. 5) и сменных крыльев лап глубокорыхлителей (табл. 6).

На основании данных табл. 5 и 6 были построены графики процентного соотношения износа экспериментальных и контрольных образцов режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей посевного комплекса в зависимости от наработки (рис. 3, 4).

Проанализировав графики, можно сделать выводы, что наименьший износ рабочих органов показали оба контрольных

Таблица 3

Фото износа экспериментальных и контрольных образцов режущих дисков в зависимости от наработки 150 га и 400 га для визуального сравнения











Образец	150 га	400 га
Контроль 1		
Контроль 2		
Образец 1		
Образец 2		
Образец 3		

Таблица 4

Фото износа экспериментальных и контрольных образцов сменных крыльев лап в зависимости от наработки 150 га и 400 га для визуального сравнения











Образец	150 га	400 га
Контроль 1		
Контроль 2		
Образец 1		
Образец 2		
Образец 3		

Таблица 5

Таблица 6

**Потеря массы режущих дисков
в натуральном и процентном соотношении**

Образец	Потеря массы, г		Потеря массы, %	
	150 га	400 га	150 га	400 га
Контроль 1	186	217	4,73	5,52
Контроль 2	289	327	7,34	8,31
Образец 1	59	255	1,50	6,47
Образец 2	18	274	0,46	6,94
Образец 3	31	341	0,78	8,61

**Потеря массы сменных крыльев лап
глубокорыхлителей в натуральном
и процентном соотношении**

Образец	Потеря массы, г		Потеря массы, %	
	150 га	400 га	150 га	400 га
Контроль 1	313	386	30,93	38,14
Контроль 2	432	629	42,73	62,22
Образец 1	68	485	6,70	47,78
Образец 2	97	618	9,46	60,29
Образец 3	67	518	6,60	51,03

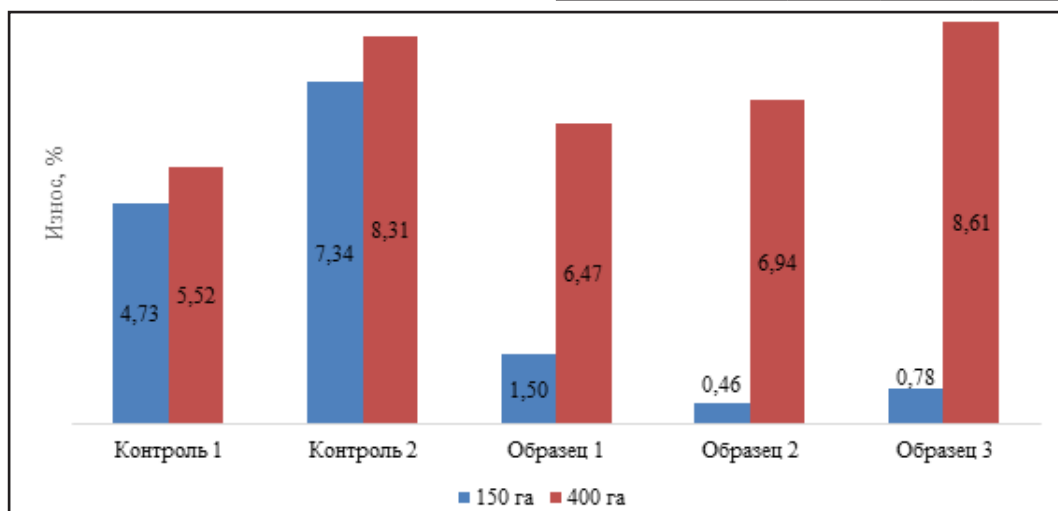


Рис. 3. Графики процентного соотношения износа экспериментальных и контрольных образцов режущих дисков в зависимости от наработки

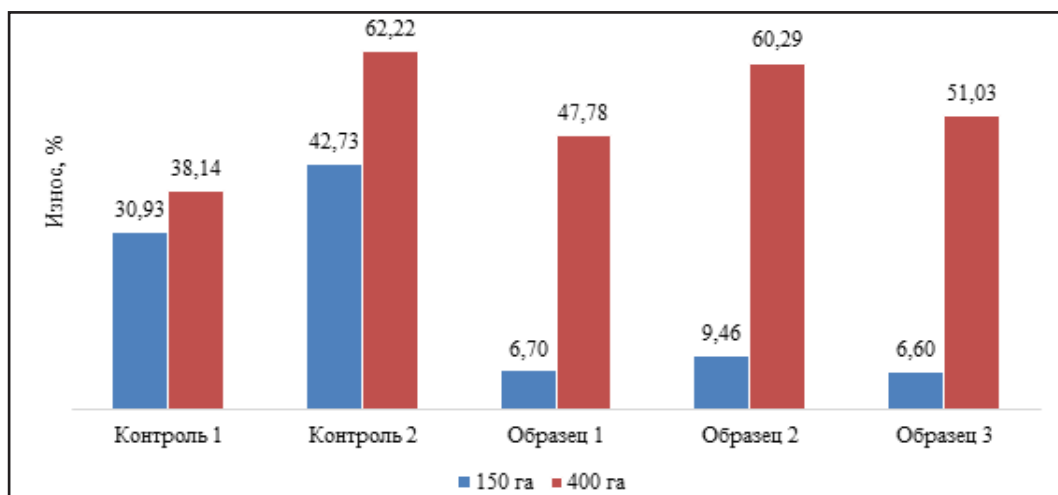


Рис. 4. Графики процентного соотношения износа экспериментальных образцов крыльев лап глубокихрыхлителей в зависимости от наработки

образца 1, которые были установлены с краю высевающей секции.

Сменное крыло контрольного образца 2, установленное по следу колеса трактора, показало наибольшую степень износа. Это объясняется тем, что в местах контакта колес трактора с почвой происходит ее уплотнение и как следствие – увеличение тягового сопротивления и абразивного износа рабочих органов.

Режущий диск образца 3 показал наибольшую степень износа, однако стоит отметить, что износ режущего диска образца 3 лишь на 0,3 % превысил износ режущего диска контроля 2.

На приведенных графиках отчетливо видно, что при наработке в 150 га происходил интенсивный износ контрольных образцов 1 и 2, тогда как износ образцов 1, 2 и 3 проходил умеренно.

При повторном запуске посевного комплекса в работу и дополнительной наработке в 250 га, ситуация кардинально изменилась. У контрольных образцов 1 и 2 наблюдается резкое снижение интенсивности износа, в то время как у образцов, прошедших упрочнение точечным электроискровым легированием, отмечается значительное увеличение интенсивности износа. Данное изменение обусловлено частичным отслоением наплавленного материала.

В дальнейшем будут проводиться эксперименты по определению влияния площади контакта рабочих органов с абразивной средой и угла их атаки на интенсивность степени износа.

Таким образом, было выявлено, что происходил наиболее интенсивный износ в основном кромок режущих дисков и кры-

льев лап глубокорыхлителей посевного комплекса. Эти рабочие органы комплекса были восстановлены методом электроискрового легирования и подвергались сравнительным испытаниям на полях ПК «Агрофирма "Дружба"» в типичных почвенно-климатических условиях Приднестровья.

В ходе проведенных экспериментальных и сравнительных испытаний было установлено, что при наработке 150 га износ наплавленных режущих дисков и крыльев лап глубокорыхлителей в 5 раз ниже, чем контрольных серийных образцов, а при наработке 400 га интенсивность износа их резко возрастает из-за частичного отслоения наплавленного материала.

Исследования необходимо продолжить посредством подбора эффективных наплавочных материалов, режимов электроискрового легирования и конструктивных доработок изменений геометрических форм и параметров рабочих органов.

Цитированная литература

1. Технология STRIP-TILL – MZURI PRO-TILL. – URL: <https://mzuri.in.ua/tehnologija/> (дата обращения: 26.10.2021). – Текст: электронный.
2. MZURI Pro-Til 6T Select. – URL: <http://www.agromeh.com/products/mzuri-pro-til?ysclid=lh32twd83z791948860> (дата обращения: 7.05.2023). – Текст: электронный.
3. Евскоков, А. И. Упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин методом электроискрового легирования / А. И. Евскоков, М. А. Березин. – Текст: электронный // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 1–2 (76). 2. – URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/03/Evsyukov-1.pdf?ysclid=lhvyw3ulbw797498605> (дата обращения: 20.05.2023).

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Е. В. Юрченко, О. Е. Юрченко

Рассмотрены технологии нанесения электроискровых покрытий электродами разного химического состава на упрочняемые посадочные места подшипников качения роторов электрических машин. Обобщен экспериментальный опыт и показана принципиальная возможность широкого использования для упрочнения посадочных мест электродов из твердых сплавов T15K6, VK8, а также графитовых электродов.

Ключевые слова: электроискровое легирование, твердые сплавы, шероховатость поверхности, твердость, энергия импульса.

APPLICATION OF ELECTRIC SPARK ALLOYING FOR RESTORATION AND HARDENING OF STEEL SEATS UNDER ROLLING BEARINGS

E. V. Yurchenko, O. E. Yurchenko

Several technologies for applying electrospark coatings with electrodes of different chemical composition to hardened seats of rolling bearings of rotors of electrical machines are considered. The experimental experience is generalized and the fundamental possibility of wide use of electrodes made of hard alloys T15K6, VK8, as well as graphite electrodes for hardening of seats is shown.

Keywords: electrospark alloying, hard alloys, surface roughness, hardness, pulse energy.

На текущий момент, особенно в условиях кризиса в промышленности, все большее влияние приобретает необходимость повышения эффективности производства в целом, и в частности это касается повышения эксплуатационных характеристик деталей и узлов. Одним из методов решения данной проблемы является упрочнение новых и восстановление изношенных рабочих поверхностей деталей для увеличения ресурса всего агрегата в целом. Это позволит существенно уменьшить затраты на изготовление новых деталей, сократит длительность простоя узлов и агрегатов

в ремонте, а также будет способствовать сохранению существенных энергетических и экологических ресурсов.

Цель данной работы – исследование возможности получения электроискрового покрытия посадочного места под подшипник качения с минимальной шероховатостью, максимально возможной толщиной и твердостью.

Для проведения исследований по выбору наиболее эффективных параметров нанесения покрытия, а также материала обрабатываемого электрода были проведены опыты, заключающиеся в нанесении экспериментальных покрытий

и исследовании их свойств в различных режимах с использованием различных материалов в качестве обрабатывающего электрода.

Методика исследования, материалы и оборудование

Для нанесения покрытия в качестве экспериментального оборудования использовалась установка электроискрового легирования Alier-31. Основные параметры нанесения покрытия приведены в табл. 1.

До нанесения покрытия и после него производилось взвешивание образца на лабораторных весах ВЛР 200, позволяющих проводить замеры с точностью до четвертого знака для определения прироста или убыли веса образца.

Для определения толщины полученных покрытий использовался микрометр 25–50 мм МТ-3042. Производился замер толщины образцов до нанесения покрытия и повторный замер после окончания нанесения, по разнице этих показателей можно было судить о средней толщине покрытия.

Измерения шероховатости получаемых покрытий осуществлялись на профилограф-профилометре «Surtronic, Taylor

Hobson, GB» и проводились в институте прикладной физики АН Молдовы (г. Кишинев).

Для определения микротвердости покрытий в данной работе использовался прибор марки ПМТ-3 (диапазон применяемых нагрузок 0,05–5,0 Н).

Выбор технологии нанесения упрочняющего электроискрового покрытия на посадочные места валов роторов электрических машин

По результатам исследований существующих технологий [1] было выявлено несколько методик, способных обеспечить получение износостойких покрытий на посадочных местах валов роторов электрических машин. Согласно требованиям, твердость покрытия должна составлять не менее HRC 45 ед, а шероховатость не должна быть выше $Ra = 2,5$ мкм.

Для соблюдения таких требований были выбраны для исследования следующие методики упрочнения методом ЭИЛ:

а) нанесение «монопкрытий» твердыми сплавами ВК8, Т15К6 с целью последующей шлифовки [1, 5, 6];

б) нанесение покрытий комбинированным методом – послойно электродами

Таблица 1

Параметры установки электроискрового легирования Alier-31

Режим	Длительность импульса, мкс, +/- 10 %	Амплитудное значение тока импульса, А	Энергия импульса, Дж	Частота импульсов, Гц, +/- 10 %
1	16	125	0,036	3200
2	31	125	0,070	1600
3	62	175	0,200	800
4	125	175	0,390	400
5	250	175	0,790	200
6	500	175	1,580	100
7	1000	175	3,150	50

из твердых сплавов и графитовыми электродами. После каждого слоя, наносимого электродом из твердого сплава, производилось нанесение слоя графитовым электродом с целью снижения шероховатости и повышения твердости покрытия за счет дополнительного образования карбидов [2, 3];

в) нанесение покрытий с применением только графитового электрода [3] для повышения твердости поверхности вала и снижения шероховатости. Данная технология напоминает процесс цементации деталей, направленный на насыщение поверхностного слоя углеродом с образованием в нем цементита и повышения твердости и износостойкости поверхностного слоя посадочных мест подшипников. Отличие заключается в отсутствии нагрева упрочняемой детали до 900 °С, так как в процессе электроискрового легирования температура искры локально может превышать 1000 °С [1], но процесс прохождения искры импульсный, точечный, и теплота, полученная поверхностным слоем за импульс прохождения искры, за счет высокой теплопроводности стали рассеивается в массе металла детали, не вызывая существенного нагрева, а также коробления или тепловых деформаций. В результате легирования на поверхности детали образуется диффузионный слой цементита, обладающий повышенной твердостью $HV = 800 - 1000 \text{ кг/мм}^2$.

В табл. 2 приведены результаты получения покрытий на образцах из сталей 20, 30, 45, которые применяются для изготовления валов. Наносились «монослои» электродами из твердых сплавов ВК8,

Т15К6 [4], а также электродами из хромоникелевого сплава Х20Н80 и графита.

В результате проведенных экспериментов можно сделать выводы:

- покрытия из твердых сплавов обеспечивали необходимую микротвердость ВК8, Т15К6 – от $HV = 945$ до $HV = 1097 \text{ кг/мм}^2$, что превышает требуемую ($HRC = 45$ ед.);

- микротвердость Х20Н80 в среднем в два раза ниже, чем у вышеприведенных сплавов – от 460 до 470 кг/мм^2 , но выше требуемой ($HRC = 45$ ед.);

- покрытия, полученные с помощью электрода из графита тоже обеспечивают высокую твердость – $HV = 910-1400 \text{ кг/мм}^2$, покрытие имеет сетчатую структуру и средняя твердость составляет $HRC = 55$ ед.;

- толщина покрытия при нанесении нескольких слоев сплавами ВК8, Т15К6 и Х20Н80 составляет 0,3–0,4 мм, а в случае нанесения 9 слоев достигает 0,95 мм, что достаточно для последующей операции шлифования и остаточной толщины покрытия 0,1–0,15 мм. Шероховатость и сплошное заполнение данного покрытия не позволяют использовать его без последующей механической обработки;

- при использовании в качестве анода чистого графита размеры образца (толщина) практически не изменяются – прирост толщины составляет 0–0,005 мм, что является полезным свойством, так как можно наносить износостойкое покрытие уже на готовые посадочные места, без существенного изменения размеров. При использовании графитовых электродов получается требуемая шероховатость

поверхности $Ra = 2,1-2,6$ мкм, что позволяет исключить последующую механическую обработку;

– с увеличением содержания углерода в стали (с 0,2 % до 0,45 %) скорость нанесения увеличивается, что говорит о возможности получения более толстых покрытий;

– покрытия из X20H80 наносятся легче, чем все вышеприведенные покрытия, и толщина слоя может достигать 0,4–0,6 мм, что объясняется сравнительно низкой температурой плавления электрода из сплава X20H80. Кроме того, покрытия, полученные с помощью электрода из X20H80, обладают шероховатостью, несоответствующей требуемой шероховатости поверхности посадочного места, поэтому в этом случае необходима механическая обработка.

На этом этапе работы была поставлена цель – получить при удовлетворительной твердости покрытия максимальной толщины, применяемые с последующей механической обработкой.

На втором этапе работы были проведены эксперименты по нанесению покрытий комбинированным способом, то есть нанесение покрытия твердым сплавом с последующей обработкой покрытия графитовым электродом. Цель этапа – получение твердого и износостойкого покрытия с минимально возможной шероховатостью, для того чтобы полностью исключить механическую обработку. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Независимо от состава электрода толщина покрытия, как правило, не пре-

вышает 0,01–0,04 мм. Наименьшая шероховатость покрытия достигается при применении комбинированного покрытия VK8 + графит – $Ra = 1,24$ мкм, а W + графит – $Ra = 2,4$. Несмотря на то, что прирост толщины покрытия не наблюдается, твердость покрытия получается довольно высокой $HV = 1440$ кг/мм². Повышенную шероховатость, несмотря на дополнительную обработку покрытия графитом, имеет покрытие, полученное с помощью электрода из X20H80 – $Ra = 3,65$ мкм и T15K $Ra = 3,28$ мкм. Поскольку данные исследования являются предварительными, проводимыми с целью определения принципиальной возможности использования электроискрового легирования для упрочнения посадочных мест под подшипники, возможна доработка технологии с целью большего снижения значений шероховатости покрытия.

Определение стойкости электроискрового покрытия посадочных мест под подшипники при их замене

Кроме фреттинг-коррозии на состояние посадки подшипника на посадочное место влияют процессы распрессовки-запрессовки при замене подшипников. По статистике ресурс подшипникового узла должен быть равен 5–6 ресурсам используемых подшипников. Следовательно, если поверхность посадочного места выдержит 5–6 операций распрессовки-запрессовки при неизменных или незначительно изменяющихся усилиях запрессовки – можно считать, что покрытие успешно выдержало данное испытание.

Таблица 2

Результаты исследований по нанесению электрон스크ового покрытия электродом одного химического состава для каждого образца

№ образца	Время обработки слоя	Режим нанесения	Количество слоев, шт.	Материал подложки – сталь:	Материал электрода	Толщина образца		Толщина слоя покрытия, мм	Средняя микротвердость, кг/мм ²	Перевод твердости в НРС, ед	Шероховатость Ra, мкм
						До обработки ЭИЛ, мм	После обработки ЭИЛ, мм				
1	4	7	7	20	ВК8	3,97	4,35	0,38	1097	>65	18
2	4	7	7	35	ВК8	3,98	4,40	0,42	948	>65	21
3	4	7	9	45	ВК8	3,97	4,92	0,95	1032	>65	25
4	4	1,7	6	20	T15K6	3,99	4,36	0,37	945	>65	27
5	4	7	5	35	T15K6	4,01	4,21	0,20	1022	>65	38
6	4	7	7	20	X20N80	4,00	4,40	0,40	470	47	8
7	4	7	6	35	X20N80	3,97	4,26	0,29	464	46	7
8	2,4,5,5,5	7,6,5,4,2	5	45	графит	4,00	4,00	0	965	>65	2,64
9	2,3,4,7	7,5,3,1	4	45	графит	3,95	3,95	0	1449	>65	2,12
10	2,2,2,2,3,4,10	1,3,5,7,5,3,1	7	35	графит	3,98	3,98	0	1275	>65	2,51

Таблица 3

Результаты исследований по нанесению электронскровых покрытий электродами химического состава комбинированным способом

№ образца	Время обработки слоя	Режим нанесения (Alleg-31)	Количество слоев, шт.	Материал подложки – сталь:	Материал электрода	Толщина образца		Толщина слоя покрытия, мм	Средняя микротвердость, кг/мм ²	Перевод твердости в НРС, ед	Шероховатость Ra, мкм
						До обработки ЭИЛ, мм	После обработки ЭИЛ, мм				
11	4	7	16	20	T15K6+графит	3,86	3,86	0	938	>65	
12	4	7	7	35	T15K6+графит	3,97	3,95	-0,02	655	54	
13	4	7	4	45	T15K6+графит	3,95	4,20	0,25	485	47	
14	4,8,4,1,2,4,10	2,1,4,1,1,1,1	7	35	W+графит	3,99	4,36	-0,04	1440	>65	
15	4,8,4,1,2,4,104	2,1,4,1,1	5	20	W+графит	3,98	3,98	0	-	-	2,52
16	4,4,4,4,8,8	1,2,3,4,2,1	6	35	T15K6+графит	4,12	4,12	0	-	-	3,28
17	4,4,4,4,4,8	1,2,3,2,1,1	6	20	W+графит	3,95	3,96	0,01	-	-	3,52
18	4,4,4,4,4,4,4,16	1,2,1,2,1,1,1,1	8	45	ВК8+графит	3,98	4,02	0,04	-	-	1,24
19	4,4,8,8,4,8,16,16	1,1,1,2,3,1,2,1	8	20	X20N80+графит	3,96	3,98	0,02	-	-	3,65
20	4,4,4,8,8	1,1,1,2,1	5	35	W+графит	3,98	3,99	0,01	-	-	2,04

Для испытания использовали муляж вала из стали 20 с нанесенным покрытием с помощью комбинированного метода (электроды Т15К6+графит) и соответствующий посадке под подшипник (рисунок). Процесс запрессовки производился на разрывной машине Р-5 с целью фиксации усилия, возникающего при запрессовке и распрессовке.

Запрессовка и распрессовка подшипника производилась последовательно, значения максимального усилия по запрессовке и распрессовке приведены в табл. 4.

Согласно таблице, при запрессовке и распрессовке изменение усилия прессования происходит незначительно для первых пяти испытаний и только на шестом наблюдается его существенное понижение, после чего опыт был прекращен, цель достигнута.

Таким образом, при запрессовке-распрессовке подшипника на вал электроискровое покрытие не разрушается, натяг при посадке, если и уменьшается, то незначительно, что не влияет на дальнейшую эксплуатацию подшипникового узла. Следует также учесть, что в данном эксперименте на всех стадиях использовался один и тот же подшипник, ранее изношенный и деформированный предшествующими напрессовками, в то время как в реальной эксплуатации каждый раз будет насаживаться новый подшипник с неизношенным и недеформированным кольцом.

Выводы

1. Исследования, проведенные на образцах из сталей, используемых для по-



а) упрочненная часть; б) часть не упрочненная;



в) муляж вала с подшипником

Рисунок. Муляж вала с посадочным местом а) упрочненная часть; б) часть не упрочненная; в) муляж вала с подшипником

Таблица 4

Параметры усилий при запрессовке и распрессовке подшипника на вал с нанесенным электроискровым покрытием

№ опыта	Усилие запрессовки (Н)	Усилие распрессовки (Н)
1	6100	3000
2	6000	3200
3	5700	3500
4	6200	2200
5	5300	2600
6	3800	2200

садочных мест под подшипники (углеродистые стали 20,30,45), показали, что применение электродов из ВК8, Т15К6, применение графитовых электродов, а также комбинации использования данных электродов, способно обеспечить в покрытиях необходимую твердость. Однако толщина слоя и шероховатость при этом может быть разной.

2. При использовании графитового электрода размер посадочного места либо уменьшается, либо остается без изменений (в зависимости от энергии импульса и длительности обработки), происходит низкотемпературная цементация поверхностного слоя. Таким образом, обработку графитовым электродом можно использовать как метод снижения шероховатости поверхности покрытия, а также как метод уменьшения размера посадочного места с увеличиваем твердости поверхности за счет насыщения поверхностных слоев углеродом.

3. При использовании твердых сплавов необходимо получать покрытие с минимальной толщиной 0,2–0,3 мм на сторону для возможности последующей шлифовки в нужный размер.

4. При комбинации электродов твердого сплава и графита для нанесения покрытия можно добиться минимального прироста толщины покрытия, при этом износостойкий слой составит 20–30 мкм. Использование технологий с минимальным приростом слоя приведет к тому, что из технологии упрочнения можно вообще исключить операцию шлифования, так как шероховатость покрытия будет удовлетворять требованиям.

5. Очевидно, что необходимы комплексные производственные испытания покрытий, полученных в лабораторных условиях, поскольку в данном случае происходит не только абразивный износ при процессах запрессовки и распрессовки подшипника, но и фреттинг-износ или фреттинг-коррозия при промышленной эксплуатации подшипникового узла.

Цитированная литература

1. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин, П. В. Сенин, В. И. Иванов. – Саранск : Красный Октябрь, 2003. – 504 с. – Текст : непосредственный.

2. Михайлюк, А. И. Применение графита в электроискровых технологиях / А. И. Михайлюк, А. Е. Гитлевич. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 2010. – № 5. – С. 37–44.

3. Михайлюк, А. И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А. И. Михайлюк. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 2003. – № 3. – С. 21–23.

4. Самсонов, Г. В. Электронный спектр и физические свойства титана, ванадия и хрома / Г. В. Самсонов, Ю. М. Горячев, Б. А. Ковенская. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Физика. – 1972. – № 6. – С. 37–42.

5. Лазаренко, Н. И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей

/ Н. И. Лазаренко. – Текст : непосредственный. // Электронная обработка материалов. – 1965. – № 1. – С. 49–53.

6. Верхотуров, А. Д. Распределение вещества электродов в их рабочих поверхностях после электроискрового легирования стали переходными металлами IV–VI групп / А. Д. Верхотуров, И. С. Анфи-

мов. – Текст : непосредственный // Физика и химия обработки материалов. – 1978. – № 3. – С. 93–95.

7. Иванов, Г. П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин / Г. П. Иванов. – Москва: Машгиз, 1961. – 303 с. – Текст : непосредственный.

УДК 621.9.048.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НИЗКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Е. В. Юрченко, В. И. Юрченко

Рассмотрена физическая модель процесса появления выступов на легируемой поверхности при нанесении электроискровых покрытий. Проведен анализ и обобщен экспериментальный опыт снижения шероховатости покрытий на алюминиевых поверхностях. Предложены наиболее эффективные направления исследований по уменьшению шероховатости покрытий.

Ключевые слова: электроискровое легирование, алюминиевые сплавы, шероховатость, энергия импульса.

STUDY OF THE POSSIBILITIES OF OBTAINING THICK-LAYER ELECTRIC SPARK COATINGS OF LOW ROUGHNESS ON ALUMINUM SURFACES

E. V. Yurchenko, V. I. Yurchenko

A physical model of the process of the appearance of protrusions on the alloyed surface during the deposition of electrospark coatings is considered. The analysis and generalization of the experimental experience of reducing the roughness of coatings on aluminum surfaces is carried out. The most effective lines of research on reducing the roughness of coatings are proposed.

Keywords: electrospark doping, aluminum alloys, roughness, pulse energy.

Применение алюминиевых сплавов почти во всех отраслях народного хозяйства постоянно расширяется. Особенно это заметно в машиностроении, строительстве

и других отраслях промышленности. Широкое распространение получили деформируемые алюминиевые сплавы, такие, например, как Д1, Д16 и т. д. Эти сплавы отличаются высокой конструктивной проч-

ностью и достаточно высокой пластичностью, что дает возможность предотвращать хрупкость и разрушение деталей, изготовленных из этих сплавов. К тому же эти сплавы имеют и другие высокие физико-механические и технологические свойства [1]. По удельной прочности указанные сплавы превосходят не только чугуны, но и рядовые стали, в то время как плотность их в три раза ниже. С технологической точки зрения алюминиевые сплавы хорошо лютуются, штампуются, обрабатываются резанием, хорошо свариваются и паяются. Одним из недостатков алюминиевых сплавов является низкая твердость и износостойкость, что в значительной степени ограничивает область их применения, особенно в трущихся парах. Поэтому при использовании таких узлов на рабочие трущиеся поверхности деталей из алюминиевых сплавов приходится наносить износостойкие покрытия. Из существующих способов нанесения покрытий (микродуговое оксидирование, ионно-плазменное напыление, ионная имплантация и т. д.) самым простым и доступным способом является электроискровое леги-

рование), которое в настоящее время получает все большее распространение благодаря своим преимуществам: мобильности, низкой энергоемкости, экологической безопасности, низкой температуре процесса, локальности нанесения покрытия и т. д.

При нанесении покрытий с помощью электроискрового легирования выделяются два направления:

– получение покрытий разного назначения (износостойких, жаростойких, электропроводных, антифрикционных и т. д.) небольшой толщины, менее 0,1 мм; такие покрытия наносятся в основном на вновь изготавливаемые алюминиевые детали; эта технология в настоящее время широко применяется, и при ее отработке сложных вопросов не возникает;

– получение покрытий относительно большой толщины: до 1,5–2,0 мм; такие покрытия зачастую необходимы для ремонта и восстановления изношенных или поврежденных алюминиевых деталей, получать такие покрытия весьма затруднительно из-за появления на обрабатываемой поверхности выступов (рис. 1),

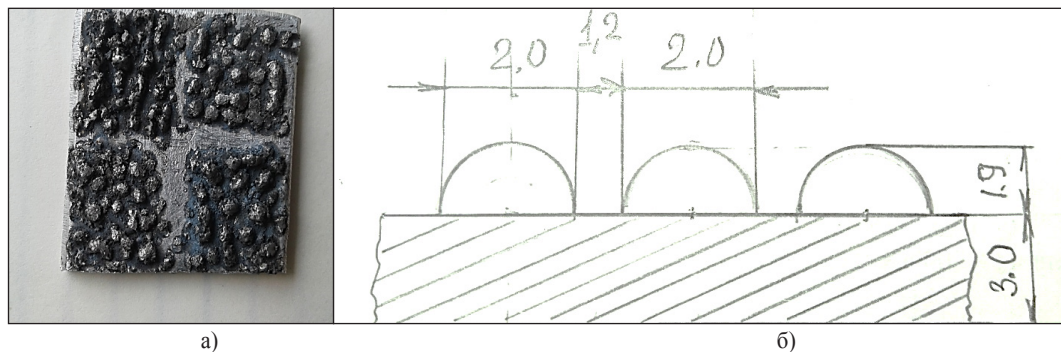


Рис. 1. Электроискровое покрытие с характерными выступами, полученное на алюминиевом сплаве Д1 электродом из алюминиевого сплава АО20–1 (Alier-31, режим 7, ток импульса $I = 175$ А, частота импульсов $f = 50$ Гц, энергия импульса $E = 3,15$ Дж).

а) морфология поверхности; б) схема покрытия с реальными размерами

создающих значительную шероховатость поверхности. Поэтому исследование и разработка технологий, позволяющих получать толстостенные покрытия на алюминиевых сплавах с низкой шероховатостью, является весьма актуальной задачей.

Для определения режимов работы установки Alier-31, при которых получают выступы на обрабатываемой поверхности, был проведен ряд экспериментов. В качестве образцов были использованы листы сплава Д1 размером 3×20×40 мм. Электродом служили круглые литые стержни диаметром 4 мм из алюминиевого сплава АО20-1. Скорость нанесения покрытия составляла 4 мин/см². Использованы все 7 режимов установки Alier-31, энергетические параметры работы каждого режима приведены в табл. 1.

Таблица 1
Энергетические параметры работы установки Alier-31 [2]

№ режима	Длительность импульса, мкс.	Амплитудное значение тока импульса, А	Энергия импульса, Дж
1	16	125	0,036
2	31	125	0,07
3	62	175	0,2
4	125	175	0,39
5	250	175	0,79
6	500	175	1,58
7	1000	175	3,15

На рис. 2, показывающем морфологию поверхности образцов с покрытиями при разных режимах работы электроискровой установки Alier-31 отчетливо видно, что покрытие с большими выступами получается при наиболее интенсивных режимах работы электроискровой установки с энергией разряда от 1,58 и до 3,15 Дж включительно, при длительности импульса соответственно 500 и 1000 мкс.

В процессе исследования были сделаны попытки получить ровный слой покрытия путем нанесения на предварительно легированную поверхность мелкодисперсного порошка из сплава АО20-1. Первоначально получали стандартное покрытие, с выступами, а затем промежуток между выступами засыпались порошком, и электроискровое легирование проводилось повторно. Предполагалось, что частицы мелкодисперсного порошка, попадая в межэлектродное пространство под действием мощных электроискровых импульсов, будут осажаться и диффундировать в поверхность катода. В результате при воздействии импульса происходила частичная приварка незначительного количества частиц порошка к легируемой поверхности, но в подавляющем большинстве, вместо внедрения мелкодисперсных частиц порошка в легируемую

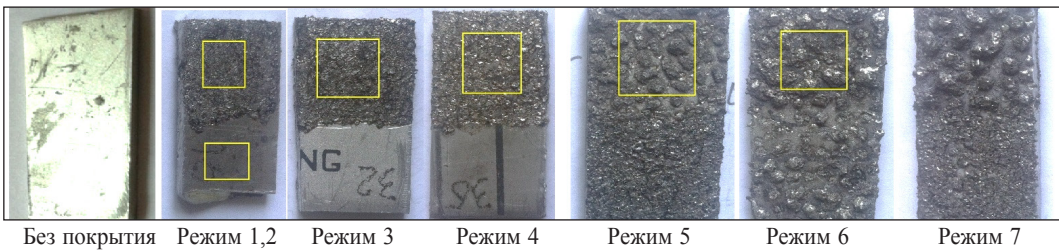


Рис. 2. Морфология поверхности образцов с нанесенными покрытиями в зависимости от режимов работы установки Alier-31

поверхность, происходил выброс мелкодисперсного порошка из промежутков между выступами и разброс по поверхности детали. Шероховатость покрытия при этом не уменьшилась. Тогда для предотвращения разбрасывания частиц порошка в качестве связующего был добавлен казеиновый клей (~5 %), но и это не улучшило ситуацию. Частицы порошка все равно не взаимодействовали с поверхностью детали, более того, они ухудшали перенос материала с анода на катод. Можно сделать вывод, что при используемых энергиях импульса мелкодисперсный порошок не только не осаждается и не диффундирует в легируемую поверхность, но и является существенной преградой для эффективного осаждения частиц анода на катоде.

Изучение технической литературы выявило, что сообщество специалистов по электроискровому легированию еще не выработало единой, корректной во всех отношениях теории появления выступов на поверхности обрабатываемых образцов или деталей. Некоторые ученые считают [3], что образование выступов является результатом дискретности самого процесса электроискрового легирования, когда перенос материала с легирующего электрода на упрочняемое изделие происходит порциями. Так как микрорельеф и электрода-анода и электрода-катода имеет большое количество неровностей, то при замыкании их происходит искровой разряд и перенос материала в виде выступа, на котором в дальнейшем и локализуются рабочие разряды, образуя выступы. При движении вибратора с электродом-анодом с обычной скоростью 2–4 см²/мин высту-

пы покрывают обрабатываемую электроискровым легированием поверхность образца (см. рис. 1).

Однако, как показано на рис. 2, одного дискретного переноса материала с электрода-анода на электрод-катод еще недостаточно для образования выступов, так как при низких режимах (1–5) работы электроискровой установки выступов практически не образуется. Для их появления необходимо дополнительно применять искровые разряды с большей энергией, примерно $\geq 1,6$ Дж.

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям [4], существует два механизма переноса вещества электрода-анода на электрод-катод: плазменный и мостиковый.

При плазменном механизме переноса сначала происходит контакт электродов по микровыступам на поверхности электродов, в результате чего замыкается схема генератора импульсного тока. При отходе электрода возникает пробой межэлектродного промежутка, и образуется плазменный канал сквозной проводимости. По этому каналу происходит основной рабочий разряд накопительных конденсаторов. В результате действия разряда на электроде-катоде образуется лунка с приподнятыми краями над ровной поверхностью образца (рис. 3).

Дно лунки и ее края представляют собой материал, выброшенный с анода и смешанный с материалом катода. При перемещении электрода-анода по поверхности образца образуется характерная зернистая поверхность.

Мостиковый перенос является разновидностью контактного переноса. Когда

длительность импульса большой энергии превышает время разогрева материала электродов до оплавления, то при отходе электрода-анода между электродами образуется мостик расплавленного металла. При дальнейшем отходе электрода-анода этот мостик разрушается, причем большая его часть остается на электроде-катоде (детали), ввиду того, что скорость охлаждения детали гораздо выше, чем электрода-анода. В этом случае перенос расплавленного металла с электрода-анода происходит большими порциями, что способствует образованию грубой шероховатой поверхности на детали или на образце. На рис. 2 показана морфология покрытия при длительности импульса 500 и 1000 мкс, что подтверждает сказанное. Литературные данные подтверждают [3], что при электроискровом легировании сплавов, имеющих низкую температуру плавления (например, Sn, Pb, Al и т. д.), чаще всего наблюдается контактный перенос, обусловленный образованием и разрушением мостиков расплавленного металла.

Для более удобного представления явления электроискрового легирования алюминиевых сплавов типа Д1 была предложена физическая модель процесса (рис. 4).

Одну из главных ролей в процессе электроискрового легирования алюминиевых деталей и получения шероховатой поверхности играет энергия искры. Низкая температура плавления алюминия позволяет снизить затраты на получение покрытия в жидко-паровой фазе, а высокая теплопроводность снижает влияние тепловых волн на образование остаточных напряжений растяжения в покрытии.

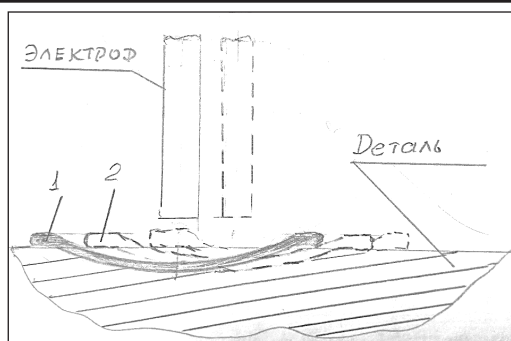


Рис. 3. Образование лунки и регулярной зернистой поверхности покрытия при электроискровом легировании алюминиевого образца при малой энергии искрового разряда

С другой стороны, высокая усадка и высокий коэффициент линейного расширения этому препятствуют.

На поверхности алюминия обычно образуется плотная оксидная пленка, которая препятствует получению плотного покрытия при сварке и пайке, поэтому обычно ее предварительно удаляют различными способами. Однако, как показывает практика, при проведении ЭИЛ на сплаве Д1 эта пленка удаляется автоматически при первых же искровых разрядах вместе с иными загрязнениями (табл. 2).

Таблица 2

Многослойное нанесение покрытия из сплава АО20-1 на сплав Д1 при разных режимах работы установки Alier-31

№ режима	1 слой, мг	2 слой, мг	3 слой, мг	4 слой, мг	Параметры нанесения покрытия
1	-3	+5	+4	+6	
2	-2	+3	+6	+5	
3	+9	+9	+5	-3	частота – 80 Гц; энергия импульса – 1,25 Дж; ток – 175 А
4	+11	+8	+4	+1	

При малой энергии импульса (образцы 1 и 2) первые искровые разряды расходуются на удаление с обрабатываемой поверхности окисной пленки.

Сущность этого явления заключается в том, что, согласно существующей теории [1], во время появления искрового разряда, электроны вылетают с электрода-катода и движутся по направлению к электроду-аноду, а положительные ионы, наоборот, движутся от электрода-анода к электроду-катоде. Электроны, вылетающие с анода с большой скоростью, разрывают оксидную пленку, покрывающую катод, и в виде мельчайшей керамической пыли выносят в межэлектродное пространство. Так же происходит и очистка от

окислов анода, только в качестве «очистителя» работают положительные ионы. Поэтому в разработанной модели эта окисная пленка существенной роли не играет, и ее влияние не учитывается.

При увеличении энергии импульса (образцы 3 и 4) заряда энергии хватает не только для удаления пленки окислов, но и для образования покрытия на электроде-аноде.

Вид шероховатой поверхности (см. рис. 1) позволяет предположить, что перенос частиц с электрода-анода на электрод-катод (образец) происходит порциями искровых разрядов. Элементарный расчет показывает, что при диаметре выступа 2 мм, скорости перемещения вибратора

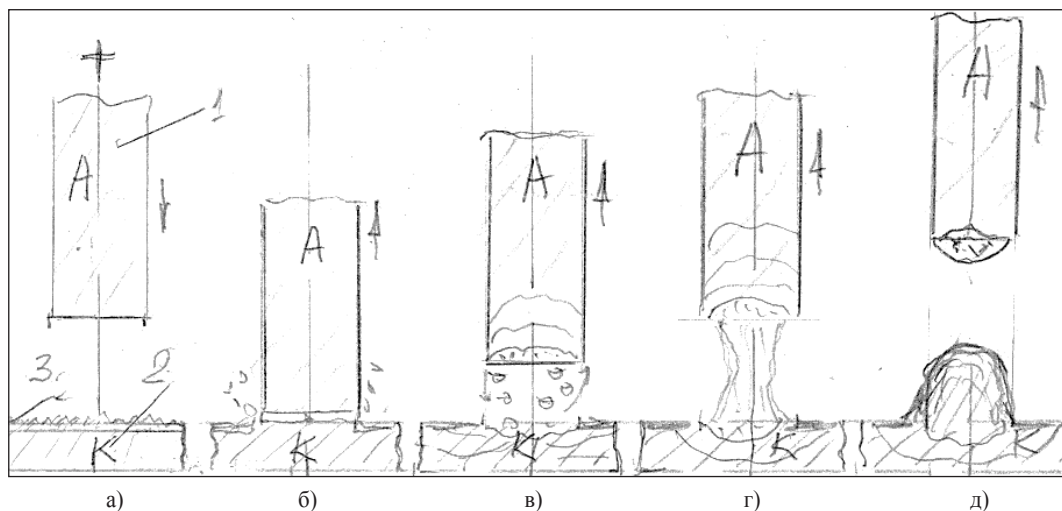


Рис. 4. Модель электроискрового легирования алюминиевого сплава типа Д1 (дюраль) электродом из сплава АО20-1 с образованием выступа

- исходное положение: 1 электрод-анод, 2 электрод-катод, 3 окисная пленка;
- касание электродов, частичный отход электрода-анода, образование пробоя и канала проводимости с одновременным разрушением окисной пленки с частичным выбросом ее в межэлектродное пространство;
- действие полного рабочего искрового разряда с сильным разогревом как электрода-анода, так и электрода-катода и начальной стадией образования большой капли;
- образование из жидкого металла мостика, который сдержит как частицы электрода-анода, так и частицы электрода-катода; мостик соединяет электроды, образуя большую каплю, дальнейший отход электрода-анода;
- обрыв капли, большая часть которой остается на образце ввиду более сильного охлаждения ее образцом, масса которого всегда больше, чем электрода-анода; образование единичного выступа

1 мм/с и частоте импульсов 100 Гц получается, что каждый выступ образуется за счет действия 200 рабочих импульсов при высокой энергии разряда 1,58–3,15 Дж. При этом каждая порция импульсов действует на отдельный, очень ограниченный участок образца, ввиду чего и образуются выступы на обрабатываемой ЭИЛ поверхности.

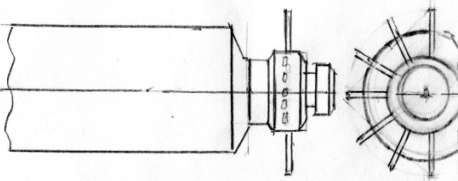
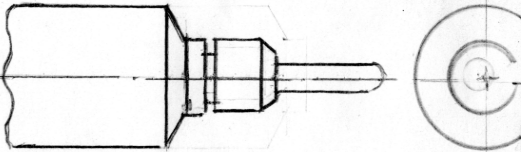
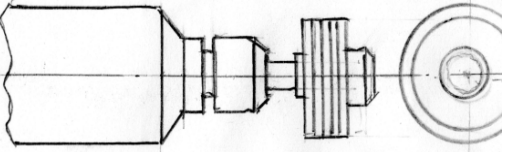
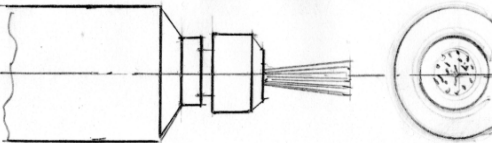
Можно сделать вывод, что для получения толстостенного и покрытия без больших выступов необходимо не допускать попадания порций рабочих импульсов в одно и то же ограниченное место, то есть необходимо распределять («размазывать») рабочие импульсы равно-

мерно по всей обрабатываемой площади детали (образца). С помощью вибрирующего электрода-анода «размазывать» рабочие импульсы по обрабатываемой поверхности практически невозможно, так как ни в ручном, ни в механизированном способе нанесения покрытия при использовании вибрирующего анода обеспечить высокую скорость распределения импульсных зарядов по поверхности детали невозможно.

Анализ технической литературы показал, что наметилась определенная тенденция по применению технологий с размазыванием искрового разряда по наплавляемой поверхности (табл. 3).

Таблица 3

Безвибрационные схемы работы установок ЭИЛ с вращающимися электродами

Описание схемы	Принципиальная схема	Ссылка
Проволочные электроды, закрепленные на вращающемся диске		[5, 6]
Круглый стержневой электрод закреплен во вращающемся патроне		[7, 8]
Вращающийся электрод выполнен в виде вращающегося сборного диска, состоящего из тонких пластин		[3, 9]
Вращающийся электрод выполнен в виде щетки из отдельных проволочек		[10]

При вращении электродов–анодов происходит дробление порций рабочих импульсов и более равномерное распределение рабочих импульсов по обрабатываемой поверхности, и, следовательно, получают более толстостенные покрытия, чем при вибрирующем электроде. Одним из преимуществ указанных схем является возможность получения покрытий одновременно разными химическими элементами, так как проволочные элементы могут иметь разный химический состав (схемы 1, 3, 4).

Однако все указанные схемы имеют серьезный недостаток, который связан с вращением электрода–анода. При вращении электрода происходит одновременно с нанесением покрытия его разрушение за счет царапания этим же электродом–анодом. Если при нанесении покрытий вращающимся электродом–анодом любой из описанных схем на стальные, чугунные или другие материалы, имеющие поверхностную твердость в пределах НВ 160–280 кг/мм² царапание сказывается не так значительно, то для алюминиевых сплавов, имеющих в большинстве твердость НВ 50–100 кг/мм², царапание приводит к разрушению не только покрытия, но и поверхности детали. Для предотвращения царапания необходимо в аппаратах электроискрового легирования применять блоки схемы, позволяющие поддерживать межэлектродный зазор в пределах 0,1–10 мкм [3]. При таких зазорах коммутация зарядов обеспечивается, а влияние царапания сведено к минимуму, однако это усложняет и удорожает устройство электроискрового легирования и делает его менее надежным.

Одним из перспективных направлений развития технологии электроискрового легирования, по нашему мнению, может быть бесконтактное нанесение покрытий на деталь при помощи осциллятора и катушки индуктивности. Осциллятор широко применяется при аргонно–дуговой сварке для облегчения процесса поджига дуги. Сущность его работы заключается в том, что он вырабатывает ток с частотой 300–500 кГц и напряжением 3000–5000 В, что позволяет ему пробивать воздушный промежуток 10–12 мм, в то же время его ионизируя. В этот момент легко возбуждается электрическая дуга без физического касания электродом поверхности детали. При применении осциллятора для электроискрового легирования будет происходить то же самое, то есть будет ионизироваться межэлектродный промежуток, по которому будут проходить рабочие импульсы без касания электродов. Следует отметить, что осциллятор совершенно безопасен для человека ввиду мизерного тока и высокой частоты.

Если заключить электрод–анод в индукционную катушку, то можно отказаться и от привода вращения электрода. Индукционная катушка создает вращающееся магнитное поле с высокой скоростью – десятки метров в секунду. С такой же скоростью магнитное поле будет вращать искру (поток электронов и ионов), равномерно распределяя их по поверхности изделия. Для уточнения возможности разработки такого устройства и определения оптимальных параметров его работы необходимо провести серьезную научно-исследовательскую работу, которая начата в НИИ «Электро– и нанотехнологии».

Выводы

1. Анализ показал, что попыткам получения толстостенных покрытий на алюминиевых сплавах с помощью вибрирующих электродов-анодов мешает появление грубых выступов, причиной появления которых является нанесение покрытий порциями искровых импульсов в ограниченное место на обрабатываемой электроискровым легированием поверхности.

2. Для получения толстостенных покрытий необходимо равномерное распределение искровых импульсов по обрабатываемой поверхности, что достигается применением только вращающихся электродов-анодов. Вибрирующие электроды-аноды для этого непригодны.

3. Для устранения царапания аповерхности алюминиевых деталей при вращении электродов и касания ими обрабатываемой поверхности предложено разработать инновационную технологию электроискрового легирования с применением осцилляции и магнитного вращения для равномерного распределения рабочих импульсов по обрабатываемой поверхности, исключая механическое вращение и вибрацию.

Цитированная литература

1. Белецкий, В. М. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов. – Киев : Коминтех, 2005. – 156 с. – Текст : непосредственный.

2. Паспорт на электроискровую установку «Alier-31». – Текст : непосредственный.

3. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев, В. А. Хворостухин. – Москва: Машиностроение, 1997. – 143 с. – Текст : непосредственный.

4. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин, П. В. Сенин, В. И. Иванов. – Саранск: Красный Октябрь, 2003. – 504 с. – Текст : непосредственный.

5. Сафронов, И. И. Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя / И. И. Сафронов, П. А. Топала, А. С. Горбунов. – Кишинев : Тесница INFO, 2009. – Текст : непосредственный.

6. Зайцев, Е. А. Установка типа ЭФИ41 и ЭФИ50 для электроискрового серебрения / Е. А. Зайцев, Н. И. Корниенко, А. Н. Покровский. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1971. – № 6. – С. 72–74.

7. Мулин, Ю. И. Технологические и методологические основы формирования функциональных покрытий методом электроискрового легирования с применением электродных материалов из минеральных концентратов Дальнего Востока / Ю. И. Мулин. – Хабаровск, 2017. – Текст : непосредственный.

8. Николенко, С. В. Наноструктурирование поверхности стали 35 электроискровой обработкой новыми электродными материалами на основе карбида вольфрама с добавкой нанопорошка Al₂O₃ / С. В. Николенко. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2011. – № 6.

9. Кирилов, О. Н. Разработка процесса обработки поверхностей с переменным припуском электродом-щеткой / О. Н. Кирилов. – Воронеж, 1993. – Текст : непосредственный.

10. Юриков, Ю. В. Повышение эффективности электроэрозионного восстановления шеек валов / Ю. В. Юриков, – Липецк, 2000. – Текст : непосредственный.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А. Н. Котомчин, В. А. Зорин

Представлены результаты исследований использования электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительных машин. Проведен краткий анализ существующих электролитов хромирования и намечены пути совершенствования. Предложен новый состав электролита хромирования – холодный саморегулирующийся электролит, который можно использовать его при восстановлении деталей автомобилей и дорожно-строительных машин. Использование данного способа восстановления даст возможность сократить затраты на эксплуатацию автомобилей и дорожно-строительной техники в целом.

Ключевые слова: хромирование, автомобили, дорожно-строительные машины, восстановление, электролит.

IMPROVEMENT OF ELECTROLYTIC CHROME PLATING FOR THE RESTORATION OF CAR PARTS AND ROAD CONSTRUCTION MACHINES

A. N. Kotomchin, V. A. Zorin

The article presents the results of research on the use of electrolytic chrome plating for the restoration of car parts and road construction machines. A brief analysis of the existing electrolytes of chrome plating is carried out and ways of improvement are outlined. A new composition of the chromium plating electrolyte is proposed – a cold self-regulating electrolyte, which will allow it to be used in the restoration of car parts and road construction machines. The use of this recovery method will make it possible to reduce the cost of operating cars and road construction equipment in general.

Keywords: chrome plating, cars, road construction machines, restoration, electrolyte.

Многokратное снижение расхода первичных материалов, энергии, человеческого труда и загрязнения окружающей среды обеспечивает реновация технических изделий, достигших предельного технического состояния.

Весовой износ, в результате которого изделие, например, автомобиль, непригодно к дальнейшей эффективной эксплу-

атации, не превышает 0,5 %, а по деталям прецизионной группы эта величина составляет 0,1 %. Как видно, свыше 99 % материала, производство которого уже привнесло значительные материальные, энергетические, экологические издержки, можно сохранить с минимальными потерями. Это технически вполне осуществимо, так как средний износ деталей составляет 0,1 мм, и для его компенсации

требуется на порядок меньше по сравнению с новой деталью наращиваемого материала. Существующие в настоящее время реновационные способы позволяют восстанавливать детали до номинальных параметров и даже упрочнять их с себестоимостью не более 40 % себестоимости новых деталей [1].

Среди прогрессивных реновационных способов приоритетное место занимает электролитическое осаждение хрома в силу многих известных положительных качеств. Однако процессу электроосаждения хрома из растворов шестивалентных соединений сопутствуют серьезные недостатки, главными из которых являются низкая производительность, высокая энергоемкость и существенные затраты по обезвреживанию хромосодержащих стоков.

В результате вышеизложенного были осуществлены поиски путей повышения эффективности процесса хромирования (выхода металла по току), интенсификации этого малопроизводительного процесса и снижения энергозатрат [2].

Высокая твердость, износостойкость, как в обычных, так и в агрессивных средах, жаростойкость, противокоррозионная стойкость, низкий коэффициент трения, высокая сцепляемость с подложкой, хороший товарный вид делают электролитический хром конкурентоспособным и привлекательным материалом в машиностроении и ремонтном производстве. Никакой другой гальванический процесс не может составить конкуренцию электролитическому хромированию по разнообразию физико-механических и специфических свойств осадков – плотные и с

различной пористостью; твердые и сравнительно мягкие; блестящие с разными оттенками, матовые и черные; с широким диапазоном износостойкости; с растягивающими внутренними напряжениями и без них; с несколькими модификациями кристаллической решетки, с огромной разницей (до двух порядков) содержания водорода и др. Это способствовало распространению хромирования в самых различных отраслях экономики страны. Наряду с этим необходимо указать, что процесс электроосаждения хрома является одним из самых сложных в гальваностегии. Эта сложность обусловлена значительным электроотрицательным потенциалом восстановления хромат ионов, протеканием на катоде нескольких параллельных электрохимических реакций и необходимостью введения в электролит определенных, относительно небольших количеств посторонних анионов и катионов. Экономическая стратегия восстановления деталей машин предполагает всемерное снижение затрат на единицу ресурса, т. е. применение энергосберегающей, высокопроизводительной технологии. Твердые электролитические хромовые покрытия по своим физико-механическим характеристикам достаточно полно отвечают основным эксплуатационным требованиям на восстановленные детали.

Однако по экономическим показателям процесс электролитического хромирования является одним из несовершенных. Особенно велики непроизводительные удельные энергозатраты (на единицу массы покрытия) из-за низкого электрохимического эквивалента шестивалентного

хрома, незначительного (15–22 %) выхода металлического хрома по току [3, 4].

Разработка таких способов электролитического осаждения хрома, которые позволили бы ускорить процесс нанесения хромовых покрытий при сохранении их высоких физико-механических свойств, является важной проблемой при восстановлении деталей автомобилей и дорожно-строительных машин.

В связи с этим представляется необходимым теоретически рассмотреть влияние основных входных параметров процесса электроосаждения на его интенсификацию и сделать его более энерго- и ресурсосберегающим.

В настоящее время для получения металлических покрытий хрома в промышленных масштабах в технически развитых странах мира применяются два типа ванн, принципиально отличающихся по составу.

Первый тип ванн в качестве основных компонентов содержит соединения шестивалентного хрома (раствор хромового ангидрида) и относительно небольшое количество так называемых «посторонних» анионов (сульфатов, фторидов, кремнефторидов, хлоридов, йодидов и некоторых других и их смеси) [3, 4].

Состав этой ванны остается принципиально неизменным уже на протяжении последних 80 лет, хотя разновидности компонентов и условия электроосаждения значительно расширены и усовершенствованы.

Второй тип ванн отличается наличием в качестве основного компонента солей трехвалентного хрома.

За последние 30 лет отмечается существенный прогресс как в области изучения сложного механизма реакцией на катоде, так и в области практического использования этих ванн. По данным некоторых авторов [3, 4], этот процесс рассматривается в качестве жизнеспособной альтернативы хромирования в электролитах на основе шестивалентных соединений хрома первоначально для декоративных целей. В обозримом будущем предвидится расширение применения этого процесса, особенно если учесть рост требований к вопросам охраны окружающей среды, обезвреживания хромосодержащих стоков в сочетании с некоторыми другими преимуществами этого процесса. Практический интерес к этому типу ванн хромирования обусловлен, прежде всего, повышенной экономичностью процесса и снижением уровня токсичности отходов, исключением из производственного процесса токсичных веществ (соединений шестивалентного хрома).

Одним из основных экономических факторов, определяющих эффективность процесса электролиза, является выход металла по току, зависящий как от соотношения основных компонентов, так и от концентрации хромового ангидрида. Наблюдается устойчивая закономерность увеличения выхода металла по току с понижением температуры электролита и повышения катодной плотности тока. Существенное влияние на выход металла по току оказывает природа и концентрация постороннего аниона, причем для каждого типа этого аниона существует область максимального значения функции.

Фундаментальными недостатками стандартного электролита являются [3, 4]:

- низкая стабильность его химического состава и, в связи с этим, необходимость частого контроля и корректировок компонентов;

- сравнительно низкий КПД – выход металла по току (15...17 %);

- невысокие применяемые рабочие плотности катодного тока (50...70 А/дм²).

Последние два фактора обуславливают низкую скорость осаждения металла, которая составляет около 0,03 мм/ч.

С целью совершенствования процесса электроосаждения хрома в последние 30 лет как у нас в стране, так и за рубежом проводились глубокие научные изыскания по двум основным направлениям:

- разработка более эффективных, совершенных электролитов хромирования;

- разработка способов интенсификации электроосаждения хрома и улучшения физико-химических и механических свойств электролитических осадков.

К настоящему времени разработана и предлагается к практическому использованию очень широкая номенклатура электролитов, значительно отличающихся между собой как концентрацией основного компонента CrO₃ (50...800 г/л), так и типом, концентрацией разнородных посторонних анионов и их сочетанием [3, 4]. Самым крупным достижением в области хромирования последних нескольких десятилетий является разработка горячих и холодных саморегулирующихся электролитов хромирования.

Основной смысл разработок данного типа электролитов заключается в поддержании равновесия концентраций хромовой кислоты и посторонних анионов, близких к оптимальной, что обусловило многие положительные качества этих электролитов: повышенный выход металла по току (20–42 %), улучшенные физико-механические свойства, более широкий диапазон условий электролиза (плотности катодного тока и температуры электролита) [3, 4].

Требуемое соотношение компонентов достигается за счет ограниченной растворимости солей (сульфата стронция, кремнефторида калия, фтористого кальция, сульфата кобальта и никеля и др.) в растворе хромовой кислоты.

М. А. Шлугером, В. М. Семиным и др. были разработаны саморегулирующиеся электролиты хромирования следующего состава (в г/л): хромовый ангидрид – 250...300; сульфат стронция – 5,5...6,0; кремнефторид калия – 18...20, которые нашли широкое применение в промышленной гальваностегии при следующих режимах: температура – 50...70 °С, плотность катодного тока – 40...100 А/дм², выход металла по току 22...25 % [3, 4].

Эффективность хромирования в саморегулирующихся электролитах более высокая по сравнению с универсальной ванной. Здесь также прослеживается единая закономерность – с повышением температуры электролита выход металла по току снижается. Заметно также более резкое возрастание выхода металла по току в зависимости от катодной плотности тока при пониженной температуре.

Кроме того предлагаемый состав фторидно-кремнефторидного саморегулирующегося электролита обеспечивает улучшение декоративного вида покрытий, придавая им интенсивный голубой оттенок.

Обладая высокими физико-механическими свойствами, получаемые хромовые покрытия могут быть использованы для упрочнения и восстановления изношенных деталей машин. Эти электролиты, однако, имеют существенные недостатки:

- высокая агрессивность, приводящая к растравливанию нехромируемых и плохозащищенных мест деталей и оснастки;

- затруднительное обеспечение стабильной пористости хромовых осадков;

- невысокий выход металла по току;

- достаточно высокая энерго- и ресурсозатратность.

Заслуживает практического внимания наиболее простой из всех саморегулирующихся электролитов – сульфатный. Однако, судя по литературным данным [3, 4], до некоторого времени получать доброкачественные хромовые покрытия в этом электролите не представлялось возможным. В результате соответствующих поисков и исследований В. Ф. Молчанов и сотрудники [3, 4] установили, что одним из способов использования сульфатного саморегулирующегося электролита является введение в его состав мелкодисперсных частиц. Увеличение растворимости сернокислого стронция, вызванное мелкодисперсными частицами, обеспечивает

получение высококачественных осадков с включением частиц в покрытие. Это послужило основанием для разработки новых разновидностей электролитов на базе хромовой кислоты (250 г/л CrO_3) и сернокислого стронция (6 г/л) с добавкой мелкодисперсных труднорастворимых в растворах хромового ангидрида частиц естественного и искусственного происхождения концентрацией 5...50 г/л и дисперсностью 0,01–50 мкм [3, 4]. В отличие от вышеперечисленных, данные электролиты неагрессивны, позволяют, варьируя концентрацией компонентов, режимами тока, температурой, перемешиванием, в широком диапазоне изменять физико-химические и механические свойства комбинированных композиционных хромовых покрытий. Однако выход металла по току остается на уровне 25 %.

Такие электролиты получили название электролитов-суспензий. По справедливому замечанию В. Ф. Молчанова, в определенном смысле все саморегулирующиеся электролиты, содержащие труднорастворимые составляющие, могут рассматриваться как электролиты-суспензии [3, 4].

Поскольку электролиты хромирования с добавками мелкодисперсных частиц составляют особый класс веществ со своими специфическими особенностями приготовления, корректировки, эксплуатации, формирования покрытий с особыми свойствами и представляют собой объект самостоятельного исследования, мы сочли возможным в данной работе их не рассматривать.

Одним из перспективных направлений развития промышленной гальваностегии является применение электролитов с повышенной концентрацией постороннего аниона [3, 4].

Базируясь на результатах теоретических и экспериментальных исследований строения, свойств и химического состава катодных пленок при хромировании, М. А. Шлугер и А. А. Михайлова разработали, исследовали и довели до промышленного внедрения новый, так называемый «сверхсульфатный», электролит хромирования [3, 4].

В последние годы в иностранной литературе (например, в японской и немецкой) [5] появились сведения о новом процессе электроосаждения хромовых покрытий в электролитах типа «Хромиспел». Основные особенности этого процесса – высокий выход металла по току (50–80 %), широкий интервал применяемых плотностей катодного тока (до 300 А/дм²), высокая стабильность электролита, высокая концентрация CrO₃ (700...900 г/л) и присутствие в качестве катализаторов анионов Q⁻ или Γ вместо SO₄²⁻, F⁻, SiF₆²⁻ и др.

Эти сообщения нуждаются в уточнении и всесторонней проверке, по результатам которой возможно будет определить область и масштаб практического применения предлагаемой технологии хромирования.

Для проведения исследований использовали оборудование на базе УИЛ «Реновация машин и оборудование» БПФ ПГУ им. Т. Г. Шевченко в виде установки для нанесения гальванических покрытий собственной разработки [6], ана-

литические весы ВАЛ-200 с точностью 0,01 мг, металлографический микроскоп ММУ-3 с цифровым окуляром (2,08х) при 250–625-кратном увеличении и соответствующие образцы площадью 0,075 дм². Анализ полученных результатов проводили по известным методикам согласно ГОСТ и ТУ [7].

Полученные данные исследований позволили установить, что в полученном электролите хромирования при совместном присутствии посторонних анионов SO₄²⁻ и F⁻ создаются условия, обеспечивающие нанесение качественных хромовых покрытий при рабочей температуре электролита 18–35 °С.

Для определения оптимальных режимов осаждения были выполнены исследования влияния катодной плотности тока (D_k) на выход по току (η), микротвердость получаемых хромовых покрытий (H_μ) и скорость осаждения (h), при этом рабочая температура электролита была в предельно максимальных значениях 30–35 °С.

Результаты получились следующие: выход хрома по току наблюдался с незначительными колебаниями (в среднем 48,5±1 %), при микротвердости осадков в зависимости от плотности тока 8500÷11500 МПа (рис. 1, кривая 1 и 2), скорость осаждения хрома изменялась от 100 до 400 мкм/ч (рис. 1, кривая 3). Важно заметить, что при этих условиях электролиза значения выхода по току и микротвердости существенно не изменяются. Эти данные позволяют предположить, что разработанный электролит обладает высокой кроющей и рассеивающей способностью. Это открывает перспективы его

применения для размерного хромирования, как в гальваностегии, так и в гальванопластике [7, 8].

Проведенными исследованиями также было установлено, что при электролизе на постоянном токе из разрабатываемого электролита в широком диапазоне катодной плотности тока $D_k = 75 \dots 200$ А/дм² наблюдается не только сохранение высокого выхода хрома по току до 49 %, но и повышение микротвердости до 11500 МПа при более высоких рабочих температурах (рис. 2), чем у базового электролита. Так,

при температуре 30–35 °С наблюдаются постоянные значения выхода хрома по току ($48,5 \pm 1$ %), а микротвердость осадков составляет 8500...11500 МПа. При этом скорость осаждения хрома в зависимости от D_k изменяется в пределах от 100 до 400 мкм/ч [7, 8, 9].

Полученные результаты исследований хромовых осадков хрома, с помощью разработанного электролита при анализе электрокристаллизации получаемых осадков показали зависимость качества хромовых осадков от режимов осаждения хрома (рис. 3).

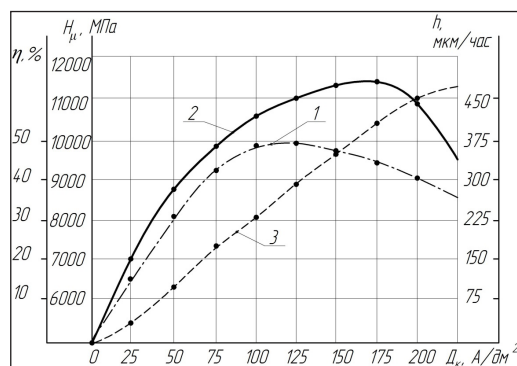


Рис. 1. Влияние значений катодной плотности постоянного тока на выход хрома по току – 1, микротвердость покрытий – 2 и скорость их осаждения – 3, при температуре 30–35 °С (осажденного следующего состава электролита: CrO_3 – 420; CaCO_3 – 50, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 и HF – 0,8)

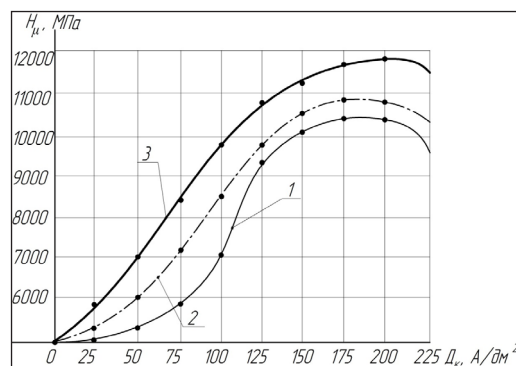


Рис. 2. Влияние катодной плотности постоянного тока на микротвердость покрытий при температуре 35 °С для электролитов: 1 – базовый, 2 – с добавкой $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л и HF – 0,8 г/л, 3 – $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 10 г/л и HF – 0,8

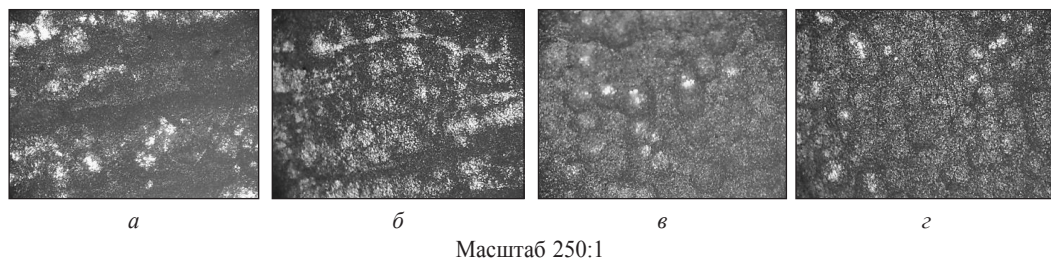


Рис. 3. Микроструктура осадков хрома из исследуемого электролита в зависимости от значений различной катодной плотности тока: а – 75 А/дм²; б – 150 А/дм²; в – 200 А/дм²; г – 250 А/дм²

Из рис. 3 видно, что при увеличении катодной плотности тока образуются более мелкозернистые по структуре покрытия с образованием на поверхности большого количества «микросфероидов (глобул)». Так, при уменьшении катодной плотности тока ниже 100 А/дм^2 при рабочей температуре электролита $18\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$ количество глобул на единицу площади поверхности уменьшается, их размеры увеличиваются, а трещиноватость уменьшается (рис. 3, а, б). При повышении рабочей температуры больше $38\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ плотность глобул, как при плотности тока больше 200 А/дм^2 , растет, количество микротрещин увеличивается, при этом по краям покрываемого образца количество дендритов растет (рис. 3, в, г).

В результате приведенных результатов исследований можно заключить, что для получения качественных хромовых покрытий из разработанного электролита необходимо, чтобы был использован соответствующий состав и режимы осаждения [10]:

1. Состав г/л: хромовый ангидрид – 420...450; карбонат кальция – 50...70, сульфат никеля – 10, сульфат кобальта – 10 и плавиковая кислота – 0,65...0,9.

2. Режим: температура электролита $18\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$, катодная плотность тока $75\text{--}200 \text{ А/дм}^2$.

Обеспечение данных условий осаждения хромового покрытия позволит получить качественные покрытия толщиной более 200 мкм со скоростью $100\text{--}400 \text{ мкм/ч}$, с выходом по току $46\text{--}50 \%$ и микротвердостью $8500\text{--}11500 \text{ МПа}$. Это делает возможным использовать данный электролит при восстановлении деталей

автомобилей и дорожно-строительных машин.

Цитированная литература

1. Котомчин, А. Н. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 1(71). – С. 84–97.

2. Котомчин, А. Н. Интенсификация процесса электролитического хромирования при восстановлении и упрочнении деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3(70). – С. 22–32.

3. Котомчин, А. Н. Анализ электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, Ю. Г. Ляхов. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2017. – № 3(57). – С. 113–119.

4. Котомчин, А. Н. Сравнительная характеристика электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 7. – С. 50–55.

5. Котомчин, А. Н. Анализ электролитов хромирования, используемых в Германии / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIV Международной научно-технической конференции, Вологда, 10 декабря 2019 года. –

Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. – С. 60–67.

6. Котомчин, А. Н. Установка для поддержания рабочей температуры электролитов при восстановлении деталей машин гальваническими покрытиями / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 500–511.

7. Котомчин, А. Н. Использование износостойкого хромирования при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей / А. Н. Котомчин, А. Ф. Синельников, Н. И. Корнейчук. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1(64). – С. 11–17.

8. Kotomchin, A. N. Study of High-Performance Chromium Electrolyte for Restoration of Automobile and Road-Construction Machinery Parts / A. N. Kotomchin, V. A. Zorin // 2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex,

TIRVED 2021 – Conference Proceedings, Moscow, 11–12 ноября 2021 года. – Moscow, 2021.

9. Котомчин, А. Н. Усовершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании / А. Н. Котомчин. – Текст : непосредственный // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12–13 мая 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. – С. 525–529.

10. Патент № 2762695 С1, Россия, МПК С25D3/04. Способ электролитического хромирования : № 2020138102; Заявл. 20.11.2020; Опубл. 22.12.2021. Бюл. № 36. / Котомчин А. Н., Зорин В. А., Синельников А. Ф. – 7 с. : ил. – Текст : непосредственный.

УДК 621.3.054.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЭП ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕЙ СЕТИ МОЛДАВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

К. В. Гайдей, Д. А. Зайцев

Целью работы является исследование режимов молдавской энергосистемы с применением ЛЭП повышенной пропускной способности, сравнение режимов энергосистемы с классическими линиями и с линиями нового поколения. Поставленная цель достигается внедрением управляемых самокомпенсирующихся воздушных линий (УСВЛ) в молдавскую энергосистему. В RastrWin 3 был проведен сравнительный анализ режимов со стандартными ВЛ и с УСВЛ.

Ключевые слова: ЛЭП повышенной пропускной способности, УСВЛ, молдавская энергосистема, линии нового поколения, RastrWin 3.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF HIGH-CAPACITY TRANSMISSION LINES IN THE BACKBONE NETWORK OF THE MOLDAVIAN POWER SYSTEM

K. V. Gaidei, D. A. Zaitsev

The aim of the work is to study the modes of the Moldavian energy system using high-capacity transmission lines, to compare the modes of energy systems with classical new lines and generation lines. This goal is included in the controlled self-compensating overhead lines in the moldavian energy system. In RastrWin3, a comparative analysis of models with standard overhead lines and with CSCOL was carried out.

Keywords: High-capacity transmission line, CSCOL, moldavian power system, new generation, RastrWin 3.

Основу системы передачи электрической энергии от производящих ее электрических станций, до крупных районов электропотребления или распределительных узлов ЭЭС составляют развитые сети электропередач или отдельные электропередачи внутрисистемного и межсистемного значения (системообразующие сети) и питающие сети напряжением 330 кВ и выше.

До настоящего времени проблема увеличения пропускной способности линий электропередачи с неизолированными ста-

леалюминевыми проводами в основном решалась следующими способами:

- замена проводов на большие поперечные сечения;
- расщепление фазы;
- строительство дополнительных воздушных линий;
- повышение номинального напряжения.

В настоящее время существуют более технологичные способы повышения пропускной способности линий электропередачи и снижения потерь в энергосистеме. Их можно разделить на две группы:

1. Снижение потерь путем внедрения управляющих систем (так называемых FACTS контроллеров) на распределительных подстанциях.

2. Снижение потерь путем модернизации линий электропередачи, строительство компактных и управляемых ЛЭП.

Под пропускной способностью линии электропередачи понимают активную или полную мощность, которая длительно может передаваться с учетом технических ограничений. К таким ограничениям относятся:

а) предел передаваемой мощности (предел линии), учитывающий устойчивость параллельной работы электрических станций и узлов нагрузки;

б) допустимая сила тока по нагреванию проводников;

в) допустимая потеря напряжения;

г) пропускная способность концевых и промежуточных устройств (трансформаторов, выключателей, устройств продольной компенсации и др.);

д) вынужденные уставки релейной защиты.

Проектирование линий электропередачи проводят обычно таким образом, чтобы ограничения г) и д) не были решающими.

Если генераторы удаленной станции и работающие в системе оснащены регуляторами возбуждения сильного действия, позволяющими поддерживать постоянными заданные напряжения U_1 и U_2 (рис. 1)

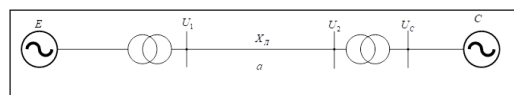


Рис. 1. Схема линии электропередачи

по концам линии, то предел передаваемой мощности (предел линии) будет равен:

$$P_{\text{пр}} = \frac{U_1 U_2}{X_{\text{л}}}$$

На основании этой формулы можно использовать следующие проектные пути увеличения пропускной способности системы электропередачи за счет воздействия на ее часть – линию электропередачи:

1. Повышение номинального напряжения линии.

2. Уменьшение индуктивного сопротивления линии.

3. Применение продольной компенсации реактивного сопротивления линии.

Кроме того, существуют и другие методы повышения пропускной способности линий электропередачи:

1) применение управляемых источников реактивной мощности (ИРМ) на промежуточных подстанциях;

2) увеличение площади сечения проводов воздушных линий (ВЛ) электропередачи;

3) применение меньших площадей сечений одиночных проводов в расщепленной фазе при неизменной площади сечения фазы;

4) применение проводов с развитой поверхностью;

5) применение меньших площадей сечений одиночных проводов в расщепленной фазе при неизменной площади сечения фазы;

6) применение изолированных (покрытых) проводов воздушных линий;

7) прокладка дополнительных параллельных линий;

8) применение глубоких вводов [1, с. 2–4].

Мы рассмотрим способ повышения пропускной способности ЛЭП путем их замены на управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии (УСВЛ).

дуть в процессе работы изменение (регулирование) угла сдвига между векторами напряжений цепей (θ) от 0° до 120° (или до 180°), в зависимости от требуемых параметров режима работы электропередач [2, с. 1–3].

Управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии электропередач

Стоит отметить, что наряду с компактными ВЛ к современным компактным линиям также относятся УСВЛ. Их главным отличием является то, что попарное сближение фаз происходит для разных цепей, соответственно: A1 и A2, B1 и B2, C1 и C2 (рис. 2) – это позволяет произво-

При необходимости регулировка угла (θ) может быть осуществлена как плавно, так и дискретно. Для плавной регулировки потребуется установка фазопоротных устройств (ФПУ), которые могут совмещать в себе функции как трансформаторов, так и автотрансформаторов. Дискретное регулирование является более простым, но вместе с тем не менее

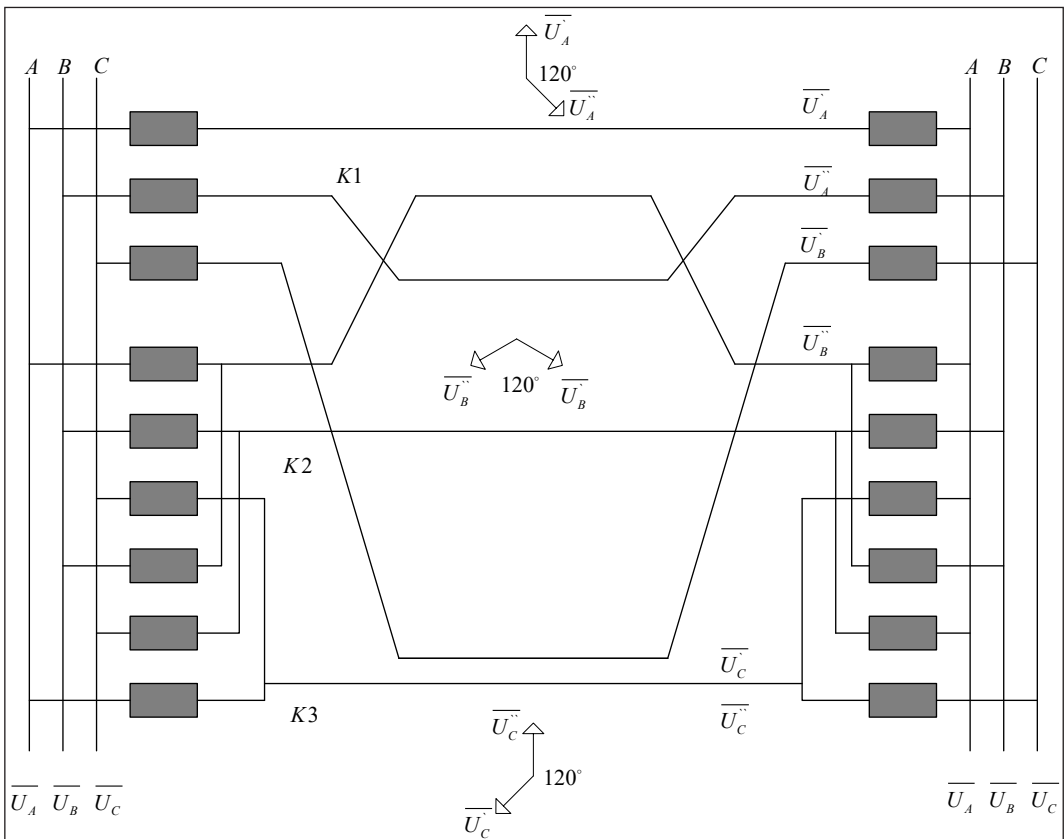


Рис. 2. Схема УСВЛ с дискретным регулированием угла

эффективным, при нем может обеспечиваться два режимных состояния УСВЛ (при $\theta = 0^\circ$ или при $\theta = 120^\circ$). Такое регулирование может быть осуществлено путем соответствующего переключения фаз на подстанциях, к которым присоединена УСВЛ. [3, с. 2].

Условия проведения и результаты эксперимента

Задачи эксперимента – замена наиболее важных для электроснабжения республиканской энергосистемы воздушных линий электропередачи на линии повышенной пропускной способности и сравнение параметров режима работы энергосистемы до и после замены для выяснения целесообразности внедрения ЛЭП повышенной пропускной способности в республиканскую энергосистему.

Для эксперимента были выбраны следующие воздушные линии: двухцепная ВЛ МГРЭС 330 – Кишинев 330, двухцепная отпайка на ХБК 330, Кишинев 330 – Страшены 330 – Бельцы 330 – ГрСЭСВЭ 330 (граничный узел между молдавской и украинской энергосистемами). Эти ВЛ являются системообразующими для приднестровской и молдавской энергосистем.

На основе характеристик выбранных ЛЭП было принято решение заменить воздушные линии классического исполнения на УСВЛ.

Расчет параметров УСВЛ проводился в программе Mathcad. Расчет режимных параметров энергосистемы было решено проводить в программном комплексе RastrWin 3, а сравнительный анализ режимов в Microsoft Excel.

Анализ режимных параметров проводился в 2015 году на примере режимов минимальных нагрузок (летнего) и максимальных нагрузок (зимнего).

Сравнение режимов минимальных нагрузок в исходной схеме и в схеме с внедрением ЛЭП повышенной пропускной способности

Основные параметры режима минимальных нагрузок для энергосистемы Молдовы с классическими ВЛ и УСВЛ представлены в табл. 1, где $P_{ген.}$ (МВт) – это генерация активной мощности в энергосистеме, $Q_{ген.}$ (МВАр) – генерация реактивной мощности, $P_{наг.}$ (МВт) – потребление активной мощности в энергосистеме, $Q_{наг.}$ (МВАр) – потребление реактивной мощности, ΔP (МВт), ΔQ (МВАр) – потери активной и реактивной мощности соответственно, $P_{вн}$ (МВт) – внешний переток в системе, $\Delta P_{лэп}$ (МВт) – потери активной мощности в линиях электропередачи.

На диаграммах рис. 3 и 4, построенных согласно табл. 1, видно, что в минимальном режиме потери активной мощности в исходной схеме составляют 6,68 МВт, что составляет 1,34 % от потребляемой мощности в энергосистеме, а в схеме с применением УСВЛ 6,54 МВт, что составляет 1,3 %, что на 0,04 % меньше, чем с применением ЛЭП классической конструкции.

В табл. 2 и 3 представлены режимные параметры исследуемых ЛЭП в летний период: $U_{нач.}$ (кВ) и $U_{кон.}$ (кВ) – это напряжение в начале и в конце линии, $P_{нач.}$ (МВт), $P_{кон.}$ (кВ) – активная мощность в начале и в конце линии, $Q_{нач.}$ (МВАр), $Q_{кон.}$ (МВАр) –

Таблица 1

Режимные параметры минимального режима молдавской энергосистемы

Тип ЛЭП	$P_{ген.}$ (МВт)	$Q_{ген.}$ (МВАр)	$P_{наг.}$ (МВт)	$Q_{наг.}$ (МВАр)	ΔP (МВт)	ΔQ (МВАр)	$P_{вн}$ (МВт)	$\Delta P_{лэп}$ (МВт)
Классические ЛЭП	710	271	501	282	10,72	-240,52	197	6,68
УСВЛ	710	261	501	282	10,58	-222,79	198	6,54

Таблица 2

Режимные параметры минимального режима исследуемых ВЛ классической конструкции

ЛЭП	$U_{нач}$ (кВ)	$P_{нач}$ (МВт)	$Q_{нач}$ (МВАр)	$\delta_{нач}$ (град.)	$U_{кон}$ (кВ)	$P_{кон}$ (МВт)	$Q_{кон}$ (МВАр)	$\delta_{кон}$ (град.)	ΔP (МВт)
МГРЭС330 – Отп. ХБК-1	349,5	76	25	-0,2	349,7	76	16	-0,4	0,36
МГРЭС330 – Отп. ХБК-2	349,5	76	21	-0,2	349,7	76	12	-0,4	0,35
Отп.ХБК-1 – Кишинев330	347,8	51	33	-1	349,7	51		-0,4	0,1
Отп.ХБК-2 – Кишинев330	347,8	52	37	-1	349,7	52	4	-0,4	0,06
Кишинев330 – Страшены330	347,8	44	-36	-1,0	345,8	44	-53	-1,2	0,07
Страшены330 – Бельцы330	345,8	13	39	-1,2	339,8	12	80	-1,3	0,18
Бельцы330–ГрсЭСВЭ330	332,9	3	-98	-1,1	339,8	3	-65	-1,3	0,21
Отп. ХБК – ХБК330	349,8	24	-10	-0,5	349,7	24	-16	-0,4	
Отп. ХБК – ХБК330	349,8	25	-11	-0,5	349,7	25	-17	-0,4	

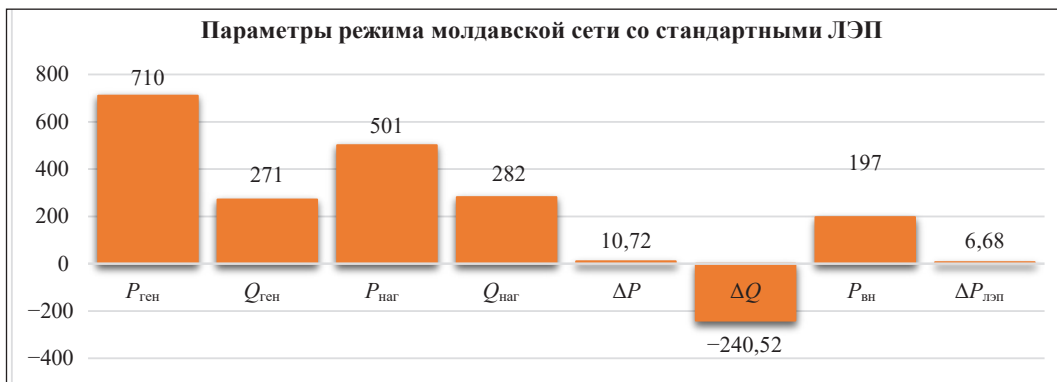


Рис. 3. Диаграммы сравнения режимов Молдовы с применением стандартных ЛЭП в летний период

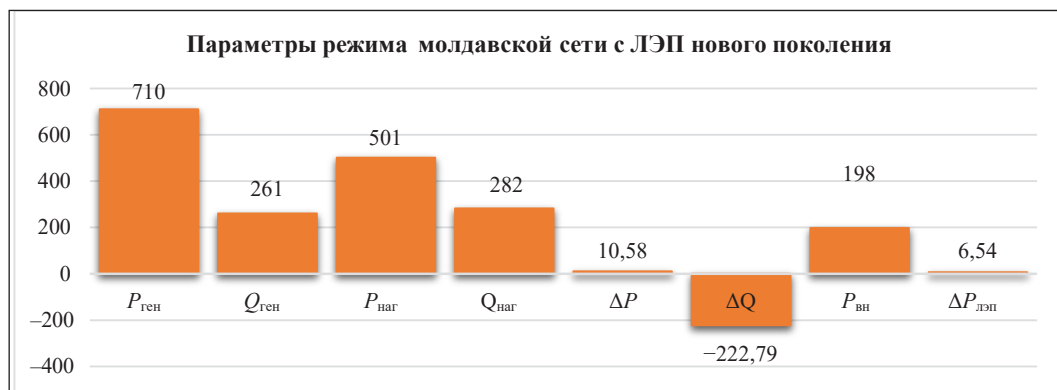


Рис. 4. Диаграммы сравнения режимов Молдовы с применением ЛЭП нового поколения в летний период

реактивная мощность, $\delta_{\text{нач}}$ (град.), $\delta_{\text{кон}}$ (град.) – фазовые углы в начале и конце ЛЭП, ΔP (МВт) – потери активной мощности в линии.

Из данных, приведенных в таблицах 2 и 3 видно, что происходят потери активной мощности 0,36 МВт в самой нагруженной линии, что составляет 0,5 % от протекающей мощности при использовании классических ВЛ, однако при использовании УСВЛ при той же мощности в линии, потери составляют уже 0,05 МВт, что является 0,06 %.

На диаграммах рис. 5 и 6, построенных согласно таблице 4, видно, что в максимальном режиме потери активной мощ-

ности составляют 12,92 МВт (1,45 %) в схеме с классическими ЛЭП и 12,29 МВт (1,38 %) в схеме с УСВЛ.

Из данных, приведенных в табл. 5 и 6 видно, что наибольшая активная мощность (273 МВт) течет по линии Бельцы330 – ГрСЭСВЭ330 при этом потери активной мощности составляют 2,37 МВт (0,9 % от протекающей мощности использования классических ВЛ), когда при использовании УСВЛ при мощности в линии 211 МВт потери составляют 1,4 МВт (0,6 %).

По табл. 7 видно, что в основном потери активной мощности в УСВЛ меньше в среднем вдвое, чем в ВЛ классического исполнения.

Таблица 3

Режимные параметры минимального режима исследуемых ВЛ повышенной пропускной способности

ЛЭП	$U_{\text{нач}}$ (кВ)	$P_{\text{нач}}$ (МВт)	$Q_{\text{нач}}$ (МВАр)	$\delta_{\text{нач}}$ (град.)	$U_{\text{кон}}$ (кВ)	$P_{\text{кон}}$ (МВт)	$Q_{\text{кон}}$ (МВАр)	$\delta_{\text{кон}}$ (град.)	ΔP (МВт)
МГРЭС330 – Отп. ХБК-1	349,5	-73	35	-0,2	349,8	-73	24	-0,4	0,06
МГРЭС330 – Отп. ХБК-2	349,5	-77	29	-0,2	349,8	-77	18	-0,4	0,04
Отп.ХБК-1 – Кишинев330	348,3	48	34	-0,9	349,8	48	-6	-0,4	0,09
Отп.ХБК-2 – Кишинев330	348,3	52	37	-0,9	349,8	52	-1	-0,4	0,06
Кишинев330 – Страшены330	348,3	-36	-35	-0,9	345,2	-36	-45	-1,3	0,05
Страшены330 – Бельцы330	345,2	-7	-33	-1,3	336,6	-7	-58	-1,4	0,10
Бельцы330–ГрСЭСВЭ330	328,1	-5	66	-1,1	336,6	-5	47	-1,4	0,10
Отп. ХБК – ХБК330	349,9	26	-10	0,5	349,8	26	-18	0,4	0,01
Отп. ХБК – ХБК330	349,9	25	-10	0,4	349,8	25	-17	0,4	0,01

Таблица 4

Режимные параметры максимального режима Молдавской энергосистемы

Тип ЛЭП	$P_{\text{ген}}$ (МВт)	$Q_{\text{ген}}$ (МВАр)	$P_{\text{наг}}$ (МВт)	$Q_{\text{наг}}$ (МВАр)	ΔP (МВт)	ΔQ (МВАр)	$P_{\text{вы}}$ (МВт)	$\Delta P_{\text{лэп}}$ (МВт)
Классические ЛЭП	892	418	891	320	17,61	-246,71	-17	12,92
УСВЛ	892	410	890	319	16,96	-226,37	-15	12,29

Таблица 5

Режимные параметры максимального режима исследуемых ВЛ классического исполнения

ЛЭП	$U_{нач}$ (кВ)	$P_{нач}$ (МВт)	$Q_{нач}$ (МВАр)	$\delta P_{нач}$ (град.)	$U_{кон}$ (кВ)	$P_{кон}$ (МВт)	$Q_{кон}$ (МВАр)	$\delta P_{кон}$ (град.)	ΔP (МВт)
МГРЭС330 – Отп. ХБК-1	349	-70	40	3,5	349,5	70	32	3,3	0,06
МГРЭС330 – Отп. ХБК-2	349	-69	38	3,5	349,5	69	29	3,3	0,03
Отп. ХБК-1 – Кишинев330	348,7	15	25	3,1	349,5	15	-8	3,3	0,01
Отп. ХБК-2 – Кишинев330	348,7	16	27	3,1	349,5	16	-6	3,3	0,01
Кишинев330 – Страшены330	348,7	90	-47	3,1	347,2	90	-63	3,7	0,2
Страшены330 – Бельцы330	347,2	187	-32	3,7	345,5	189	-64	6,8	1,75
Бельцы330 – ГрЭСВЭ330	342,8	-273	76	10,7	345,5	-271	58	6,8	2,37
Отп. ХБК – ХБК330	349,6	55	-18	3,1	349,5	55	-24	3,3	0,02
Отп. ХБК – ХБК330	349,7	52	-16	3,1	349,5	52	-22	3,3	0,02

Таблица 6

Режимные параметры максимального режима исследуемых ВЛ повышенной пропускной способности

ЛЭП	$U_{нач}$ (кВ)	$P_{нач}$ (МВт)	$Q_{нач}$ (МВАр)	$\delta P_{нач}$ (град.)	$U_{кон}$ (кВ)	$P_{кон}$ (МВт)	$Q_{кон}$ (МВАр)	$\delta P_{кон}$ (град.)	ΔP (МВт)
МГРЭС330 – Отп. ХБК-1	349,0	-89	54	2,9	349,6	-89	43	2,6	0,10
МГРЭС330 – Отп. ХБК-2	349,0	-92	49	2,9	349,6	-92	38	2,6	0,06
Отп. ХБК-1 – Кишинев330	349,0	35	23	2,2	349,6	35	-18	2,6	0,04
Отп. ХБК-2 – Кишинев330	349,0	40	24	2,2	349,6	40	-15	2,6	0,03
Кишинев330 – Страшены330	349,0	43	-37	2,2	346,3	43	-47	2,8	0,07
Страшены330 – Бельцы330	346,3	131	-19	2,8	343,4	132	-36	6,8	0,85
Бельцы330 – ГрЭСВЭ330	340,5	-211	35	12,1	343,4	-210	33	6,8	1,40
Отп. ХБК – ХБК330	349,8	54	-17	2,5	349,6	54	-25	2,6	0,02
Отп. ХБК – ХБК330	349,7	52	-16	2,5	349,6	52	-23	2,6	0,02

Таблица 7

Сравнение потерь активной мощности в исследуемых линиях

ЛЭП	ΔP (МВт)	ΔP ПП (МВт)	ΔP (МВт)	ΔP ПП (МВт)
	Лето		Зима	
МГРЭС330 – Отп. ХБК-1	0,36	0,06	0,06	0,10
МГРЭС330 – Отп. ХБК-2	0,35	0,04	0,03	0,06
Отп. ХБК-1 – Кишинев330	0,1	0,09	0,01	0,04
Отп. ХБК-2 – Кишинев330	0,06	0,06	0,01	0,03
Кишинев330 – Страшены330	0,07	0,05	0,2	0,07
Страшены330 – Бельцы330	0,18	0,10	1,75	0,85
Бельцы330 – ГрЭСВЭ330	0,21	0,10	2,37	1,40
Отп. ХБК – ХБК330		0,01	0,02	0,02
Отп. ХБК – ХБК330		0,01	0,02	0,02

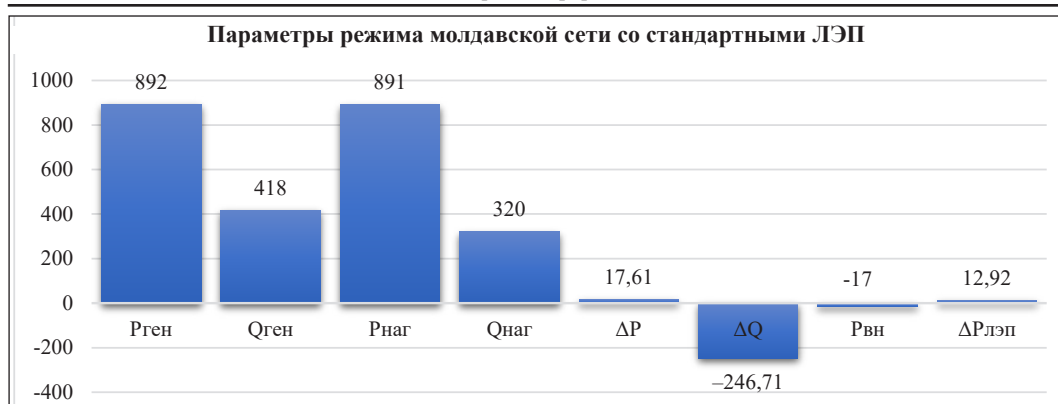


Рис. 5. Диаграммы сравнения режимов Молдовы с применением стандартных ЛЭП в зимний период

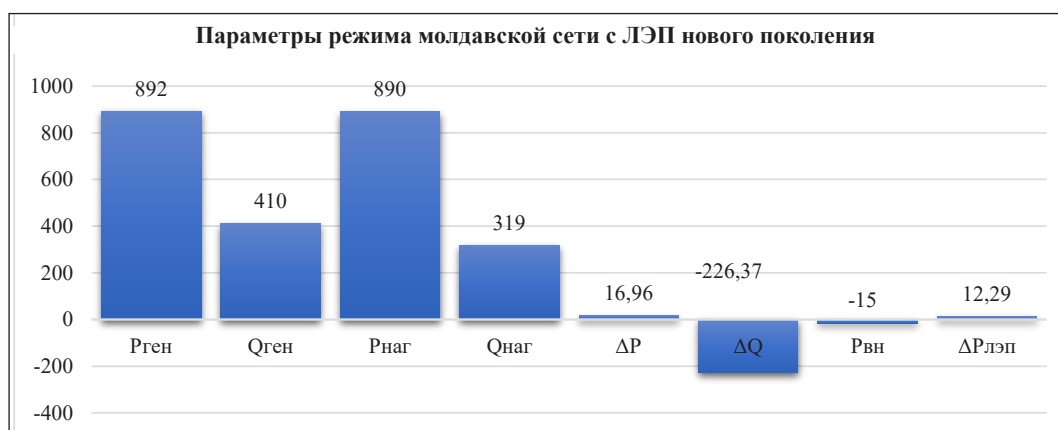


Рис. 6. Диаграммы сравнения режимов Молдовы с применением ЛЭП нового поколения в зимний период

Выводы

Внедрение ВЛ нового поколения позволяет снизить потери и изменить режим работы воздушной линии, это положительно сказывается на режиме работы энергосистемы в целом, уменьшая потери активной мощности в воздушных линиях молдавской энергосистемы.

Таким образом, в минимальном режиме потери активной мощности в исходной схеме составляют 6,68 МВт, а в схеме с применением УСВЛ 6,54 МВт,

что на 2,1 % меньше, чем с применением ЛЭП классической конструкции; в максимальном режиме потери активной мощности составляют 12,92 МВт в схеме с классическими ЛЭП и 12,29 в схеме с УСВЛ.

Из этого следует, что эффект от внедрения УСВЛ лучше проявляется при больших нагрузках, т. е. чем больше перетоки активной мощности в ЛЭП, тем выше эффективность применения ЛЭП повышенной пропускной способности.

Цитированная литература

1. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А. А. Герасименко. – URL: <https://inlnk.ru/4yugbm3> (дата обращения: 18.12.2021). – Текст : электронный.

2. Методические подходы к выбору вариантов линий электропередачи нового поколения на примере ВЛ – 220 кВ / В. М. Постолатий,

Б. В. Быкова, В. М. Суслов [и др.]. – Текст : непосредственный // Проблемы региональной энергетики. – 2010. – № 2 (13). – С. 1–18.

3. Управляемые компактные линии электропередачи высокого напряжения / В. М. Постолатий, Е. В. Быкова, В. М. Суслов [и др.]. – Текст : электронный // Проблемы региональной энергетики. – 2016. – № 1 (30). – С. 1–13. – URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/11_01_30_2016.pdf (дата обращения: 9.01.22)

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. С. Аншаков, М. В. Киорсак

Показано обоснование внедрения систем мониторинга для предотвращения большинства случаев отказов электрооборудования. Разработанная система диагностики позволяет дистанционно, в режиме онлайн оценить техническое состояние силового трансформаторного оборудования, своевременно выявить изменения технического состояния и своевременно провести профилактическое обслуживание и ремонт, продлевая срок эксплуатации трансформатора.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, обнаружение дефектов, инфракрасная термография, мониторинг на основе состояния.

RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF THE METHODOLOGY FOR EVALUATING THE TECHNICAL CONDITION OF POWER TRANSFORMERS BASED ON INFRARED RADIATION

V. S. Anshakov, M. V. Kiorsak

The paper shows the rationale for the introduction of monitoring systems in terms of rotation of the majority of failures of electrical equipment. The developed system of diagnostics allows remotely, in an online mode to estimate a technical condition of the power transformer equipment, to reveal in time the begun changes of a technical condition and to lead timely preventive maintenance and repair, prolonging term of operation of the transformer.

Keywords: power transformers, defect detection, infrared thermography, condition-based monitoring.

Энергетические компании сталкиваются со значительным давлением, тре-

бующим минимизации эксплуатационных расходов и повышения надежности энергосистемы, и, следовательно, обязаны непрерывно поставлять потребителям

качественную электроэнергию и услуги. Одним из способов снижения эксплуатационных расходов энергокомпаниями является продление срока службы устаревшего сетевого оборудования, находящегося в эксплуатации, особенно силовых трансформаторов. Перерывы в электроснабжении оказывают существенное влияние на эффективность работы технологических установок. Возникает значительный материальный ущерб из-за простоя технологических процессов, порчи продукции и т. д. Это дополняется высокими финансовыми расходами и вопросами безопасности, касающимися отказов и непредвиденных отключений подачи энергии.

Трансформатор, находящийся в эксплуатации, обычно со временем стареет, поскольку подвергается различным динамическим нагрузкам и факторам окружающей среды, в результате он теряет способность выдерживать внешние эксплуатационные нагрузки и системные сбои. Среди прочего вспомогательного оборудования сердечник, втулки, переключатели отводов и обмотки силовых трансформаторов, по-видимому, имеют более длительный срок службы, поскольку их старение происходит чрезвычайно медленно. Следовательно, вопросы производительности и срока службы силового трансформатора, пропитанного маслом, зависят от состояния системы бумажной изоляции, срок службы которой ограничен [1]. Как правило, трансформаторы рассчитаны на работу в сети более 40 лет [2]. Поскольку хороший парк трансформаторов по всему миру уже превысил проектный срок службы, необходимо отслеживать эксплуатационные нагруз-

ки, чтобы определить, когда обстоятельства складываются так, что может произойти неожиданный отказ. Если возникающая неисправность трансформатора обнаружена до того, как она приведет к полному отказу, трансформатор может обслуживаться в соответствии со стратегиями обслуживания.

Техническое обслуживание или другие профилактические меры могут быть организованы для устранения проблемы до того, как она перерастет в более катастрофические недостатки [3], путем постоянного мониторинга состояния оборудования и выявления любых отклонений, которые обычно ограничивают срок службы силовых трансформаторов.

Использование инфракрасных методов для оценки технического состояния трансформаторов

Тепловые измерения применяются для выявления повышения температуры в обмотке трансформатора и изоляционных средах. Традиционный метод тепловизионного мониторинга заключается в измерении верхней температуры масла и оценке температуры горячей точки. Когда трансформатор работает, тепло, выделяемое обмотками и сердечником, циркулирует с маслом. Более горячее масло поступает в верхнюю часть бака и охлаждается, после этого стекает вниз, на дно бака. Физическое явление, заключающееся в том, что любой трансформатор с температурой выше абсолютного нуля ($-273,15$ °C) испускает электромагнитное излучение. Сила и спектральный состав испускаемого телом излучения неразрывно связаны с его поверхностью. Вычисле-

ние интенсивности излучения объекта может быть использовано для определения его температуры бесконтактным методом [4]. Программное обеспечение тепловизора позволяет продиагностировать работу трансформатора за определенный период, определить нарушение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора, витковые замыкания в обмотках встроенных трансформаторов тока, недостатки вводов и контактных соединений токоведущих частей. Ненормальные данные, такие как неисправность системы охлаждения, ток короткого замыкания либо плохой контакт соединения, можно отслеживать в режиме онлайн [5].

Прежде чем выбрать инфракрасную камеру, необходимо изучить множество факторов, поскольку способность создавать четкое и точное тепловизионное изображение сильно зависит от этих критериев производительности [6]. Несколько ключевых факторов рассматриваются далее.

1. Спектральный диапазон – это область инфракрасного спектра, в которой будет работать инфракрасная камера. Тепловое излучение, генерируемое предметом, становится более концентрированным за более короткие полосы длин волн при повышении его температуры. Для наблюдения объектов при температуре окружающей среды предпочтителен длинноволновый диапазон (7,5–14 мкм). Это связано с двумя факторами: во-первых, тела при комнатной температуре излучают в основном на этих длинах волн; во-вторых, измерения, проведенные в некоторых из этих диапазонов длин волн, не подвержены влиянию солнечного излучения (с точно-

стью для измерений на открытом воздухе), поскольку солнечное излучение в основном находится в относительно коротких диапазонах длин волн. Рекомендуется использовать коротковолновую (2–5 м) технологию [7, с. 2].

2. Температурное разрешение относится к незначительным колебаниям температуры, наблюдаемым инфракрасной камерой в поле зрения. Температура объекта, температура окружающей среды в помещении, расстояние от объекта до камеры, фильтры и другие экспериментальные факторы – все это влияет на температурное разрешение.

3. Лазерная указка с пространственным разрешением и сменный объектив, чтобы видеть, куда направлен объектив камеры, и предотвратить тесный контакт с горячими участками. Можно менять линзы в соответствии с требованиями.

4. Диапазон температур определяет значения температуры, которые инфракрасная камера может обнаружить на самом высоком и самом низком уровнях. Температура обычно колеблется от 20 до 500 °С. Для расширения содержимого до 1700 °С могут использоваться различные фильтры [8].

5. Количество кадров, получаемых инфракрасной камерой каждую секунду, и частота кадров. Камеры с более высокой частотой кадров часто предпочтительнее для мониторинга информации о движении или динамических событиях, таких как распространение тепловых фронтов. Стандартная частота кадров составляет 50 Герц (Hz) [8].

6. Точность, с которой тепловизионная камера измеряет температуру, отража-

ется на ее точности. Усовершенствованная тепловизионная камера обеспечивает измерения с точностью до 1 процента (%) [8, с. 27].

Основные превосходства тепловизионной диагностики заключаются в дальнейшем:

- тепловизионный контроль проводится на работающем оборудовании дистанционно, без снятия напряжения с токоведущих частей, при этом не только измеряются температуры отдельных точек, но и отслеживается всеобщая картина теплового режима электрооборудования;

- диагностика занимает маленький временной отрезок;

- данный вид диагностики позволяет выявить недостаток на ранней стадии его развития (рис. 1).

Также у этого метода есть и недочеты. Невзирая на его результативность при его надлежащем исполнении, испытания проводятся только на плановой основе. Больше того, в связи с тем, что вся проверка неукоснительно должна проводиться в непосредственной близости от работающего электрооборудования, персонал находится в зоне риска.

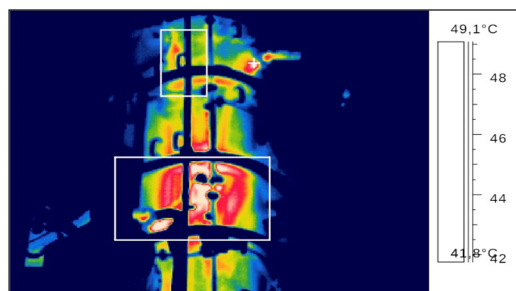


Рис. 1. Локальный нагрев в верхней части силового трансформатора

Разработка систем мониторинга технического состояния силовых трансформаторов

Обеспечение постоянного автоматизированного обзора технического состояния систем передачи и распределения электроэнергии служит главнейшим звеном в процессе создания электрических сетей нового поколения – интеллектуальных (smart grids).

Такой комплекс предназначен для регистрации разной информации о параметрах оборудования и его комбинированных элементов, условиях их эксплуатации и пр., а также для выполнения обзора состояния оборудования на основе полученных данных.

Одним из наиболее существенных преимуществ на основе мониторинга технического состояния силовых трансформаторов является минимальное количество необходимого оборудования. Оборудование включает в себя тепловизионную камеру, штатив или платформу для камеры и устройства вывода видеосигнала для отображения собранных инфракрасных тепловизионных изображений.

Следует подметить, что стоимость системы мониторинга основного оборудования составляет около 5–8 % от стоимости электросетевого объекта. Рассматривая сокращение расходов, связанное с плановыми и аварийными ремонтами оборудования, можно сказать, что срок окупаемости таких систем не превышает пяти лет [6]. Впрочем, даже при таких сроках окупаемости и довольно умеренной стоимости экономическая (а изредка и техническая) возможность установки системы мониторинга на каждом объекте подстанции

нередко отсутствует, особенно на подстанции в маленьких городах либо поселках. В таких случаях отличной альтернативой подсистеме мониторинга, связанной с оценкой состояния электросетевого оборудования, может служить система анализа данных технической диагностики и испытаний и/или любой доступной информации об электросетевом оборудовании, полученной в ходе его эксплуатации.

В данной работе под системой мониторинга подразумевается именно оценка технического состояния основного электрооборудования, без контроля подсистем общесистемных средств управления (релейной защиты и противоаварийной автоматики, регистрации аварийных событий и процессов контроля качества электроэнергии и т. п.).

Для контроля состояния энергетического оборудования Инжиниринго-

вая компания «Flir Systems» предлагает систему тепловизионного мониторинга «ViperVision» (рис. 2). Она позволяет в стационарном режиме собирать температурные данные с элементов распределительных устройств, автоматически предупреждая об их перегреве еще на ранней стадии происхождения недостатка.

Полученные тепловые снимки отображаются на компьютере, что позволяет рассчитать конкретную температуру объекта, не прикасаясь к нему. Настраиваемый дисплей можно настроить таким образом, чтобы отображалась только необходимая информация и данные, важные для вашего процесса. Полученные тепловизионные изображения часто имеют псевдоцветовую кодировку, что делает интерпретацию более простой и быстрой [7].

Оборудование включает в себя тепловизионную камеру, штатив или платформу

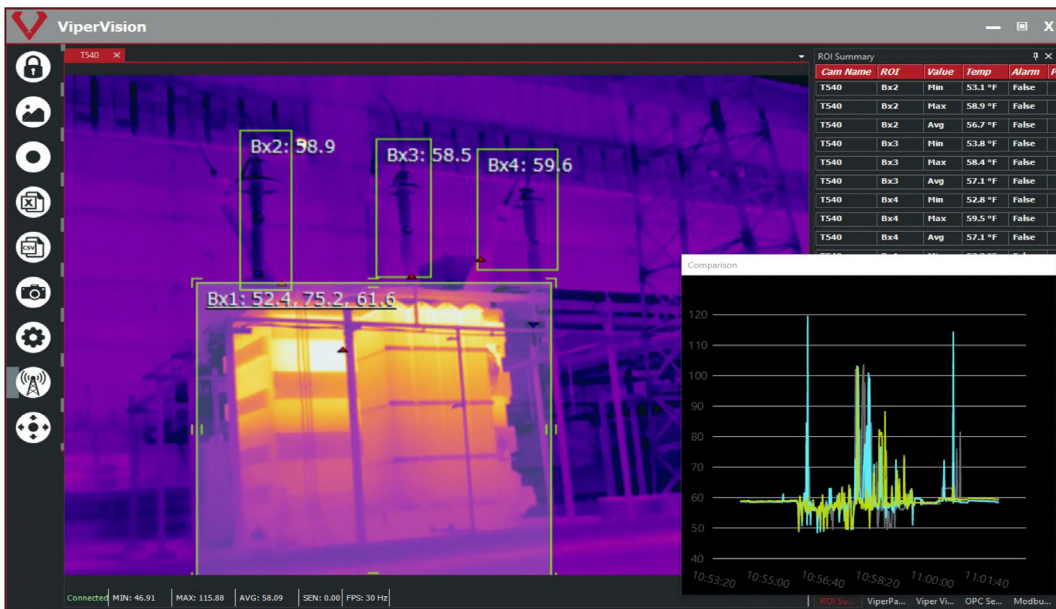


Рис. 2. Система тепловизионного мониторинга «ViperVision»

для камеры и устройства вывода видеосигнала для отображения собранных инфракрасных тепловизионных изображений для таких приложений. Инфракрасные камеры прошли через три поколения с момента их создания [9].

Функционал системы тепловизионного мониторинга:

- удаленный тепловизионный контроль;
- удаленное видеонаблюдение измерительных приборов и оцифровка состояний элементов оборудования методом машинного зрения:
- автоматизированный осмотр по расписаниям;
- анализ данных осмотра для прогнозирования нарушений;
- оповещение об отклонениях, свидетельствующих о технологических нарушениях.

Результат от внедрения:

- снижение расходов на устранение технологических нарушений и повышение надежности работы оборудования;
- снижение эксплуатационных издержек;
- полный контроль за состоянием основного оборудования, наравне с энергично внедряемыми системами мониторинга.
- предупреждение случаев обнаружения определенных недостатков на оборудовании.

Работа автоматизированной системы осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения, поддерживающего одновременную стабильную круглосуточную работу нескольких тепловизионных камер, запись

полученных данных в видеоформате и его обработку в реальном времени, а также поддержку внешних устройств. Мониторинг осуществляется автоматически средствами видеонаблюдения, встроенным в систему умственным обзором разделений температурных полей (термоаналитики). На основании полученных данных с тепловизионных полей, система сопоставляет показатели с вышезаданными параметрами и в случае превышения показателей выдает сигнал тревоги в систему сбора и обработки информации. Сигнал тревоги по системе передачи данных, по оптоволоконным линиям связи передается на существующий сервер для записи, а также отображает сигнал тревоги в АРМе с выводом на экран термограммы проблемного объекта (рис. 3).

Восприимчивость тепловизора и качество изображения дает возможность локализовать перегрев до $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, осуществлять тепловизионные испытания электрооборудования при значениях токов линий, гораздо отличающихся от номинальных значений, при этом условия испытаний различаются по температуре окружающей среды, скорости ветра, габаритам объектов и т. п.

Возможность установки тепловизионного оборудования для круглосуточного контроля энергетической техники является значительным шагом в целях бесперебойного безаварийного электроснабжения. Использование отечественной системы автоматической сигнализации на основе круглосуточного тепловизионного слежения позволит диагностировать проблемы на ранних стадиях их происхождения.

Выбор аппаратуры для системы тепловизионного мониторинга

Для внедрения системы тепловизионного мониторинга рассмотрим Приднестровское Государственное унитарное предприятие «ГК Днестрэнерго» (ГУП «ГК Днестрэнерго»), которое обслуживает высоковольтные подстанции и электрические сети напряжением 35–330 кВ в ПМР. Для диагностики электрооборудования и поиска локальных нагревов «Днестрэнерго» использует традиционный метод тепловизионного контроля, с применением тепловизоров Flir-T620 (рис. 4).

В связи с цифровизацией энергосетевых компаний и промышленных предприятий внедрим систему тепловизионного мониторинга для понизительной подстанции, находящейся на балансе ГУП «ГК Днестрэнерго» (рис. 5).

Технологическая нагрузка подстанции запитана от двух трансформаторов ТРДН–40000/110/10/6. Трансформатор 1Т по нормальной схеме подключен к ВЛ 110 кВ «Кировская». Трансформатор 2Т подключен по нормальной схеме к ВЛ 110 кВ «ХБК».

На рис. 5 приведен пример расположения технических средств системы тепловизионного мониторинга на подстанции ГУП «ГК Днестрэнерго».

Рассмотрим выбор основной аппаратуры для системы мониторинга на подстанции «Слободская».

Благодаря использованию автоматизированных тепловизионных камер и инновационного программного обеспечения, ViperVision и ее партнеры разработали системы мониторинга, которые обеспечивают

раннее предупреждение о надвигающихся отказах оборудования. Так, для одного трансформатора должно быть минимум 3 стационарных тепловизора – со стороны высокого, среднего и низкого напряжения. На основании вышеуказанных данных, для системы мониторинга силовых трансформаторов на ПС Слободская необходимо 6 стационарных тепловизоров. Для нашей системы мониторинга предпочтем тепловизор ThermoVision A20M (рис. 6).

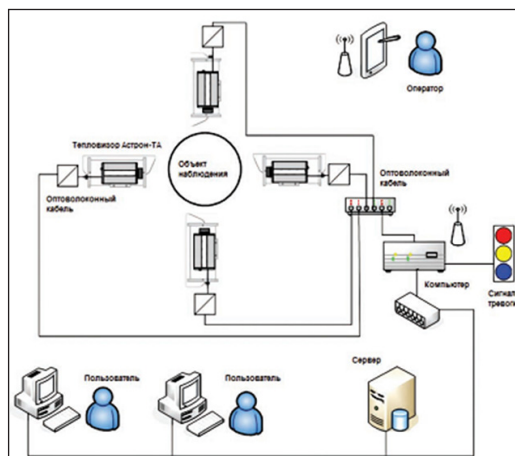


Рис. 3. Схема взаимосвязей системы тепловизионного мониторинга «ViperVision»



Рис. 4. Тепловизор Flir T620



Рис. 5. Пример расположения технических средств системы тепловизионного мониторинга на подстанции ГУП «ГК Днестрэнерго»



Рис. 6. Тепловизор ThermoVision A20M

Стационарный тепловизор ThermoVision A20M – С его помощью пользователь может измерять даже небольшие перепады температур в $0,12^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от -20 до 900°C и получать четкие инфракрасные изображения с высоким разрешением (160×120 пикселей) при полной частоте кадров 50/60 Гц.

Полностью настроенные функции ввода и вывода камеры A20M позволяют быстро и легко интегрировать ее в лю-

бую систему управления или использовать в качестве автономного устройства. Оператор имеет полную свободу в программировании и определении аварийных сигналов. Например, если температура в зоне, находящейся в поле зрения камеры, поднимается выше или опускается ниже установленного значения, работает тревога.

Оценка эффективности внедрения системы тепловизионного мониторинга силовых трансформаторов

В текущее время собран обширный статистический материал, подтверждающий высокую экономическую эффективность внедрения систем тепловизионного мониторинга. Так, по данным американского исследовательского центра ARC Advisory Group, 1 час незапланированного простоя обходится для предприятия в среднем в 1477,42 у. е. [10].

Согласно локальному сметному расчету на монтаж системы тепловизионного мониторинга на подстанции Слободская, стоимость внедрения системы тепловизионного мониторинга составила 37360,92 у. е.

Рассмотрим производительность использования системы тепловизионного мониторинга на примере трансформатора ТРДН 40000/110/10/6, установленного на подстанции Слободская, ГУП «ГК Днестрэнерго».

Время неподготовленного ремонта на 250 % больше нормального времени ремонта, соответственно, трудозатраты в 2,5 раза выше, простой оборудования также

в 2,5 раза выше. При условии, что намеченный ремонт составит 1 смену – 8 часов для бригады из 5 человек, то из-за увеличения времени простоя потери составят на 1220 у. е. больше, а потери по стоимости трудозатрат (стоимость чел/ч – 5,1 у. е., и взамен 203 у. е. получаем 509 у. е.) составят 305,8 у. е.

Хранение полного комплекта запасных комплектующих к оборудованию на складе (заморозка денежных средств, потеря примерно 3030 у. е./год).

Замена заведомо исправных деталей и узлов составляет для данного агрегата от 7136 до 12234 у. е. в год.

Формула для убытков от простоя оборудования в денежном выражении:

$$Q = (X \cdot t \cdot 2,5 - X \cdot t) + (Y \cdot t \cdot 2,5 \cdot A - Y \cdot t \cdot A) + P \cdot Z,$$

где Q – общие потери; $X = 9164,3$ у. е. – простой оборудования, $Y = 5,1$ у. е./ч – трудозатраты; $A = 5$ чел. – количество членов ремонтной бригады; C – стоимость чел/ч; $P = 3030$ у. е. – хранение запчастей; $Z = 7136$ у. е. – замена исправных деталей; $t = 8$ ч. – время; 2,5 – коэффициент, учитывающий увеличение простоя (по соображениям выше).

Убытки от простоя оборудования в денежном выражении:

$$Q = (9164,3 \cdot 8 \cdot 2,5 - 9164,3 \cdot 8) + (5,1 \cdot 8 \cdot 2,5 \cdot 5 - 5,1 \cdot 8 \cdot 5) + 3030 + 7136 = 120\,443 \text{ у. е. / год.}$$

Экономия средств от внедрения системы тепловизионного мониторинга на данном трансформаторе с учетом того, что за год происходило не больше одного внепланового останова, составляет 120 443 у. е / год.

Срок окупаемости при внедрении системы тепловизионного мониторинга стоимостью 37 360,92 у. е составит:

$\text{ТОК} = 37\,360 / 120\,443 = 0,31$ года либо приблизительно 3,72 месяца.

Если установить такие системы тепловизионного мониторинга по каждому подстанциям, то экономический результат увеличится в разы.

Заключение

Разработанная система диагностики позволяет дистанционно, в режиме онлайн оценить техническое состояние силового трансформаторного оборудования, своевременно выявлять начавшиеся изменения технического состояния и своевременно проводить профилактическое обслуживание и ремонт, продлевая срок эксплуатации трансформатора.

При внедрении системы тепловизионного мониторинга состояния силовых трансформаторов экономия средств от внедрения с учетом того, что за год происходило не больше одного внепланового отключения, составляет 120 443 у. е. /год. Следовательно, срок окупаемости при внедрении системы тепловизионного мониторинга стоимостью 37 360,92 у. е. составит приблизительно 3,72 месяца.

Эффект показывает, что выгоднее предотвратить возникновение дефектов и осуществлять профилактику электрооборудования, чем в дальнейшем его ремонтировать или оплачивать простои, ведь это может быть связано с серьезными финансовыми и трудовыми затратами предприятия.

По результатам расчетов целесообразна практическая реализация перехода

от планово-профилактического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию.

Цитированная литература

1. Характерные неисправности вводов и методы их устранения. – URL: <https://energoboard.ru/information/379/> (дата обращения: 18.03.2023). – Текст : электронный.

2. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения: ГОСТ 20415-82: утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам 30.12.80. – Москва, 1980. – 6 с. – Текст : непосредственный.

3. Федосенко, Р. Я. Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения / Р. Я. Федосенко, А. Я. Мельников. – Москва : Энергия, 1977. – 320 с. – Текст : непосредственный.

4. Thermography Theory–Physical Basics|InfraTec GmbH. – URL : <https://www.infratec.eu/thermography/servicesupport/glossary/theory/> (дата обращения 9.03.2023). – Текст : электронный.

5. Классификация высоковольтных вводов. – URL : <http://electrospb.ru/01-klassifikacija-vysokovoltnyh-vvotov> (дата

обращения: 18.03.2023). – Текст : электронный.

6. Костинский, С. С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / С. С. Костинский. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Энергетика. – № 1. – 2018.

7. ГОСТ 27675–88. Приборы тепловизионные. Термины и определения. – Текст : непосредственный.

8. Непомнящий, В. А. Экономические потери от нарушения электроснабжения потребителей / В. А. Непомнящий. – Москва : МЭИ, 2010. – Текст : непосредственный.

9. Lahiri, B. B. Medical applications of infrared thermography: A review / B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jaya-kumar, J. Philip // *Infrared Phys. Technol.* 2012, 55, С. 221–235. [CrossRef] [Pub-Med].

10. Шонин, Ю. П. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт силовых масляных трансформаторов / Ю. П. Шонин, В. Я. Путилов. – Москва : МЭИ, 2013. – 760 с. – Текст : непосредственный.

11. L, Su «Обнаружение вибрации трансформатора на основе оптического потока на фоне высокой доли доступа к возобновляемым источникам энергии», Su L., H. Huang, L. Qin and W. Zhao // *Frontiers in Energy Research*, vol. 10, Article ID 764903, 2022.

УДК: 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШЕСТИ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ДВУХЦЕПНОЙ ЛЭП

Р. С. Григорьев, М. В. Киорсак, Н. Н. Туртурика

Анализируется использование метода шести симметричных составляющих для расчета несимметричных коротких замыканий (КЗ) на двухцепных линиях электропередачи. Рассмотрены теоретические основы разложения несимметричной шестифазной системы токов (напряжений) на шесть симметричных составляющих. Показано преимущество использования метода шести симметричных составляющих для расчета несимметричных КЗ на двухцепных линиях электропередачи (ЛЭП) перед хорошо известным методом трех симметричных составляющих.

Ключевые слова: *двухцепная линия электропередачи, несимметричные короткие замыкания, метод шести симметричных составляющих.*

USING THE METHOD OF SIX SYMMETRIC COMPONENTS TO CALCULATE ASYMMETRIC SHORT CIRCUITS ON A TWO-CHAIN POWER LINE

R. S. Grigoriev, M. V. Kiorsak, N. N. Turturika

This article is devoted to the use of the method of six symmetrical components for the calculation of asymmetric short circuits (short circuits) on two-chain power transmission lines. The theoretical foundations of the decomposition of an asymmetric six-phase system of currents (voltages) into six symmetrical components are considered. The advantage of using the method of six symmetrical components for calculating asymmetric short circuits on two-chain power transmission lines (transmission lines) over the well-known method of three symmetrical components is shown.

Keywords: *two-chain power transmission line, asymmetric short circuits, method of six symmetrical components.*

Использование известного метода трех симметричных составляющих 0, 1, 2 для расчета несимметричных коротких замыканий, возникающих между цепями двухцепной ЛЭП не приводит к полной диагонализации матрицы пассивных параметров двухцепной ЛЭП. В связи с этим необходимо учитывать взаимоиндукцию между схемами замещения нулевой последовательности цепей двухцепной ЛЭП,

что усложняет расчет. Использование для расчета несимметричных коротких замыканий, возникающих между цепями двухцепной ЛЭП, метода шести симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5 позволяет полностью диагонализировать матрицу ее пассивных параметров и вести расчет по отдельным схемам замещения шести симметричных составляющих, не связанных между собой взаимоиндукцией. Это упрощает расчет и с учетом появления конкретных несимметричных КЗ

определенных симметричных составляющих позволяет создать эффективную и чувствительную релейную защиту.

Теоретические основы метода шести симметричных составляющих

Согласно [1] любую несимметричную шестифазную систему векторов токов (напряжений), возникающих при несимметричных КЗ, можно разложить на шесть симметричных составляющих:

$$\dot{F}_S = \dot{S}_6^{-1} * \dot{F}, \quad (1)$$

где:

$$\dot{S}_6^{-1} = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j60^\circ} & e^{j120^\circ} & e^{j180^\circ} & e^{j240^\circ} & e^{j300^\circ} \\ 1 & e^{j120^\circ} & e^{j240^\circ} & 1 & e^{j120^\circ} & e^{j240^\circ} \\ 1 & e^{j180^\circ} & 1 & e^{j180^\circ} & 1 & e^{j180^\circ} \\ 1 & e^{j240^\circ} & e^{j120^\circ} & 1 & e^{j240^\circ} & e^{j120^\circ} \\ 1 & e^{j300^\circ} & e^{j240^\circ} & e^{j180^\circ} & e^{j120^\circ} & e^{j60^\circ} \end{vmatrix}$$

– матрица перехода от шестифазной матрицы токов (напряжений) \dot{F} в фазных координатах к матрице токов (напряжений) \dot{F}_S в координатах симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5, обратной матрице

$$\dot{S}_6 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j300^\circ} & e^{j240^\circ} & e^{j180^\circ} & e^{j120^\circ} & e^{j60^\circ} \\ 1 & e^{j240^\circ} & e^{j120^\circ} & 1 & e^{j240^\circ} & e^{j120^\circ} \\ 1 & e^{j180^\circ} & 1 & e^{j180^\circ} & 1 & e^{j180^\circ} \\ 1 & e^{j120^\circ} & e^{j240^\circ} & 1 & e^{j120^\circ} & e^{j240^\circ} \\ 1 & e^{j60^\circ} & e^{j120^\circ} & e^{j180^\circ} & e^{j240^\circ} & e^{j300^\circ} \end{vmatrix}$$

перехода от шестифазных симметричных составляющих к фазным координатам:

$$\dot{F} = \dot{S}_6 \times \dot{F}_6. \quad (2)$$

Здесь

$$\dot{F} = \begin{vmatrix} \dot{F}_A \\ \dot{F}_B \\ \dot{F}_C \\ \dot{F}_D \\ \dot{F}_E \\ \dot{F}_F \end{vmatrix} \quad \text{и} \quad \dot{F}_S = \begin{vmatrix} \dot{F}_{A0} \\ \dot{F}_{A1} \\ \dot{F}_{A2} \\ \dot{F}_{A3} \\ \dot{F}_{A4} \\ \dot{F}_{A5} \end{vmatrix}$$

матрицы шестифазных токов (напряжений) двухцепной ЛЭП в фазных координатах А, В, С, D, E, F и в координатах шести симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5.

На рис. 1 представлены соответствующие симметричные составляющие 0, 1, 2, 3, 4, 5 токов (напряжений) несимметричной шестифазной системы токов (напряжений).

Если рассматривать двухцепную линию электропередачи как шестифазную линию с порядком чередования фаз А, А', В, В' и С, С', матрица ее фазных продольных пассивных параметров может быть представлена в виде:

$$\dot{Z} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{AA} & \dot{Z}_{AA'} & \dot{Z}_{AB} & \dot{Z}_{AB'} & \dot{Z}_{AC} & \dot{Z}_{AC'} \\ \dot{Z}_{A'A} & \dot{Z}_{A'A'} & \dot{Z}_{A'B} & \dot{Z}_{A'B'} & \dot{Z}_{A'C} & \dot{Z}_{A'C'} \\ \dot{Z}_{BA} & \dot{Z}_{BA'} & \dot{Z}_{BB} & \dot{Z}_{BB'} & \dot{Z}_{BC} & \dot{Z}_{BC'} \\ \dot{Z}_{B'A} & \dot{Z}_{B'A'} & \dot{Z}_{B'B} & \dot{Z}_{B'B'} & \dot{Z}_{B'C} & \dot{Z}_{B'C'} \\ \dot{Z}_{CA} & \dot{Z}_{CA'} & \dot{Z}_{CB} & \dot{Z}_{CB'} & \dot{Z}_{CC} & \dot{Z}_{CC'} \\ \dot{Z}_{C'A} & \dot{Z}_{C'A'} & \dot{Z}_{C'B} & \dot{Z}_{C'B'} & \dot{Z}_{C'C} & \dot{Z}_{C'C'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z} & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z} & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z} & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z} & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z} & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z} \end{bmatrix} \quad (3)$$

в предположение полного цикла транспозиции между фазами цепей двухцепной ЛЭП.

В матрице (2) по главной диагонали расположены собственные сопротивления фаз

$$\dot{Z} = R + 0,145 \lg \frac{D_3}{r_c} + L_{\text{вн}},$$

а симметрично относительно главной диагонали расположены взаимные полные сопротивления между фазами собственных цепей $\dot{Z}_M = j628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_3}{d_{\text{соб}}}$,

разных цепей $\dot{Z}_M = j628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_3}{d_{\text{раз}}}$

и между одноименными фазами цепей

$$\dot{Z}_M = j628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_3}{d_{\text{одн}}}.$$

Здесь R – активное удельное сопротивление фаз ЛЭП, D_3 – эквивалентная глубина возврата тока через землю, r_v – эквивалентный радиус проводов фаз, $L_{\text{вн}}$ – внутренняя индуктивность фаз, $d_{\text{соб}}$, $d_{\text{раз}}$ и $d_{\text{одн}}$ – среднегеометрическое расстояние соответственно между собственными, разноименными и одноименными фазами двухцепной ЛЭП.

В координатах шести симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5 матрица (2) будет: $\dot{Z}_6 =$

$$\dot{Z}_s S_6^{-1} \cdot \dot{Z} \cdot S_6 = \begin{bmatrix} \dot{z}_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{z}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{z}_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dot{z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{z}_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{z}_5 \end{bmatrix} \quad (4)$$

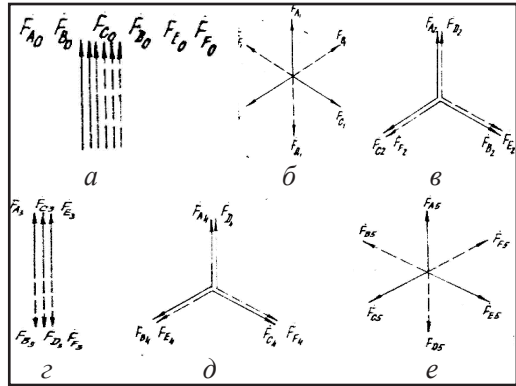


Рис. 1. Симметричные составляющие 0, 1, 2, 3, 4, 5 токов (напряжений) несимметричной шестифазной системы токов (напряжений): а – нулевой, б – первой, в – второй, г – третьей, д – четвертой, е – пятой последовательностей

Здесь

$$\begin{aligned} \dot{Z}_0 &= \dot{Z} + \dot{Z}_M + 2\dot{Z}_M + 2\dot{Z}_M; \\ \dot{Z}_1 &= \dot{Z} + \frac{1}{2}\dot{Z}_M - \dot{Z}_M - \frac{1}{2}\dot{Z}_M; \\ \dot{Z}_2 &= \dot{Z} - \frac{1}{2}\dot{Z}_M - \dot{Z}_M + \frac{1}{2}\dot{Z}_M; \\ \dot{Z}_3 &= \dot{Z} + \dot{Z}_M + 2\dot{Z}_M - 2\dot{Z}_M; \\ \dot{Z}_4 &= \dot{Z} - \frac{1}{2}\dot{Z}_M - \dot{Z}_M + \frac{1}{2}\dot{Z}_M; \\ \dot{Z}_5 &= \dot{Z} + \frac{1}{2}\dot{Z}_M - \dot{Z}_M - \frac{1}{2}\dot{Z}_M; \end{aligned} \quad (5)$$

– сопротивления двухцепной ЛЭП в координатах шестифазных симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5.

Активными схемами замещения двухцепной ЛЭП в координатах 0, 1, 2, 3, 4, 5 будут схемы замещения 2 и 4 последовательностей с эквивалентными ЭДС [2]: $\dot{E}_2 = \dot{E}_4 = \dot{E}_A$, \dot{E}_A , где – ЭДС фазы А. Диагональный вид матрицы позволяет рассматривать при несимметричных КЗ на ней вместо одной схемы замещения двухцепной ЛЭП в фазных координатах, где

все шесть фаз связаны между собой взаимоиндукцией, или трех схем замещения в координатах трех симметричных составляющих, где схемы замещения нулевой последовательности будут связаны между собой взаимоиндукцией, шесть схем замещения в координатах шести симметричных составляющих 0, 1, 2, 3, 4, 5, которые не связаны между собой взаимоиндукцией. Кроме этого, сопротивления $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_5$ и $\dot{Z}_2 = \dot{Z}_4$, что значительно упрощает расчет.

Использование метода шести симметричных составляющих для расчета несимметричных КЗ на двухцепной ЛЭП

На рис. 2 приведена однофазная схема двухцепной ЛЭП-110кВ при несимметричном коротком замыкании на ней в точке К первой цепи на расстояние $l = 30$ км от эквивалентной системы М (а) и расположение фаз на опоре (б) по рис. 3.

Полные схемы замещения двухцепной ЛЭП в координатах трех 0,1,2 и шести 0, 1, 2, 3, 4, 5 симметричных составляющих представлены на рис. 3 и 4. На рис. 4 сопротивления трехфазных эквивалентных систем М и N и трехфазных трансфор-

маторов приведены к координатам шести симметричных составляющих согласно [1] по формулам:

$$\left[\dot{Z}_{CM} \right]_{S_6}^{np.} = \dot{S}_6^{-1} \left[\dot{Z}_{CM} \right]^{np.} \dot{S}_6,$$

где

$$\dot{Z}_{CM} = \begin{bmatrix} \left[\dot{Z}_{CM} \right] & \left[\dot{Z}_{CM} \right] \\ \left[\dot{Z}_{CM} \right] & \left[\dot{Z}_{CM} \right] \end{bmatrix} \quad \dot{Z}_{CN} = \begin{bmatrix} \left[\dot{Z}_{CN} \right] & \left[\dot{Z}_{CN} \right] \\ \left[\dot{Z}_{CN} \right] & \left[\dot{Z}_{CN} \right] \end{bmatrix}$$

$$\left[\dot{Z}_{CN} \right]_{S_6}^{np.} = \dot{S}_6^{-1} \left[\dot{Z}_{CN} \right]^{np.} \dot{S}_6$$

– матрицы эквивалентных систем М и N в трехфазных координатах А, В, С.

При двухфазном КЗ между фазами В и С первой цепи двухцепной ЛЭП граничные условия в фазных координатах будут:

$$\dot{I}_{KA} = \dot{I}_{KA'} = \dot{I}_{KB'} = \dot{I}_{KC'} = 0; \quad \dot{I}_{KB} - \dot{I}_{KC} = 0 \quad (6)$$

Если взять симметричные составляющие фазы А за основу, в координатах трех симметричных 0, 1, 2 [3] и шести 0, 1, 2, 3, 4, 5 симметричных составляющих граничные условия (5) могут быть переписаны в виде:

$$\dot{I}_{A1} = -\dot{I}_{A2} \quad \text{и} \quad \dot{U}_{A2} - \dot{U}_{A1} = 0$$

– в координатах трех симметричных составляющих;

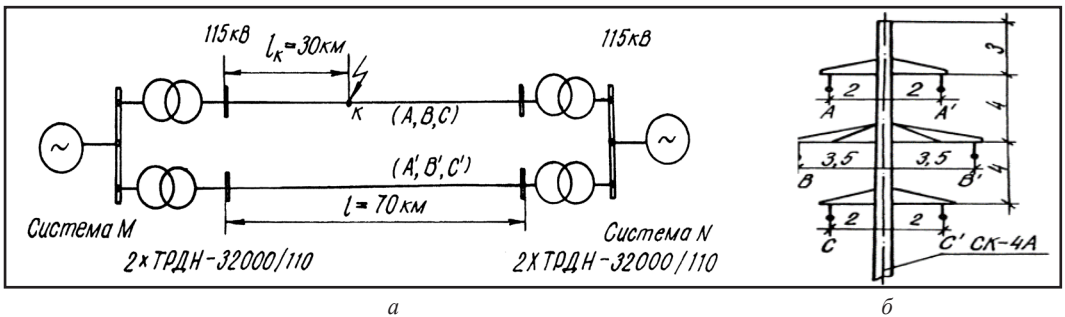


Рис. 2. Однофазная схема двухцепной ЛЭП-110кВ: а – при несимметричном коротком замыкании на ней в точке К; б – расположение фаз на опоре.

$$i_1 e^{j60^\circ} = i_4 = i_5 \text{ и } \dot{U}_1 + \dot{U}_4 + \dot{U}_5 = 0$$

– в координатах шести симметричных составляющих.

Из граничных условий в координатах трех и шести симметричных составляющих видно, что при данном КЗ расчет нужно вести методом трех симметричных составляющих только по схемам 1 и 2 последовательностей (рис. 3, б и в), а методом шести симметричных составляющих – только по схемам 1, 4 и 5 последовательностей (рис. 4, б и в).

Определив токи и напряжения соответствующих симметричных составляющих, легко можно найти токи и напряжения в фазных координатах. Методом трех симметричных составляющих – по известному матричному выражению $\dot{F} = \dot{S}_3 \dot{F}_S$, [3], а методом шести симметричных составляющих по (2). Аналогично могут быть получены граничные условия в фазных и трех и шести симметричных составляющих для однофазных и междуфазных КЗ разных цепей двухцепной ЛЭП. Результаты расчетов приведены в таблице.

Приведенные в таблице результаты расчета методом трех и методом шести симметричных составляющих показывают их хорошее совпадение и правомерность использования метода шести симметричных составляющих для расчета несимметричных КЗ на двухцепных ЛЭП.

На рис. 5 показана векторная диаграмма фазных токов и их шестифазных симметричных составляющих при двухфазном КЗ фаз В и С на двухцепной ЛЭП.

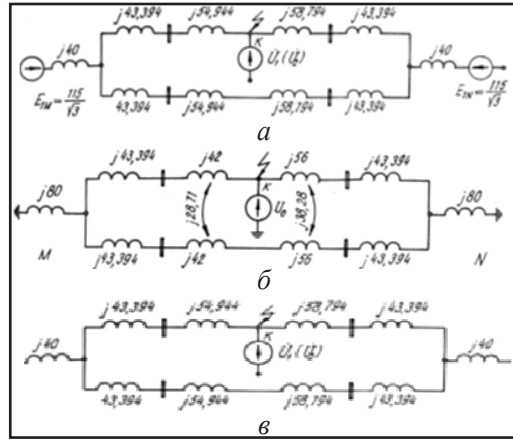


Рис. 3. Схемы замещения двухцепной ЛЭП-110кВ в координатах трех симметричных составляющих: а – нулевой, б и в – первой и второй последовательностей

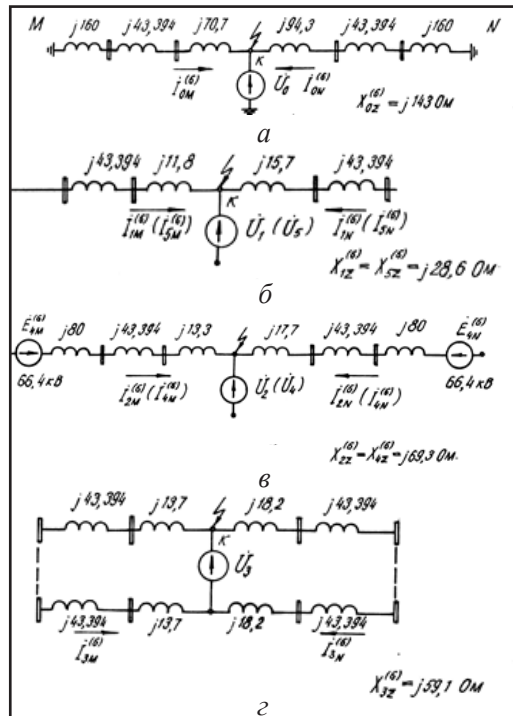


Рис. 4. Схемы замещения двухцепной ЛЭП в координатах шести 0, 1, 2, 3, 4, 5 симметричных составляющих: а – нулевой, б – первой (пятой), в – второй (четвертой) и г – третьей последовательностей

Результаты расчета методом трех и методом шести симметричных составляющих

Токи в фазах (кА)	Двухфазное КЗ между фазами В и С в точке К				Однофазное КЗ фазы А на землю в точке К				
	Со стороны сист. М		Со стороны сист. N		Со стороны сист. М		Со стороны сист. N		
	Методом 0, 1, 2 сост.	Методом 0, 1, 2, 3, 4, 5 сост.	Методом 0, 1, 2 сост.	Методом 0, 1, 2, 3, 4, 5 сост.	Методом 0, 1, 2 сост.	Методом 0, 1, 2, 3, 4, 5 сост.	Методом 0, 1, 2 сост.	Методом 0, 1, 2, 3, 4, 5 сост.	
I цепь	А	0	0	0	0	$2,558 e^{j90^\circ}$	$2,30 e^{j90^\circ}$	$1,182 e^{j90^\circ}$	$1,06 e^{j90^\circ}$
	В	$3,486 e^{j180^\circ}$	$3,30 e^{j180^\circ}$	$1,412 e^{j180^\circ}$	$1,340 e^{j180^\circ}$	0	$0,072 e^{j90^\circ}$	0	$0,072 e^{j90^\circ}$
	С	3,486	3,30	1,412	1,340	0	$0,072 e^{j90^\circ}$	0	$0,072 e^{j90^\circ}$
II цепь	А'	0	0	0	0	$0,132 e^{j90^\circ}$	$0,071 e^{j90^\circ}$	$0,132 e^{j90^\circ}$	$0,271 e^{j90^\circ}$
	В'	$0,524 e^{j180^\circ}$	$0,500 e^{j180^\circ}$	0,500	0,476	0	$0,072 e^{j90^\circ}$	0	$0,072 e^{j90^\circ}$
	С'	0,524	0,500	$0,500 e^{j180^\circ}$	$0,476 e^{j180^\circ}$	0	$0,0722 e^{j90^\circ}$	0	$0,072 e^{j90^\circ}$

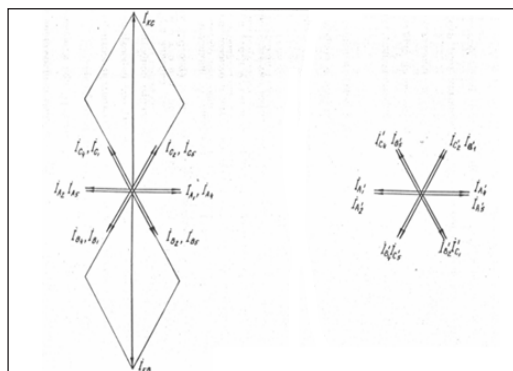


Рис. 5. Векторная диаграмма фазных токов и их шестифазных симметричных составляющих при двухфазном КЗ фаз В и С на двухцепной ЛЭП

Выводы

1. Использование для расчета несимметричных КЗ на двухцепных ЛЭП хорошо известного метода трех симметричных составляющих, не диагонализует полностью матрицу ее пассивных параметров. В связи с этим для расчета несимметричных КЗ на землю и между фазами разных цепей необходимо учесть взаимную индукцию между схемами замещения током нулевой последовательности цепей, что существенно усложняет расчет.

2. Использование метода шести симметричных составляющих для расчета

несимметричных КЗ на двухцепных ЛЭП позволяет полностью диагонализировать матрицу ее пассивных параметров и вести расчет любых несимметричных КЗ по схемам замещения линии отдельными последовательностями, не связанными между собой взаимной индукцией. Это облегчает и упрощает расчет.

Цитированная литература

1. Данеев, А. В. Расчет шестифазной линейной электрической цепи методом симметричных составляющих / А. В. Данеев, Р. А. Данеев, В. Н. Сизых. – Текст : электронный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 17–24. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-shestifaznoy-lineynoy-elektricheskoy-tsepi-metodom-simmetrichnyh-sostavlyayuschih/viewer> (дата обращения : 5.03.2023)
2. Киорсак, М. В. Комплексные схемы замещения для расчета сложных видов повреждений на шестифазных ЛЭП методом симметричных составляющих / М. В. Киорсак, Л. В. Туркуман, В. К. Сидельников. – Текст : непосредственный // Energetica Moldovei. Aspecte regionale de dezvoltare. – Кишинев : Технический университет Молдовы, 2012. – С. 286–288.

З. Киорсак, М. В. Методика оценки возможности перевода шестифазной ЛЭП в режим эксплуатации с неполным числом фаз / М. В. Киорсак, Н. Н. Туртурика. – Текст : элек-

тронный // Problemele Energeticii Regionale. – 2020. – № 1(45). – С. 51–58. – URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/05_01_45_2020.pdf (дата обращения : 6.03.2023).

УДК 621.316.727

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОТРАНСФОРМАТОРНОГО ФАЗОРЕГУЛЯТОРА, ВЫПОЛНЕННОГО ПО СХЕМЕ «ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА» С РЕГУЛИРОВАНИЕМ В НЕЙТРАЛИ

В. А. Доскалов, Д. А. Зайцев

Исследован однострансформаторный фазорегулятор по схеме «звезда–звезда» с регулированием в нейтрали. Разработана стратегия управления, обеспечивающая широкий диапазон фазового сдвига угла. Построена структурно-имитационная модель в Simulink/Matlab и проведены расчетные эксперименты на активную нагрузку, опыты холостого хода и короткого замыкания. Результаты показали эффективность предложенного решения и приемлемые показатели угла фазового сдвига и стабильности передаваемой активной мощности. Применение предлагаемого схемного варианта фазорегулятора позволяет существенно уменьшить количество «железа».

Ключевые слова: фазорегулирующий трансформатор, структурно-имитационная модель, анализ данных, ключи управления, опыты холостого хода, короткого замыкания и нагрузочного режима.

RESEARCH ON A SINGLE-TRANSFORMER PHASE SHIFTER MADE ACCORDING TO A DOUBLE-STAR DIAGRAM WITH REGULATION IN THE NEUTRAL

V. A. Doscalov, D. A. Zaitsev

A single-transformer phase shifter with star-star control in neutral is investigated. The control strategy providing wide range of phase angle shift has been developed. A structural-simulation model in Simulink/Matlab is built and design experiments on active load, no-load and short-circuit experiments are performed. The results showed the effectiveness of the proposed solution and acceptable indicators of the phase angle and stability of the transmitted active power. Application of the proposed schematic variant of the phase regulator allows to reduce significantly the amount of “iron”.

Keywords: phase-regulating transformer, structural-simulation model, data analysis, control switches, idling, short-circuit and load mode experience.

Управление продольной компенсации фазорегулирующим трансформатором является активной стратегией в сфере электроэнергетики, направленной на улучшение качества и эффективности переда-

чи и распределения электрической энергии. Фазорегулирующий трансформатор (ФРТ) является устройством, способным изменять величину и фазу напряжения в электрической сети, и его использование позволяет решать ряд проблем, связанных

с нестабильностью напряжения и потерями энергии [1, с. 25]. Однако для эффективного управления продольной компенсацией фазорегулирующим трансформатором требуется разработка и реализация оптимальных стратегий и алгоритмов. В последние годы были предложены и исследованы различные методы и подходы, направленные на оптимизацию работы ФРТ и достижение наилучших результатов в системе управления [2, с. 41–44; 3, с. 27–28]. Одним из основных направлений исследований в области управления ФРТ является использование интеллектуальных алгоритмов и систем. Например, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, адаптивные методы и экспертные системы активно применяются для оптимизации работы ФРТ и повышения эффективности системы управления [4, с. 15; 5, с. 19]. С помощью таких методов можно реализовать автоматизированную систему, способную адаптироваться к изменяющимся условиям и максимизировать производительность ФРТ. Целью данного исследования является разработка и анализ эффективных алгоритмов управления продольной компенсацией фазорегулирующим трансформатором с использованием интеллектуальных методов. Для достижения этой цели будут проведены исследования в области оптимизации работы ФРТ, разработка и анализ различных стратегий управления и исследование их воздействия на эффективность системы.

Проведение исследования

На рис. 1 показана исходная схема устройства.

На данном рисунке видно, что фазорегулирующий трансформатор находится в нагруженном режиме, а также к нему подключен параллельно конденсатор.

Исходные данные:

$$C_{12} = 98 \text{ мкФ};$$

$$R_n = 22,21 \text{ Ом}.$$

Как видно из рис. 1, от источника «ЗР–Source» выходит номинальный ток, на который рассчитан фазорегулирующий трансформатор – 13 А. Также на дисплее из мультиметров ток на первичной обмотке равен 6,5 А, так же как и на конденсаторе, что говорит о том, что УПК ФРТ работает верно.

Затем в табл. 1–4 покажем токи и напряжения каждой обмотки в каждом из 21 положений.

Далее рассчитаем полную мощность данного устройства. Воспользуемся формулой расчета полной мощности данного ФРТ.

$$S_{\text{ФРТ}} = \frac{|U_1||I_1| + |U_2||I_2| + |U_3||I_3|}{2}.$$

Проведем расчет и занесем результаты в табл. 5 и 6:

Проведем сравнительную характеристику с расчетными мощностями данного фазорегулирующего устройства и классического ФПТ. Анализ показан на рис. 2–5.

На рис. 3 построим напряжения в режиме УПК ФРТ.

На рис. 4 построим токи в режиме УПК ФРТ.

На рис. 5 покажем сравнительную характеристику.

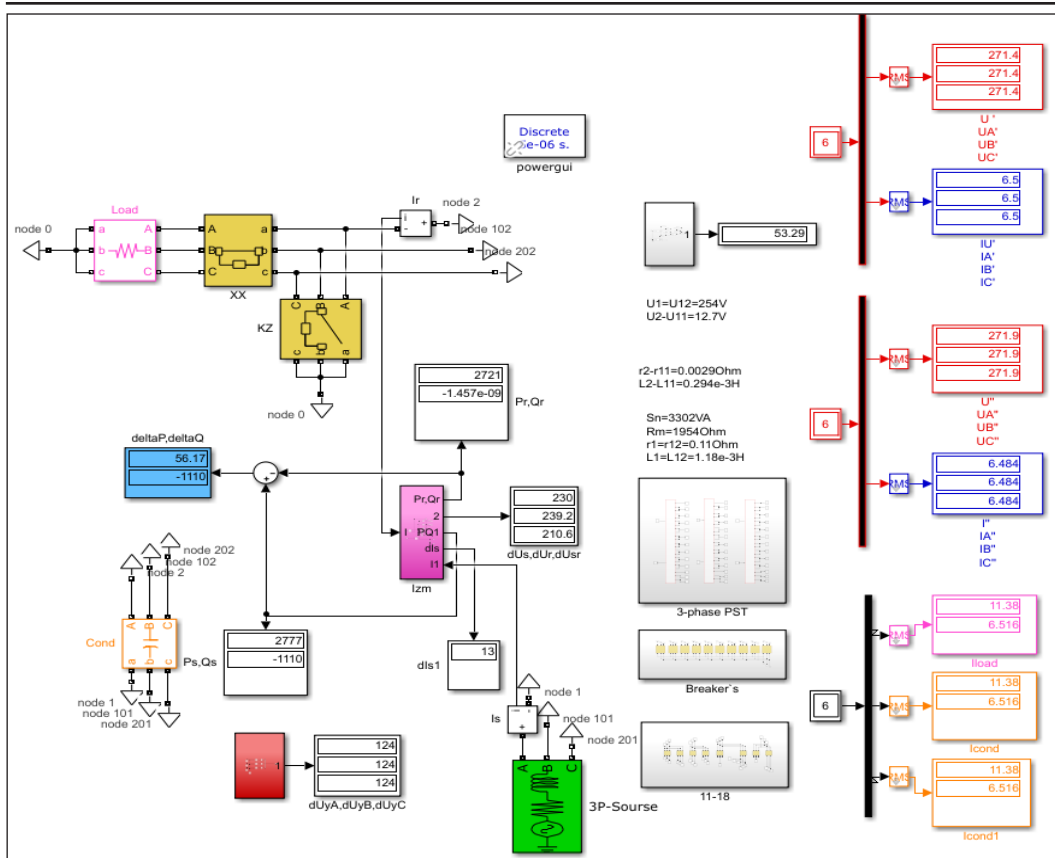


Рис. 1. Модель исследуемого фазорегулирующего трансформатора

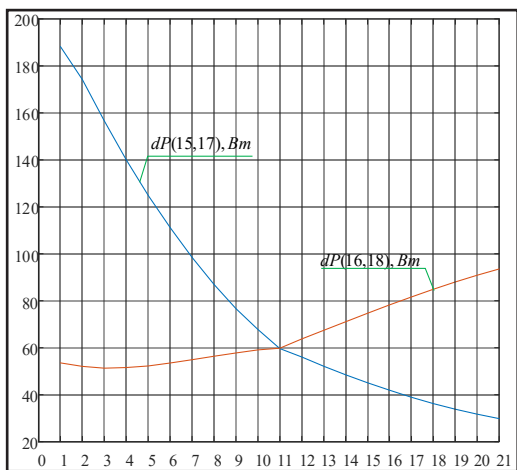


Рис. 2. Сравнение потерь активной мощности при нагрузочном режиме УПК ФРТ и обычного ФПТ

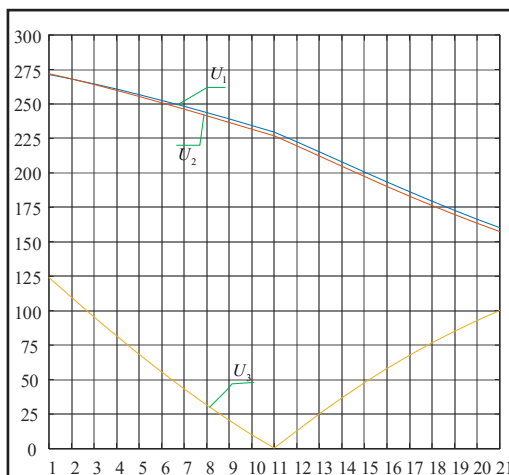


Рис. 3. Напряжения в режиме УПК ФРТ

Таблица 1

Токи каждой обмотки и конденсатора (начало)

Ток	Позиция	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
I1	A	6,5	6,5	6,7	7,1	7,6	8,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,1
I2	A	6,48	6,45	6,63	6,99	7,48	8,04	8,65	9,27	9,87	10,46	11,02
I3	A	12,98	12,96	13,31	13,95	14,78	15,68	16,58	17,42	18,16	18,79	19,31
Iс	A	6,5	5,74	4,97	4,22	3,49	2,79	2,12	1,48	0,87	0,31	0,27

Таблица 2

Токи каждой обмотки и конденсатора (конец)

Ток	Позиция	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
I1	A	11,8	12,4	13,1	13,7	14,2	14,7	15,1	15,5	15,9	16,3
I2	A	11,71	12,36	12,98	13,55	14,09	14,58	15,04	15,46	15,85	16,20
I3	A	19,98	20,53	20,96	21,27	21,48	21,59	21,63	21,59	21,5	21,35
Iс	A	0,96	1,63	2,27	2,87	3,43	3,95	4,45	4,9	5,33	5,72

Таблица 3

Напряжения каждой обмотки (начало)

Напряжение	Позиция	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
U1	B	271,3	268,1	264,5	260,7	256,7	252,6	248,2	243,7	239,1	234,3	229,5
U2	B	271,9	268,1	264,1	259,8	255,4	250,8	246,1	241,4	236,5	231,7	226,8
U3	B	124,0	109,7	95,5	81,7	68,3	55,5	43,2	31,5	20,4	9,9	0,4

Таблица 4

Напряжения каждой обмотки (конец)

Напряжение	Позиция	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
U1	B	222,5	215,2	207,9	200,6	193,3	186,3	179,4	172,7	166,4	160,2
U2	B	219,5	212,1	204,7	197,3	190,1	183,1	176,2	169,7	163,4	157,4
U3	B	12,9	25,1	36,8	47,8	58,1	67,7	76,7	85,1	92,9	100,1

Таблица 5

Мощности исследуемого ФРТ (начало)

Мощность	Позиция	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$S_{ФРТ}$, кВА		2568,9	2450,9	2405,9	2412,0	2445,6	2487,9	2525,9	2552,7	2564,8	2561,7	2548,2

Таблица 6

Мощности исследуемого ФРТ (конец)

Мощность	Позиция	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
$S_{ФРТ}$, кВА		2747,6	2932,0	3095,5	3237,1	3357,0	3456,0	3535,2	3596,2	3640,7	3670,4

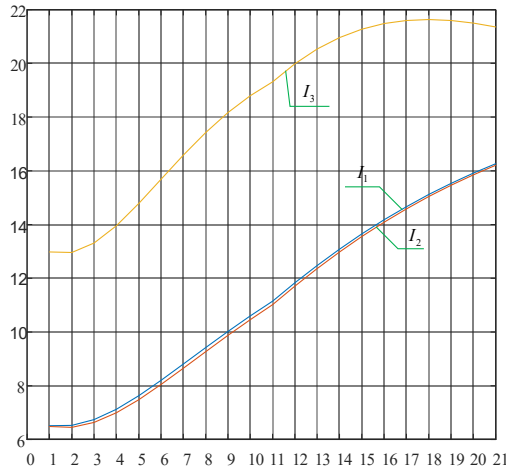


Рис. 4. Токи в режиме УПК ФРТ

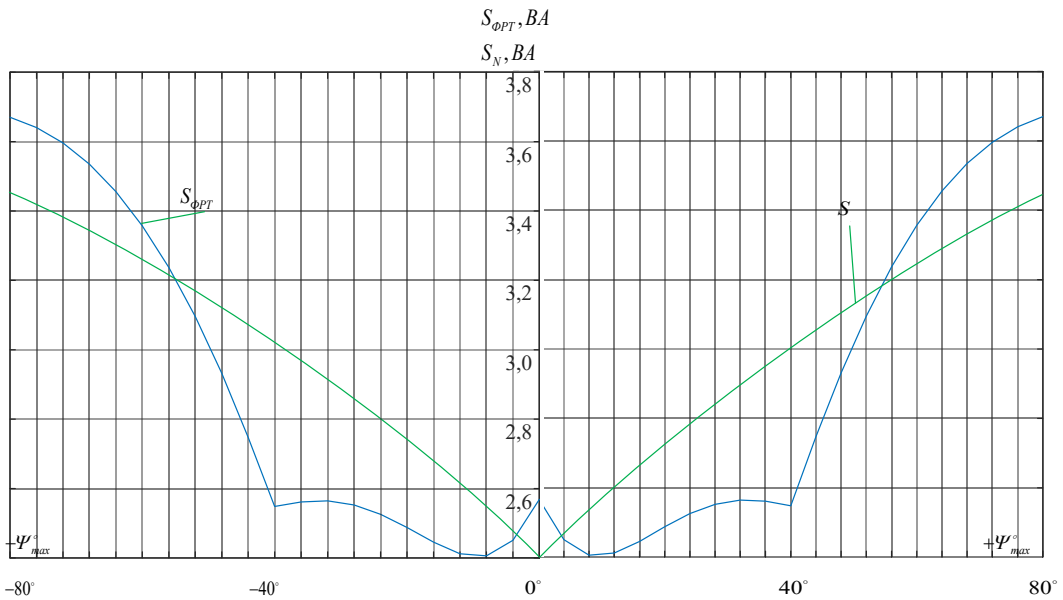


Рис. 5. Графики изменения расчетной мощности фазорегулирующих устройств

На рис. 5 показан график изменения расчетной мощности S_N известного двухтрансформаторного варианта фазорегулирующего устройства. Сравнение графиков $S_{ФРТ}(\psi)$ и $S_N(\psi)$ позволяет осуществлять тот или иной выбор при рассмотрении конкретных технических проблем.

Выводы

Результаты проведенной работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Предлагаемое устройство обеспечивает применение компактной, удобной для транспортировки, монтажа и обслуживания конструкции.

2. Переключатель регулировочных ответвлений предлагаемого устройства размещен в нейтрали схемы соединения регулировочных обмоток, что приводит к отсутствию необходимости в специальной изоляционной защите корпуса.

3. Устройство обеспечивает широкий диапазон регулирования угла фазового сдвига $\psi = -80^\circ \dots +80^\circ$.

4. Фазорегулирующий трансформатор позволяет значительно снизить его установленную мощность по сравнению с традиционными фазоповоротными трансформаторами на широком диапазоне регулирования.

Цитированная литература

1. Lee, C., & Wang, Y. (2019). Intelligent control strategies for phase angle regulation

in phase-shifting transformers. *Electric Power Systems Research*, 176, 105943.

2. Chindaraksa, S., & Premrudeepreechacharn, S. (2017). Optimal Control Strategy of Phase Angle Regulating Transformer for Voltage Stability Enhancement. *Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2017 14th International Conference on (pp. 687–690). IEEE.

3. Chen, J., Li, Y., & Fang, L. (2016). Optimal coordination of phase-shifting transformers based on particle swarm optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 135, 189–195.

4. Lu, Z., Song, Y., & Zhao, J. (2018). Coordination Optimization of Multiple Phase-Shifting Transformers Based on Modified Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 103, 121–130

5. Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. New York: McGraw-Hill.

УДК 621.311

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПЕРЕХОДА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–10 КВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 КВ

А. В. Григоращук, Д. Н. Калошин

Статья посвящена решению актуальной проблемы, связанной с потерей электрической энергии в распределительных электрических сетях. В ходе исследования были выявлены многочисленные преимущества перехода распределительных сетей с номинальным напряжением 6–10 кВ на более высокий уровень – 20 кВ. Этот шаг способствует снижению потерь электрической энергии и увеличению пропускной способности при использовании одинакового сечения проводов. Применение напряжения 20 кВ также улучшает качество электроэнергии, обеспечивает безопасность энергоснабжения и надежное функционирование электрических систем, а также существенно уменьшает энергозависимость страны. Применение напряжения 20 кВ в существующих распределительных сетях 6–10 кВ позволит достичь более высокого уровня обеспечения электроснабжения для потребителей. Это решение оказывает положительное влияние на экономику.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, пропускная способность, потери мощности, электрическая энергия.

FEASIBILITY OF SWITCHING 6–10 KV DISTRIBUTION GRIDS TO 20 KV

A. V. Grigorashchuk, D. N. Kaloshin

This article is dedicated to addressing the pressing issue of electrical energy loss in distribution power grids. Through the conducted research, numerous advantages of transitioning distribution networks from the nominal voltage of 6-10 kV to a higher level of 20 kV have been identified. This step contributes to reducing electrical energy losses and increasing the transmission capacity while using the same wire cross-section. The application of a 20 kV voltage also improves the quality of electric power, ensures the safety of energy supply and reliable operation of electrical systems, and significantly reduces the country's energy dependency. In conclusion, it can be inferred that implementing a 20 kV voltage in existing distribution networks operating at 6-10 kV will enable a higher level of electricity supply for consumers. This solution also has a positive impact on the economy.

Keywords: electric distribution network, transmission capacity, power losses, electrical energy.

Современные тенденции в развитии электрических сетей по всему миру свидетельствуют о стремлении развитых стран использовать более высокие уровни напряжения, например, 20 кВ. Это позволяет снизить потери электроэнергии и увеличить дальность передачи.

В настоящее время нет экономических и технических оснований для полной рекон-

струкции сетей в их прежних параметрах. Однако необходимо развивать системы распределительных электрических сетей для повышения надежности, обеспечения качества и эффективности энергоснабжения потребителей. Это можно достичь путем постоянного усовершенствования сетей с использованием инновационных технологий и превращения их в интеллектуальные (активно-адаптивные) системы.

Переход на напряжение 20 кВ позволяет сократить эксплуатационные расходы на линии. В сетях с таким напряжением используется режим работы с резистивно-заземленной нейтралью, что позволяет отключать однофазные короткие замыкания с маленькой выдержкой времени. Восстановление работы сети после короткого замыкания требует меньше ресурсов, что является важным плюсом для эксплуатации. Переход на 20 кВ также позволяет использовать двухлучевые схемы в городах, что устраняет необходимость продолжать работу кабельной линии при однофазном коротком замыкании. С точки зрения эксплуатации и безопасности обслуживания, использование режима работы с заземленной нейтралью является предпочтительным. С точки зрения режима работы сетей 20 кВ и 6(10) кВ, первому отдается предпочтение по времени срабатывания релейной защиты [1].

Отказ от использования сетей с напряжением 10 кВ и переход на напряжение 20 кВ не снижает надежность электроснабжения. Более высокий класс напряжения позволит сократить потери электроэнергии, улучшить гибкость системы города, сократить сроки присоединения новых потребителей и исключить возможность возникновения дефицита мощности на многие годы.

В настоящее время система распределительных электрических сетей имеет ряд проблем, которые обусловлены:

- высокой степенью изношенности электрооборудования (возраст оборудования достигает 50 лет и более);

- большими потерями электрической энергии (потери электроэнергии в линии достигают 16 %);

- низким уровнем автоматизации (в России около 38 % центров питания оснащены телесигнализацией и менее 16 % имеют телеуправление).

С увеличением электрических нагрузок стало ясно, что существующие сети достигли своих технических пределов. Для обеспечения новых потребителей были проложены дополнительные линии и введены новые генерирующие мощности. Однако эти подходы не решают проблему обеспечения промышленных предприятий и городов необходимым количеством и качеством электроэнергии.

Один из способов снижения потерь электроэнергии в сети заключается в использовании напряжения 20 кВ вместо широко распространенных 6–10 кВ. Это позволяет улучшить эффективность передачи электроэнергии и снизить потери. Более высокое напряжение обеспечивает более эффективное использование существующих инфраструктурных решений и позволяет уменьшить нагрузку на систему [2, с. 13].

Необходимо отметить, что использование электрических сетей с напряжением 20 кВ является выгодным не только для городских масштабов. Анализ сельских сетей с напряжением 10, 20 и 35 кВ показывает, что электрические сети с напряжением 10 кВ становятся целесообразными, когда плотность нагрузки составляет менее 60 кВт/км². Если зона обслуживания превышает 25 км, рациональным решением будет использование сетей с напряжением

35 кВ. Внедрение электрических сетей с напряжением 20 кВ рекомендуется в следующих ситуациях: при плотности нагрузки свыше 65 кВт/км², при замене питающих линий напряжением 6 кВ, а также при строительстве новых поселений.

Опираясь на мировой опыт использования технологий передачи электрической энергии на номинальном напряжении 20 кВ, можем определить следующие основные преимущества по сравнению с электропередачами 6–10 кВ [3, с. 112–113]:

- большая пропускная способность электропередач при тех же сечениях проводов;
- снижение технологических затрат электроэнергии на ее передачу;
- использование нового оборудования (трансформаторных подстанций, распределительных пунктов) в габаритах старого;
- уменьшение общей длины сетей 0,4 кВ и потерь в них путем использования мачтовых КТП 20/0,4 кВ;
- сохранение охранных зон воздушных линий электропередачи;
- повышение надежности электроснабжения потребителей электрической энергии;
- разгрузка распределительных устройств 6–10 кВ существующих подстанций и устранение дефицита мощности в центрах питания;
- создание резерва мощности для гарантированного надежного электроснабжения потребителей;
- улучшение показателей качества электроснабжения (SAIDI и SAIFI).

Для перехода на построение городских сетей классом напряжения 20 кВ сле-

дует выполнить ряд обязательных условий [4]:

- 1) актуализация нормативной базы с разработкой новых национальных стандартов и технических регламентов;
- 2) наличие в центрах питания 110 кВ резервов мощности на уровне напряжения 20 кВ;
- 3) разработка концепции развития сетей 20 кВ на территории конкретного города, выполнение технико-экономического обоснования построения соответствующих электрических сетей;
- 4) наличие на рынке оборудования и кабельной продукции напряжением 20 кВ.

Рассмотрим задачу перевода электрических сетей на номинальное напряжение 20 кВ. Данную задачу можно разделить на две части, каждая из которых имеет уникальные подходы к решению. Первая часть состоит в переводе уже существующих сетей с напряжением 6 (10) кВ на номинальное напряжение 20 кВ. Вторая часть связана с использованием напряжения 20 кВ при строительстве новых сетей.

В общем случае подобные задачи требуют технико-экономического обоснования выбранного варианта реконструкции существующей сети с переходом на напряжение 20 кВ или выбранного варианта строительства новых линий электропередачи с напряжением 20 кВ. Такие задачи обычно рассматриваются как оптимизационные, где требуется определить наименьшую возможную стоимость целевой функции, отражающей затраты ресурсов на строительство и эксплуатацию электрической сети. Например, можно учесть сведенные дисконтированные затраты.

$$Z = \frac{B}{E} + K - L,$$

где E – норма дисконта; K – одноразовые капитальные вложения в рассматриваемый вариант развития системы; B – ежегодные текущие расходы на эксплуатацию электрической сети; L – ликвидационная (остаточная) стоимость оборудования, которое демонтируют.

С другой стороны, такую задачу можно рассматривать как поиск варианта реконструкции (строительства) электрической сети в пространстве состояний, где каждому состоянию пространства поиска соответствует возможный вариант реконструкции (строительства) с соответствующими характеристиками.

Что касается распределительного устройства 20 кВ, оно включает в себя высоковольтные выключатели, разъединители, предохранители, выключатели нагрузки и т. п. Высоковольтные предохранители с напряжением 20 кВ производятся различными компаниями и имеют ассортимент, похожий на предохранители напряжением 10 кВ, но их стоимость вдвое выше. Разница в стоимости коммутационного оборудования для 20 кВ и 10 кВ составляет около 20–30 %. При проектировании сети напряжением 20 кВ рекомендуется использовать газовые или вакуумные высоковольтные выключатели [5].

При реконструкции существующих 6 (10) кВ электрических сетей для перехода на напряжение 20 кВ и установки трансформаторов и коммутационного оборудования можно использовать существующие здания подстанций 6 (10) кВ.

Трансформаторы на 20 кВ можно подобрать таким образом, чтобы они имели габариты, аналогичные трансформаторам 6 (10) кВ. Это позволяет произвести замену трансформатора без дополнительных затрат. Аналогичная ситуация возникает и при сравнении шкафов КРУ (комплектного распределительного устройства): металлические шкафы выпускаются унифицированными для классов напряжения 6, 10 и 20 кВ, отличие заключается только в их внутренней структуре.

Традиционная комплексная реконструкция электрических распределительных сетей 6 (10) кВ, включающая замену оборудования на аналоги, предназначенные для большей мощности, не позволяет увеличить пропускную способность и не дает экономического эффекта. Стандартная реконструкция лишь восстанавливает функционирование системы. Чтобы достичь желаемых результатов и получить экономическую выгоду от модернизации электрических сетей, необходимо поэтапно заменять распределительные сети 6 кВ (а затем 10 кВ) на сети с напряжением 20 кВ. Такая реконструкция распределительных сетей в перспективе позволит перейти от устаревшей трехступенчатой системы передачи и распределения электроэнергии (110-35-6 (10) кВ) к двухступенчатой системе (110-20 кВ), как показано на рис. 1.

Рациональность данного типа сетей проявляется через положительное влияние на экономику, обусловленное следующими факторами:

- стоимость оборудования и строительства линий напряжением 20 кВ сравнима со строительством линий напряжением 6 кВ;

- применение напряжения 20 кВ вместо 6–10 кВ позволяет увеличить радиус обслуживания подстанций вдвое, что приводит к сокращению вдвое количества узловых подстанций. Кроме того, потери электроэнергии в сетях с напряжением 20 кВ в 1,5 раза ниже.

- строительство объектов с напряжением 20 кВ вместо планируемых сетей напряжением 35 кВ может снизить затраты в среднем на 45–50 %.

В ходе исследования были спроектированы в программном комплексе Matlab схемы электрических сетей 10 кВ: 19 фидера П/ст «ЗС» (рис. 2) и 3 фидера П/ст «Парканы» (рис. 4). Далее был сделан переход на класс напряжения 20 кВ путем замены трансформаторов и линии электропередач. Сделан сравнительный анализ потерь мощностей в линиях и трансформаторах. Построены сравнительные графики потерь мощностей за сутки (рис. 3, 4). Для схемы П/ст «ЗС» 19 фидера был выбран трехжильный кабель марки АПВнг(А)-LS, а также для схемы с воздушными линиями электропередач П/ст «Парканы» 3 фидера использовался провод марки СИП-3. Необходимые расчеты производились при помощи программ: Mathcad 14, Excel.

Трансформаторы типа ТМ 10/0,4 кВ были заменены на трансформаторы типа ТМГ 20/0,4 кВ.

Потери ЛЭП П/ст «Парканы» 3 фидера вынесем отдельно:

- 10 кВ – 368,25 кВт;
- 20 кВ – 79,19 кВт.

Подводя итоги, можно сделать выводы, что применение напряжения 20 кВ в существующих распределительных сетях

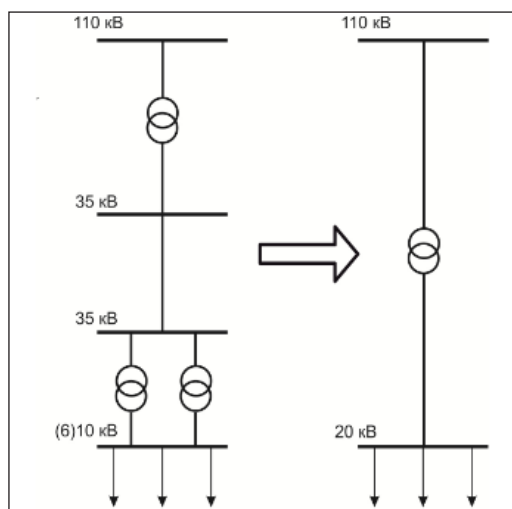


Рис. 1. Иллюстрация перевода системы распределения электрической энергии с трехступенчатой на двухступенчатую

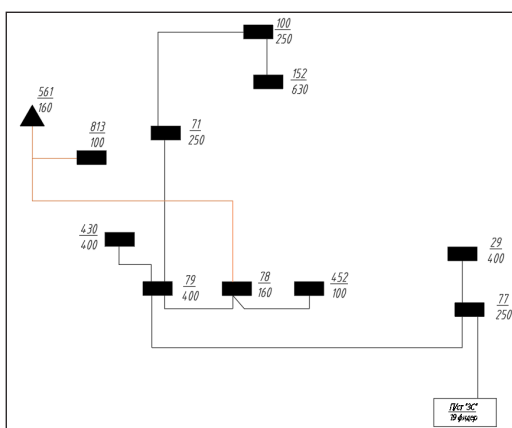


Рис. 2. Схема П/ст «ЗС» 19 фидера

6–10 кВ позволит перейти на более высокий уровень энергоснабжения потребителей, увеличить пропускную способность по сравнению с имеющимися сетями, снизить технологические потери и повысить качество электроэнергии. Кроме того, благодаря использованию мачтовых КТП 20/0,4 кВ можно существенно сократить протяженность электрических сетей 0,4 кВ

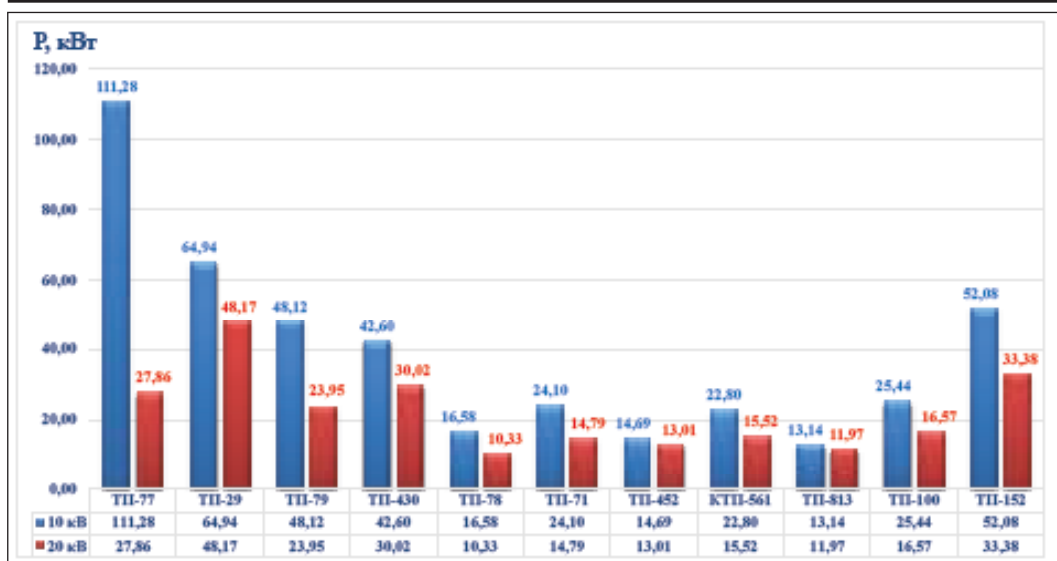


Рис. 3. Гистограмма приведенных потерь электроэнергии в сутки П/ст «3С» 19 фидера

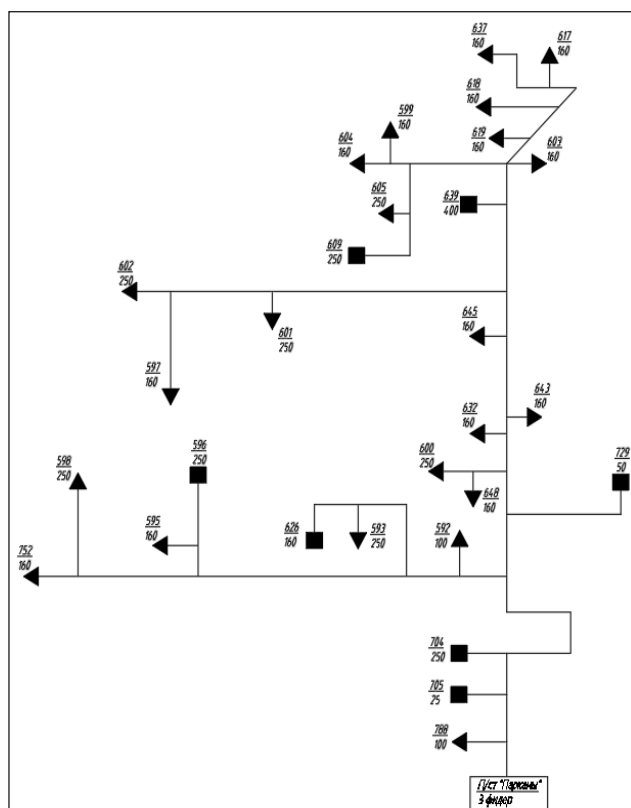


Рис. 4. Схема П/ст «Парканы» 3 фидера

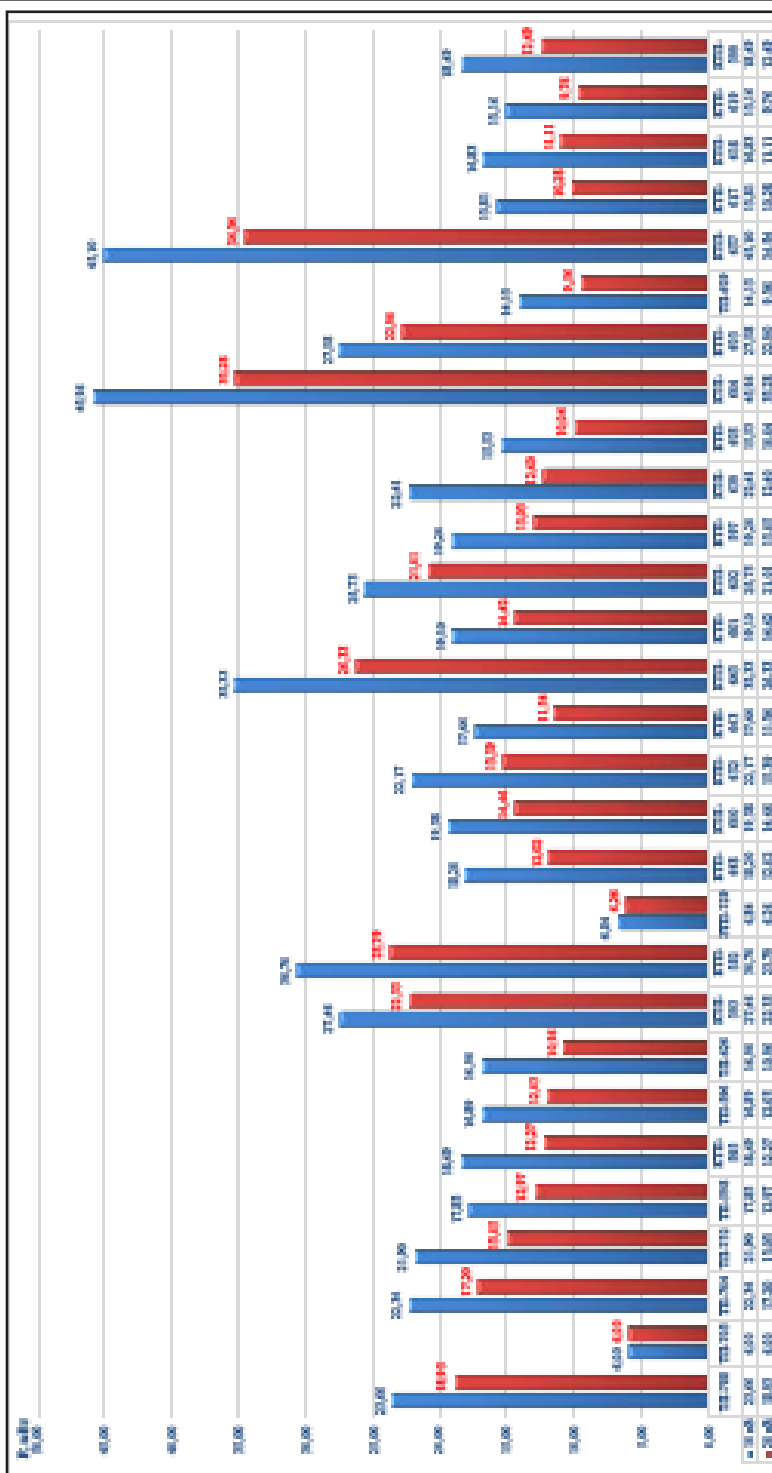


Рис. 5. Гистограмма приведенных потерь электроэнергии в сутки П/ст «Парканы» 3 филера

путем приближения к потребителям напряжения 20 кВ и, следовательно, уменьшить отношение протяженности ЛЭП 6–20 кВ до 0,4 кВ, что приведет к снижению потерь в сетях низкого напряжения [5].

Цитированная литература

1. Король, О. В. Повышение напряжения до 20 кВ в распределительных электрических сетях / О. В. Король. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы энергетики. – 2017. – С. 122.

2. Технические науки : журнал Novainfo / Уфимский государственный авиационный технический университет, факультет авионики,

энергетики и инфокоммуникаций. – 2019. – 12–14 с. – Текст : непосредственный.

3. Миквельман, Д. А. Применение напряжения класса 20 кВ в распределительных сетях / Д. А. Миквельман. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 22 (364). – С. 112–114.

4. Rus Cable.Ru Проблемы и особенности построения распределительных сетей крупных городов и мегаполисов. – URL: <https://mobile.ruscable.ru/article/408/> (дата обращения: 15.03.23). – Текст : электронный.

5. EDS engineering Переход распределительных сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ. – URL: <https://eds-engineering.com/ru/novosti/perexod-raspredelitelnyix-setej-6-10-kv-na-napryazhenie-20-kv> (дата обращения: 15.03.23). – Текст : электронный.

УДК 621.31

СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В ПО УСЛОВИЯМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

В. Н. Радченко, Т. А. Федорова, Т. Ю. Баева

Проведен синтез технических решений электроустановок напряжением до 1000 В по условиям безопасной эксплуатации в аварийном режиме работы. Предложены рекомендации по выбору определяющих параметров типовых сетей, при которых напряжения прикосновения в аварийном режиме работы электроустановок не будут превышать рекомендованных в [1] значений. Предложен способ параметрического безынерционного включения в случае непосредственного прикосновения к токоведущим частям электроустановки, последовательно с сопротивлением источника поражения, дополнительного сопротивления.

Ключевые слова: электроустановки, заземление, напряжение прикосновения, токоведущие части, электрическая сеть, электробезопасность.

SYNTHESIS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR ELECTRICAL INSTALLATIONS RATED UP TO 1000 V ACCORDING TO THE CONDITIONS OF SAFE OPERATION IN EMERGENCY MODE

V. N. Radchenko, T. A. Fedorova, T. I. Baeva

The synthesis of technical solutions for the electrical installations up to 1000 V according to the conditions of the safe operation in the emergency mode of operation is carried out. The recommendations for the selection of the determining parameters of the typical networks at which the contact voltage in the emergency mode of operation of electrical installations will not exceed the values recommended in [1] are proposed. The method of parametric inertia-free inclusion, in the case of direct contact with current-conducting parts of electric installation, in series with the resistance of the source of defeat, additional resistance is proposed.

Keywords: electrical installations, grounding, contact voltage, current-carrying parts, electric network, electrical safety.

Все технические решения МЭК [2] по защите человека в аварийных режимах работы электроустановок, в случае прикосновения к доступным токопроводящим частям, заключаются в применении защитных проводников, соединенных с доступными токоведущими частями. Если значение напряжения прикосновения превышает 50 В, применяют автоматическое

отключение питания. Максимально допустимое время отключения зависит от значения напряжения сети относительно «земли» (т. е. от ожидаемого значения напряжения прикосновения) и находится в пределах 0,02–0,8 с [3].

Время отключения до 5 с допускается для распределительных сетей, которые питают лишь стационарное оборудование при условии, что полное сопротивление защитного проводника между распределителем

тельным щитом и точкой присоединения защитного проводника к основной шине заземления не превышает:

$$Z_{PE} \leq \frac{50}{U_0} \cdot Z_S, \text{ Ом}, \quad (1)$$

где U_0 – напряжение сети относительно «земли», В; Z_S – полное сопротивление петли замыкания «фаза – ноль», которое равно сопротивлению источника питания, рабочего проводника до места замыкания и защитного проводника между источником питания и местом замыкания.

Если имеем, например, сеть 220 В, то в соответствии с (1) $Z_{PE} \leq 0,227 \cdot Z_S$. Таким образом, затраты на защитный проводник должны в 4,4 раза превышать затраты на рабочий проводник.

Считается, что затраты на создание системы автоматического отключения питания значительно меньше. Поэтому типовое решение предусматривает использование системы автоматического отключения в комбинации с термически стойким к токам короткого замыкания защитным проводником.

Задачей этой статьи является сравнительный анализ разных решений схемы питания потребителей с целью определения варианта, который обеспечивает достижение цели с минимальными дополнительными затратами.

Новый лучший вариант, в первую очередь, может быть рекомендован для нового строительства.

Схемы и значения параметров отдельных их элементов, которые будут предложены в данной статье, не устраняют, а, наоборот, предусматривают обязатель-

ное использование автоматического отключения питания за время, которое не превышает 1 с. Отказ от автоматического отключения питания обусловил бы необходимость дальнейшего снижения допустимого напряжения прикосновения.

1. Мероприятия и средства предотвращения необратимых процессов в теле человека в случае непосредственного прикосновения к электроустановкам, выполненным по стандартам МЭК. Значение напряжения прикосновения в аварийном режиме электроустановки (ЭУ) (при повреждении изоляции элемента сети) обусловлено падением напряжения между токоведущими частями ЭУ и землей вследствие протекания тока повреждения через эквивалентное сопротивление защитных или нейтральных проводников, которые соединяют поверхность доступных токопроводящих частей с заземлением электрической сети. Поэтому снижение значения напряжения прикосновения до допустимого возможно лишь за счет снижения значения эквивалентного сопротивления защитных или нейтральных проводников.

На данное время действуют следующие типы систем заземления ЭУ переменного и постоянного напряжения: TN-S; TN-C; TN-C-S; TT; IT [2].

Проведем анализ вышеупомянутых систем заземления на соответствие требованиям Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Система TN-S переменного напряжения приведена на рис. 1.

Предположим, что ЭУ работает в режиме холостого хода, который обусловит,

в случае повреждения изоляции, наибольший возможный потенциал на корпусе ЭУ.

На рис. 2 приведена схема замещения системы TN-S в случае повреждения изоляции проводника $L1$.

Нормативы относительно допустимых напряжений прикосновения будут выполняться при условии:

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{PE}} \geq \frac{E - U_h}{U_h}, \quad (2)$$

где E – напряжение сети; U_h – допустимое напряжение прикосновения; Z_{L1} , Z_N – эквивалентное сопротивление соответственно фазного и нейтрального проводников; Z_{3C} – эквивалентное сопро-

тивление заземления системы (нулевого рабочего проводника); Z_{PE} – эквивалентное сопротивление нулевого защитного проводника; Z_{HAB} – сопротивление нагрузки; I – ток повреждения.

На рис. 3 приведена система TN-C переменного напряжения.

На рис. 4 приведена схема замещения системы TN-C в случае повреждения изоляции проводника $L1$.

Нормативы относительно допустимых напряжений прикосновения будут выполняться при условии:

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{PEN}} \geq \frac{E - U_h}{U_h}, \quad (3)$$

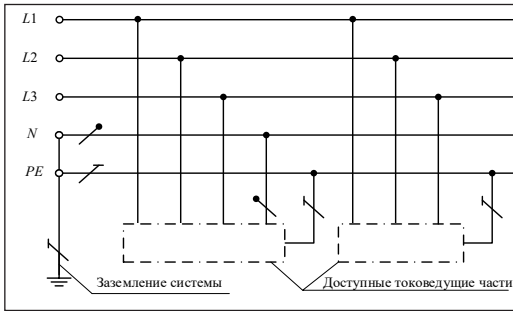


Рис. 1. Система TN-S переменного напряжения

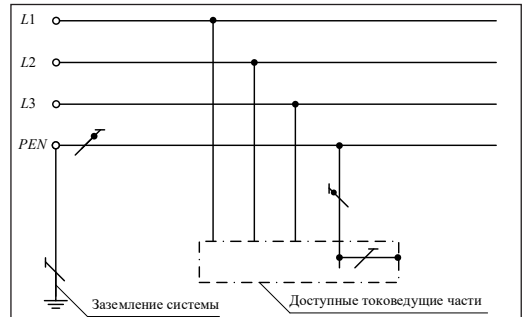


Рис. 3. Система TN-C переменного напряжения

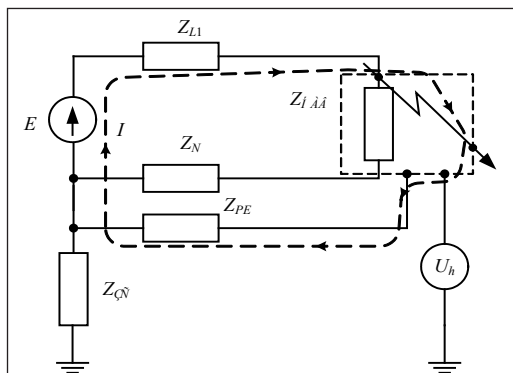


Рис. 2. Схема замещения системы TN-S

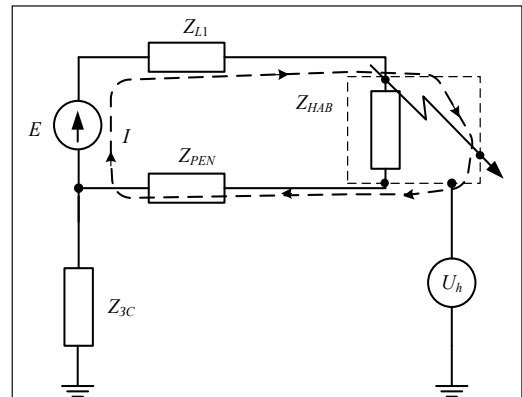


Рис. 4. Схема замещения системы TN-C

где Z_{PEN} – эквивалентное сопротивление совмещенного нейтрального и нулевого защитного проводника.

Система ТТ переменного напряжения приведена на рис. 5.

На рис. 6 приведена схема замещения системы ТТ в случае повреждения изоляции проводника $L1$.

Нормативы относительно допустимых напряжений прикосновения будут выполняться при условии:

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{3C} + Z_{33}} \geq \frac{E - U_h}{U_h}, \quad (4)$$

где Z_{33} – сопротивление защитного заземления корпусов электрооборудования.

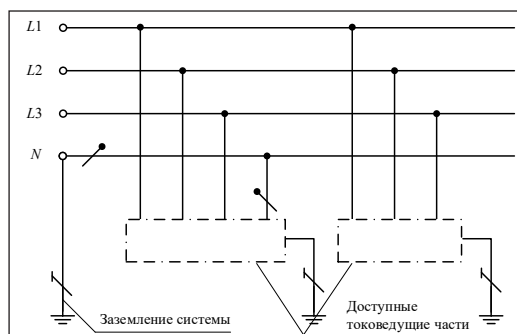


Рис. 5. Система ТТ переменного напряжения

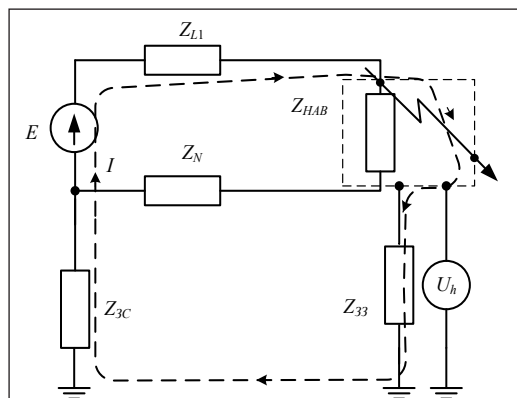


Рис. 6. Схема замещения системы ТТ

На рис. 7 приведена система IT переменного напряжения.

На рис. 8 приведена схема замещения системы IT в случае повреждения изоляции проводника $L1$. Учитывая, что $Z_{I3} \gg Z_{L1}$ и Z_{33} , нормативы допустимого напряжения прикосновения будут выполняться всегда. Опасным может быть лишь случай появления в сети второго замыкания.

В таблице приведены допустимые соотношения сопротивления токоведущего проводника к эквивалентному сопротивлению защитного проводника для действующей шкалы номинальных напряжений [1]. Для системы TN-C-S нужно брать меньшее из значений для систем TN-S и TN-C.

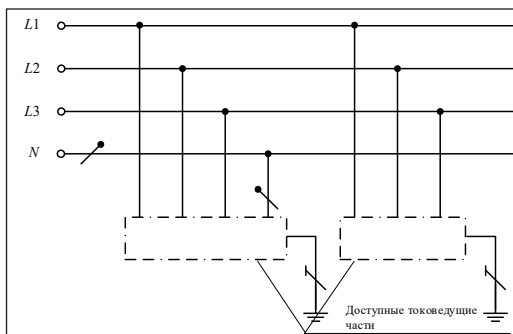


Рис. 7. Система IT переменного напряжения

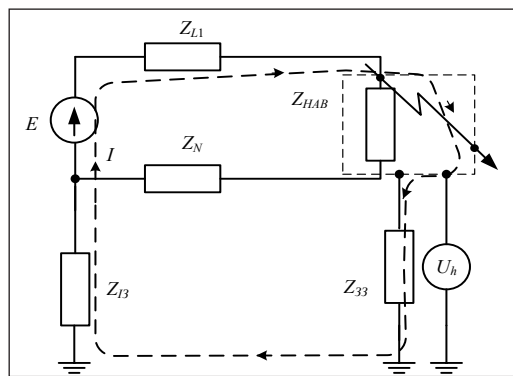


Рис. 8. Схема замещения системы IT

Допустимое соотношение сопротивлений токоведущего проводника к эквивалентному сопротивлению защитного проводника

Допустимое напряжение прикосновения, В	Номинальное напряжение сети, В						
	60	90	110	150	220	440	600
60	0	0,5	0,83	1,5	2,67	6,33	9

Для переменного напряжения:

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{PE}} - \text{система TN-S;}$$

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{PEN}} - \text{система TN-C;}$$

$$\frac{Z_{L1}}{Z_{3C} + Z_{33}} - \text{система TT,}$$

где Z_{PE} – сопротивление совмещенного нулевого рабочего и защитного проводников; Z_{33} – сопротивление защитного заземления корпусов электрооборудования.

Для постоянного напряжения нужно заменить: Z_{L1} на R_{L+} или R_{L-} ; Z_N на R_N ; Z_{PE} на R_{PE} ; Z_{PEN} на R_{PEN} ; Z_{33} на R_{33} .

Приведем пример использования полученных результатов для бытовой сети. Исходные данные: система TN-S, номинальное напряжение электроустановки $U_n = 220$ В, предельно допустимое напряжение прикосновения $U_h = 60$ В. Допустимое соотношение сопротивлений равно 2,67 (см. таблицу). Отсюда сопротивление защитного проводника $Z_{PE} = Z_{L1}/2,67$. Т. е. сопротивление защитного проводника должно быть в 2,67 раз меньшим сопротивления токоведущего проводника. По требованиям МЭК для рассмотренного примера допустимое соотношение составляет 1 [2, 3] (сечение защитного проводника равно сечению фазного или

нулевого). Таким образом, для выполнения требований безопасной эксплуатации ЭУ нужно дополнительно увеличить затраты на проводниковые материалы в $2,67 - 1 = 1,67$ раза, т. е. на 167 %.

2. Коммунально-бытовая электрическая сеть с повышенным уровнем электробезопасности за счет параметрического безынерционного включения последовательно с источником поражения человека дополнительного сопротивления. Безопасные условия взаимодействия человека с ЭУ переменного напряжения возможно обеспечить параметрическим безынерционным включением последовательно с источником поражения дополнительного сопротивления.

Альтернативным путем приведения электрических сетей в соответствие требованиям ($U_h = 10,5$ В) может быть применение в схеме питания потребителей, последовательно включенного трансформатора с малым током холостого хода и коэффициентом трансформации, равным 1 (рис. 9).

В идеальном случае применение последовательно включенного трансфор-

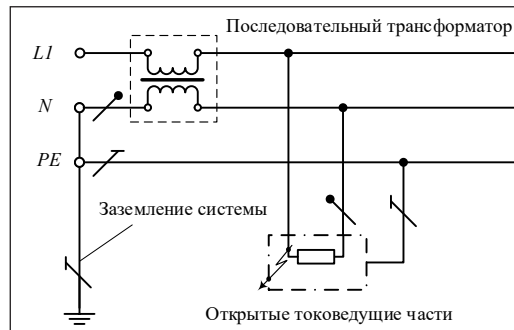


Рис. 9. Схема включения последовательного трансформатора (в однофазном исполнении)

матора позволит устранить не только вероятность появления напряжения прикосновения больше предельно допустимого значения, а и появление токов короткого замыкания, что повысит надежность электроснабжения потребителей. При пробое изоляции электроприемника на корпус (см. рис. 9) ток короткого замыкания $I_{к.з.}$ будет равным току холостого хода $I_{х.х.}$ последовательного трансформатора. Поэтому допустимая величина $I_{х.х.}$ может быть определена из неравенства:

$$U_{h\text{доп}} \geq I_{н.х.} \cdot Z_{PE}. \quad (5)$$

Если принять в (5) минимальное допустимое значение напряжения прикосновения $U_h = 10,5$ В для продолжительности действия напряжения 1–5 с, то максимально допустимое значение тока холостого хода $I_{х.х.}$ последовательного трансформатора, согласно (5), определяется как:

$$I_{н.х.макс} \leq \frac{10,5}{Z_{PE}}.$$

Важно, что при выполнении этого условия отпадает потребность применения других средств защиты.

В результате проведенного анализа технических решений электроустановок напряжением до 1000 В по условиям безопасной эксплуатации в аварийном режиме:

1. Предложены рекомендации по выбору определяющих параметров типовых сетей, при которых напряжения прикосновения в аварийном режиме работы электроустановок не будут превышать рекомендованных в этой статье значений.

2. Приведена схема коммунально-бытовой сети с повышенным уровнем электробезопасности за счет параметрического безынерционного включения последовательно с источником поражения человека дополнительного сопротивления.

3. Выявлено, что система сети низкого напряжения типа IT без любых дополнительных мер обеспечивает электробезопасность в аварийном режиме работы электрооборудования при условии отключения источника питания к моменту появления повреждения в другом месте сети.

Цитированная литература

1. Допустимі напруги дотику в аварійних режимах електроустановок змінної напруги промислової частоти за умовою запобігання травмування тіла людини / А. А. Маліновський, Л. О. Никонєць, Ю. Л. Шелєх, В. М. Радченко. – Текст : непосредственный. // Новини енергетики. – 2007. – № 10. – С. 29–33.
2. ГОСТ Р 50571.4.41–2022 / МЭК 60364-4-41:2017 ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКО-ВОЛЬТНЫЕ Часть 4-41 Защита для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током: национальный стандарт Российской Федерации : издания официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 сентября 2022 г. № 897-ст : введен взамен ГОСТ Р 50571.3–2009/МЭК 60364-4-41:2005 : дата введения 2022–10–01 / подготовлен Обществом с ограниченной ответственностью «Ассоциация РЭМ» (ООО «Ассоциация РЭМ»). – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – Текст : непосредственный.
3. Правила устройства электроустановок. – [6-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Энергоатомиздат, 2000. – 648 с. – Текст : непосредственный.

УДК 621.313.392

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С СИСТЕМОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПИТАЕМОЙ ОТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

Ф. А. Избаш

Проведен сравнительный анализ систем генерирования электроэнергии средней мощности на базе синхронного генератора с дополнительной якорной обмоткой, соединенной звездой, с тиристорным преобразователем, компаундирующим трансформатором и неуправляемым вентильным выпрямителем и системы генерирования с дополнительной якорной обмоткой, соединенной в открытый треугольник, и тиристорно-диодным преобразователем. Составлена математическая модель системы генерирования, основанная на уравнениях Парка-Горева.

Ключевые слова: синхронные генераторы, дополнительная обмотка, компаундирующий трансформатор, тиристорно-диодный вентильный преобразователь.

SIMULATION OF A SYNCHRONOUS GENERATOR WITH AN EXCITATION SYSTEM POWERED BY AN ADDITIONAL STATOR WINDING

F. A. Izbash

A comparative analysis of medium-power power generation systems based on synchronous generators with an additional armature winding connected by a star, with a thyristor converter, a compounding transformer and an uncontrolled valve rectifier and generation systems with an additional armature winding connected in an open triangle and a thyristor-diode converter is carried out. A mathematical model of the generation system based on the Park-Gorev equations has been compiled.

Keywords: synchronous generators, additional winding, compounding transformer, thyristor-diode gate converter.

В настоящее время электромашино-строительными предприятиями стран СНГ и зарубежными фирмами выпускается значительное количество синхронных генераторов средней мощности, которые нашли широкое применение на объектах малой энергетики практически во всех странах: на гидроэлектростанциях, ветростанциях, когенерационных установках, автономных и аварийных системах электроснабжения. Эти системы повышают надежность электроснабжения, позволяют значитель-

но экономить энергоресурсы, повышают устойчивость узлов нагрузки и улучшают энергетические показатели систем электроснабжения. Важнейшим элементом синхронного генератора является система возбуждения, развитие которой идет по пути совершенствования статических и бесщеточных систем.

Основными эксплуатационными достоинствами бесщеточных синхронных генераторов являются: упрощение технического обслуживания; отсутствие контактных колец и щеточного аппарата;

снижение стоимости и длительности монтажа. К недостаткам бесщеточных синхронных генераторов следует отнести: малое быстродействие, повышенную трудоемкость изготовления системы возбуждения и, соответственно, более высокую стоимость. Статические системы возбуждения свободны от этих недостатков, однако имеют повышенные эксплуатационные затраты. Поэтому разработка новых систем возбуждения, позволяющих устранить упомянутые выше недостатки, является актуальной задачей.

Обычно синхронные генераторы поставляются в комплекте с системой возбуждения, которая питается от отдельного трансформатора или от дополнительной якорной обмотки генератора.

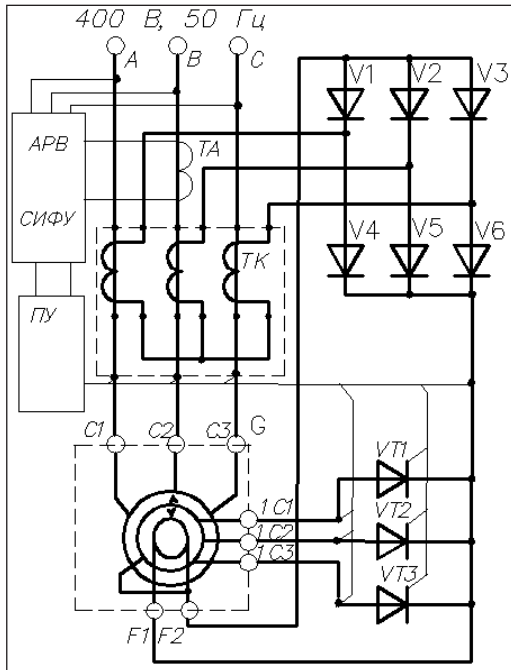


Рис. 1. Статическая система возбуждения с компенсирующим трансформатором

Для повышения технико-экономических характеристик систем генерирования электроэнергии средней мощности нашли применение синхронные генераторы с дополнительной якорной обмоткой, от которой питается вентильная силовая часть системы возбуждения.

В синхронных генераторах, выпускаемых промышленностью, мощностью от 100 до 2500 кВт, с оборотами от 150 до 1500 об/мин применяют системы возбуждения с питанием от дополнительной обмотки, расположенной на статоре генератора [1, с. 221–227], это синхронные генераторы серии СГС со статической системой возбуждения УВГС-С, гидрогенераторы синхронные ВГС-450-40-0,4УХЛ4 со шкафом ШКУ-450-0,4УХЛ4, гидрогенераторы СГС-500, СГ-630, СГ-800, СГ-1000, СГ-1600 с устройствами возбуждения УВГТ, синхронные генераторы СГД2, СГД2М, мощностью 630 и 800 кВт, со статическими системами возбуждения КУВ, КУВМ, предназначенные для работы на стационарных электростанциях с приводом от двигателей внутреннего сгорания.

Возбуждение вышеуказанных генераторов осуществляется от устройства, питающегося от дополнительной обмотки (ДО), заложенной в пазы статора.

Ток возбуждения регулируется изменением угла зажигания тиристорного возбудительного устройства. В генераторах СГД-2 используется статическая система возбуждения (структурная схема на рис. 1), обмотка возбуждения генератора получает выпрямленный ток через тиристорный (VD1, VD2, VD3) и диодный (V1–V6)

преобразователи, соединенные параллельно на стороне выпрямленного тока. Питание тиристорного преобразователя осуществляется от дополнительной обмотки (ДО), выводы 1С1, 1С2, 1С3, заложенной в пазы статора синхронного генератора и соединенной в звезду. Чаще всего ДО располагается на дне паза и в номинальном режиме работы генератора несет на себе около 20–30 % нагрузки возбуждения.

Остальная часть мощности возбуждения обеспечивает диодный преобразователь, питаемый от компаундирующего трансформатора (ТК), включенного в цепь статора, ток ТК и неуправляемого выпрямителя, так же как и ток управляемого выпрямителя, служит для поддержания напряжения генератора при изменениях нагрузки и обеспечивает форсировку тока возбуждения при переходных режимах и коротких замыканиях.

Для начального возбуждения этих генераторов пороговым устройством (ПУ) [2] управляемый выпрямитель переводится в диодный режим, остаточное напряжение дополнительной или основной обмотки выпрямляется и подается на обмотку возбуждения. Обычно остаточное напряжение на ДО ниже, чем на основной, поэтому при недостаточной величине остаточного напряжения на ДО, для начального возбуждения используется основная обмотка. В случае, если невозможно обеспечить самовозбуждение генератора от остаточного напряжения обмотки генератора, используются устройства, повышающие остаточное напряжение, или применяются для начального возбуждения независимые источники питания.

В системах возбуждения генераторов серии СГД-2 наличие компаундирующего трансформатора и двух вентильных преобразователей (управляемого и неуправляемого) увеличивает трудоемкость изготовления и удорожает себестоимость генераторов. Дальнейшее развитие статических систем возбуждения реализовано в генераторах серий СГД-2М, СГС900, ВГС-450, в которых применена система возбуждения без компаундирующего трансформатора и неуправляемого вентильного преобразователя. В этих генераторах питание вентильного преобразователя осуществляется от дополнительной обмотки, соединенной в открытый треугольник, обмотка возбуждения получает выпрямленный ток через совмещенный тиристорно-диодный преобразователь (ТДСВ), описанный в [2] и показанный на схеме (рис. 2). Одной из особенностей этой системы является то, что на выходе силового выпрямителя стоят последовательно включенные неуправляемые вентили, общая точка которых подключена к одному из выводов открытого треугольника дополнительной якровой обмотки.

В дальнейшем рассматривается система генерирования электроэнергии, состоящая из трехфазной явнополюсной синхронной машины (ЯСМ) с дополнительной обмоткой на статоре, соединенной в открытый треугольник, от которой питается тиристорно-диодный преобразователь системы возбуждения генератора.

Схема электрической системы генерирования представлена на рис. 2.

Математически фазные напряжения на якровых зажимах, основной обмотки –

U_A, U_B, U_C , дополнительной – U_a, U_b, U_c и обмотки возбуждения U_f генератора, представлены уравнениями Парка-Горева. Пример использования уравнений Парка-Горева для моделирования явнополюсного синхронного генератора без дополнительной обмотки представлен в [3].

Для моделирования явнополюсного синхронного генератора с дополнительной обмоткой и тиристорно-диодной системой возбуждения использована группа уравнений (1–7):

$$U_A = R_{sA} \cdot i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \quad (1)$$

$$U_B = R_{sB} \cdot i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \quad (2)$$

$$U_C = R_{sC} \cdot i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \quad (3)$$

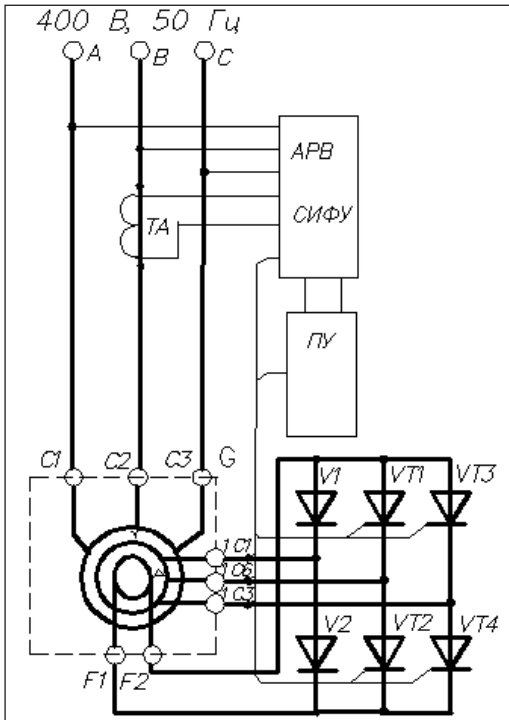


Рис. 2. Схема тиристорно-диодной системы возбуждения

$$U_a = R_{sa} \cdot i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \quad (4)$$

$$U_b = R_{sb} \cdot i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \quad (5)$$

$$U_c = R_{sc} \cdot i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \quad (6)$$

$$U_f = R_f \cdot i_f + \frac{d\psi_f}{dt}, \quad (7)$$

где $U_A, U_B, U_C, U_a, U_b, U_c$ – фазные напряжения основной (ОО) и дополнительной (ДО) якорной обмотки; U_f, i_f – напряжение и ток обмотки возбуждения; $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ – токи якорной, основной и дополнительной обмотки; $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c, \Psi_f$ – потокосцепления основной, дополнительной обмотки и обмотки возбуждения.

В связи с тем, что дифференциальные уравнения контуров синхронной машины в фазной системе координат содержат переменные коэффициенты, которые являются периодическими функциями углов поворота ротора, что усложняет решение этих уравнений, для упрощения решения уравнений и исключения переменных коэффициентов математическое описание синхронной машины необходимо выполнить в ортогональных координатах, жестко связанных с ротором.

Уравнения синхронного генератора в ортогональной системе координат представлены группой систем уравнений (8) и (18) и имеют вид:

$$U_d = R_s \cdot i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_r \psi_g, \quad (8)$$

$$\psi_d = L_d \cdot i_d + L_{md} \cdot (i_{fd} + i_{kd}), \quad (9)$$

$$U_g = R_s \cdot i_g + \frac{d\psi_g}{dt} + \omega_r \cdot \psi_d, \quad (10)$$

$$\psi_g = L_g \cdot i_d + L_{mg} \cdot i_{kg}, \quad (11)$$

$$U_{fd} = R_{fd} \cdot i_{fd} + \frac{d\psi_{fd}}{dt}, \quad (12)$$

$$\psi_{fd} = L_{fd} \cdot i_{fd} + L_{md} \cdot (i_d + i_{kd}), \quad (13)$$

$$0 = R_{kd} \cdot i_{kd} + \frac{d\psi_{kd}}{dt}, \quad (14)$$

$$\psi_{kd} = L_{kd} \cdot i_{fd} + L_{md} \cdot (i_d + i_{fd}), \quad (15)$$

$$0 = R_{kg} \cdot i_{kg} + \frac{d\psi_{kg}}{dt}, \quad (16)$$

$$\psi_{kg} = L_{kg} \cdot i_g + L_{mg} \cdot i_d, \quad (17)$$

$$J_r \cdot \omega_r \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{3}{2} (\psi_d \cdot i_g - \psi_g \cdot i_d) = M_{\text{мех}}, \quad (18)$$

где: U_d, U_g – напряжение якорной обмотки по продольной и поперечной осям; U_{fd} – напряжение обмотки возбуждения; I_g, i_d – токи якорной обмотки по продольной и поперечной осям; i_{kg}, i_{kd} – токи демпферных обмоток синхронной машины по продольной и поперечной осям; i_{fd} – ток обмотки возбуждения; Ψ_d, Ψ_g – потокоцепления по продольной и поперечной осям синхронной машины; Ψ_{kd}, Ψ_{kg} – потокоцепления демпферных обмоток синхронной машины по продольной и поперечной осям синхронной машины; J_r, ω_r – момент инерции и угловая скорость ротора; $M_{\text{мех}}$ – механический момент приводного двигателя генератора; L_d, L_g – индуктивность якорной обмотки синхронной машины по продольной и поперечной осям; L_{kd}, L_{kg} – индуктивность

демпферных обмоток синхронной машины по продольной и поперечной осям; L_{fd} – индуктивность обмотки возбуждения синхронной машины; R_{kd}, R_{kg} – активное сопротивление демпферных обмоток синхронной машины по продольной и поперечной осям; R_s – активное сопротивление якорной обмотки; R_f – активное сопротивление обмотки возбуждения; L_{md}, L_{mg} – взаимные индуктивности между обмотками генератора расположенными по продольной и поперечной осям.

При составлении полной математической модели генератора параметры дополнительной обмотки приводятся

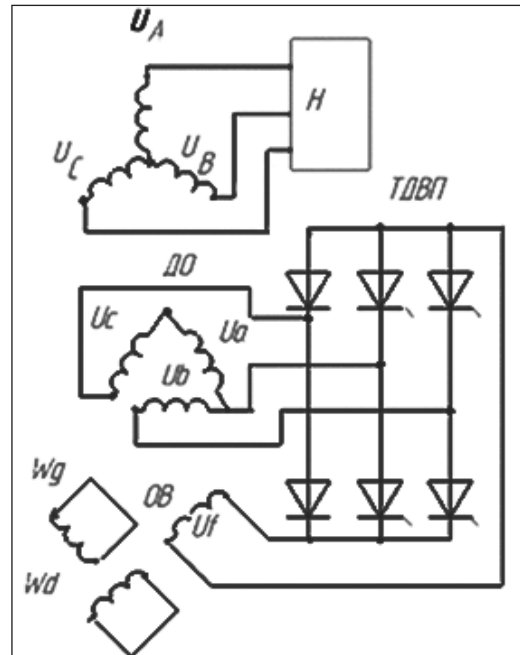


Рис. 3. Силовая часть схемы электрической системы генерирования с представлением обмоток ротора в ортогональной системе координат:
 ОЯ – обмотка якоря; Н – нагрузка генератора;
 ТДВП – тиристорно-диодный вентильный преобразователь; ДО – дополнительная обмотка;
 ОБ – обмотка возбуждения;
 Wd – демпферная обмотка по продольной оси;
 Wg – демпферная обмотка по поперечной оси

к основной обмотке статора с учетом того, что дополнительная обмотка выполняется на то же число пар полюсов, что и основная обмотка, а отличается числом витков, сечением и обмоточными коэффициентами. Анализ и исследование рассматриваемой системы генерирования электроэнергии проводится на основании уравнений (8–18) и по схеме, представленной на рис. 3. На основании второго закона Кирхгофа, составляются дифференциальные уравнения для независимых замкнутых контуров генератора и алгебраические уравнения для преобразователя ТДВП.

Цитированная литература

1. Технический каталог НП ЗАО «Электромаш». – Тирасполь, 2020. – 278 с. – Текст : непосредственный.
2. Избаш, Ф. А. Патент на изобретение Приднестровской Молдавской Республики № 81 «Система энергоснабжения», зарегистрировано в РАИС от 15 апреля 1998 г., опубликовано «Вестник Приднестровского Университета» № 1, 1998 г. – Текст : непосредственный.
3. Математическая модель явнополюсного синхронного генератора мини-ТЭЦ / Г. Я. Вагин, Е. Б. Солнцев, А. М. Мамонов, А. А. Петров. – Текст : электронный // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – № 2. – 2015. – URL: ivdon.ru/rumagazine/archive/n2p2y2015/2950 (дата обращения: 18.05.2023)

УДК 504.064.47 (502.36)

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ЗАО «МОЛДАВСКАЯ ГРЭС»

А. Н. Щербан, И. В. Яковец, В. В. Минкин

Проведена оценка экологической безопасности водного объекта – Кучурганского лимана. Произведен анализ загрязняющих веществ сточных вод Молдавской ГРЭС и их концентраций. Рассмотрены методы водоочистки. Показано, что для обеспечения экологической безопасности водного объекта целесообразно применение высокоэффективных электрохимических методов. Для реализации электрохимической очистки методом электрофлотации разработана нефтеловушка, применение которой позволит снизить концентрацию вредных примесей в воде и достичь высокой степени очистки сточных вод.

Ключевые слова: экологическая безопасность, теплоэнергетика, очистка сточных вод, концентрация загрязняющих веществ, водоочистное оборудование, электрофлотация, двухступенчатая очистка, нефтеловушка, электрохимическая очистка, синтетические поверхностно-активные вещества.

WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY BY ELECTROFLOTATION CJSC "MOLDAVIAN SDPS"

A. N. Shcherban, I. V. Yakovets, V. V. Minkin

An assessment of the environmental safety of the water body – the Kuchurgan estuary was carried out. The analysis of pollutants from the wastewater of the Moldavian SDPS and their concentrations was carried out. Methods of water treatment are considered. It is shown that it is advisable to use highly efficient electrochemical methods to ensure the environmental safety of a water body. To implement electrochemical purification by electroflotation, an oil trap has been developed, the use of which will reduce the concentration of harmful impurities in water and achieve a high degree of wastewater treatment.

Keywords: environmental safety, thermal power engineering, wastewater treatment, concentration of pollutants, water treatment equipment, electroflotation, two-stage purification, oil trap, electrochemical purification, synthetic surfactants.

Проблема нехватки чистой пресной воды в густонаселенных районах, крупных промышленных центрах, на территориях орошаемого земледелия, к которым, в частности, относятся такие страны, как ПМР и Молдова, усугубляется с каждым годом. Отсутствие чистой питьевой воды и загрязнение водоемов являются причиной многих заболеваний человека, а также губительно сказываются на растительном

и животном мире. Загрязнение пресных вод переходит из разряда локального в региональный, что характерно и для нашего региона.

ЗАО «Молдавская ГРЭС» является крупнейшим предприятием теплоэнергетики Приднестровской Молдавской Республики и основным поставщиком электроэнергии как в Молдову, так и в страны ближнего зарубежья – Румынию и Болгарию.

В соответствии с технологической схемой, электростанция для охлаждения турбин, вырабатывающих электроэнергию, осуществляет водозабор из реки Турнчук и после отработки сбрасывает ее в Кучурганский лиман. В результате охлаждения турбин происходит нагрев воды, температура которой выше температуры воды в водоеме на 6–9 °С. Как известно, теплая вода стимулирует бурный рост синезеленых водорослей, интенсивно поглощающих кислород из воды и вызывающих мор рыбы и других гидробионтов. Кроме того, при повышении температуры воды уменьшается растворимость в ней кислорода, что ухудшает условия для выживания гидробионтов.

Лиман является крупнейшим пресным водоемом на территории Приднестровья. Он имеет важное рыбопромысловое и сельскохозяйственное значение. Из водоема осуществляется водозабор для орошения сельскохозяйственных угодий многочисленных близлежащих агропромышленных предприятий, а также индивидуальных хозяйств как Приднестровья, так и соседней Украины.

Теплоэнергетика отличается токсичными сбросами тяжелых металлов, СПАВ (синтетических поверхностно-активных веществ) и нефтепродуктов второго и третьего классов опасности. Тяжелые металлы (соединения железа, меди и ванадия) образуются в процессе коррозии теплосилового оборудования, а также в процессе работы установок гидрозолеудаления. Они плохо растворимы в воде (произведение растворимости $PP = 10^{-15} - 10^{-18}$ г-ион/л) и образуют в ней взвесь (взвешенные вещества).

СПАВ, неорганические и органические кислоты применяются при кислотных промывках оборудования от накипи (ОП-7, ЭДТА (этилендитетраамин)). Нефтепродукты (бензин и соляровое масло) попадают в охлаждающую турбины воду в процессе работы насосного и других видов оборудования. Они плохо растворимы в воде и в то же время весьма токсичны, образуют суспензию (взвешенные вещества). Отделить их от воды, как нефтепродукты, отстаиванием технически невозможно.

Сброс неочищенных вод Молдавской ГРЭС помимо теплового загрязнения воды лимана создает угрозу химического загрязнения, в том числе и почвы. Неудовлетворительное состояние окружающей среды требует обеспечения экологической безопасности в отношении сброса неочищенных сточных вод в лиман.

Для охраны и профилактики водных объектов от загрязнения необходим комплексный подход, опирающийся по крайней мере на три элемента [1]:

- 1) нормативы качества воды;
- 2) нормативы предельно допустимых сбросов (ПДС);
- 3) контроль за соблюдением предельно допустимых концентраций (ПДК) в воде.

Нормативы ПДС химических веществ и микроорганизмов устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду субъектами хозяйственной и иной деятельности, исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки, нормативов ее качества, а также технологических

нормативов для следующих видов сбросов загрязняющих веществ:

- в городскую канализационную сеть;
- на собственные очистные сооружения;
- на поверхностные воды водных объектов и на почву.

Нормативы допустимых сбросов химических веществ и микроорганизмов на собственные очистные сооружения, поверхностные воды и на почву разрабатываются с учетом ПДК веществ в местах водопользования, ассимилирующей способности водного объекта (так как природная вода обладает способностью к самоочищению с помощью кислорода), солнечного излучения, количества микроорганизмов и высших водных растений [2].

При невозможности соблюдения нормативов ПДС химических веществ и микроорганизмов могут устанавливаться лимиты на сбросы на основании разрешений, действующих только в период проведения мероприятий по охране окружающей среды, внедрения НСТ и реализации других природоохранных проектов с учетом поэтапного достижения установленных нормативов сбросов химических веществ и микроорганизмов.

ПДК того или иного вещества в водоеме устанавливается по признаку вредного воздействия (влияние на здоровье населения, на органолептическое или общее санитарное состояние водоема), который характеризуется наименьшей пороговой концентрацией. Поскольку этот признак вредности определяет характер наиболее вероятного неблагоприятного действия

наименьших концентраций веществ, он получил название «лимитирующий показатель вредности».

Компромиссом между обеспечением экологической безопасности водных объектов, ограниченной эффективностью очистки сточных вод (техническая достижимость) и поэтапного внедрения современных технологий для приближения к экологически безопасным уровням ПДС являются лимиты на временно согласованные выбросы (ВСВ). Лимиты ВСВ устанавливаются в интересах промышленных предприятий и не предусматривают возможность и необходимость использования таких альтернативных природоохранных мер, как изменение технологии производства, ограничение производственной деятельности предприятий со снижением загрязнения стоков до уровня предельно допустимых сбросов, репрофилирование предприятий или их размещение на более экологически благоприятных для сброса сточных вод территориях. Однако сброс веществ на уровнях лимитов ВСВ всегда приводит к превышению величин предельно допустимых концентраций веществ в воде, наносит ущерб водным экосистемам, вызывая хронические заболевания и повышенную смертность населения [2].

Определяющий элемент системы охраны водных объектов от загрязнения – обеспечение контроля за сбросом сточных вод. При контроле определяют не все вещества, а сосредотачивают внимание на так называемых приоритетных загрязнениях. К таковым относятся наиболее токсичные и опасные для человека вещества

1-го и 2-го класса опасности, включая канцерогены (например, диоксины и бензопирен, тяжелые металлы, особенно соединения ртути, кадмия, мышьяка и хрома); вещества, влияющие на репродуктивную функцию, особенно радиоактивные вещества; высоко кумулятивные соединения (тяжелые металлы и пестициды и др.). Далее выбираются вещества, характерные для конкретной отрасли промышленности, наиболее распространенные загрязнения, часто обнаруживаемые в воде на уровнях высоких ПДК [3].

Для оценки экологической опасности сброса без очистки загрязняющих веществ Молдавской ГРЭС в Кучурганский лиман произведен расчет ПДС всех загрязняющих веществ, образующихся в технологическом процессе электростанции. Данные для расчета, полученные непосредственно на предприятии, представлены в табл. 1.

На основании полученных данных были произведены расчеты ПДС и количества загрязняющих веществ, фактически сброшенных в Кучурганский лиман, согласно методике, изложенной в [4], для чего использовали формулу:

$$\text{ПДС} = \text{ПДК} (\text{г/м}^3) \cdot V (\text{м}^3), \quad (1)$$

где V – объем сброшенных сточных вод.

В результате расчетов ПДС и количества загрязняющих веществ по формуле (1) получены следующие значения, представленные в табл. 2.

Согласно источникам, при сбросе сточных вод санитарное состояние водного объекта считается удовлетворительным, если соблюдается условие $\text{Ср. с.} \leq 1$, где Ср.с. – концентрация загрязняющих веществ в речном створе [5, с. 51].

Общая концентрация загрязняющих веществ определяется соотношением:

$$C_{\text{ЗВО}} = \sum_{i=1}^m \frac{\text{Ср.с.}_i}{\text{СПДК}_i}. \quad (2)$$

Тогда

$$C_{\text{ЗВО}} = \sum_1^6 \frac{\text{Ср.с.}}{\text{СПДК}} = \frac{2,5}{0,3} + \frac{1,5}{0,3} + \frac{1,5}{1,0} + \frac{1,0}{0,1} + \frac{500}{350} + \frac{500}{500} = 8 + 5,0 + 1,5 + 10,0 + 1,4 + 1,0 = 27$$

Полученное значение $C_{\text{ЗВО}} = 27 > 1$, что свидетельствует о превышении допустимых показателей общей концентрации гидроплютантов в 27 раз.

Учитывая, что в сточной воде Молдавской ГРЭС одновременно присутствуют тяжелые металлы, нефтепродукты и СПАВ, предприятие по общепринятой классификации относится к предприятиям 3 и 4 категорий экологической опасности. Таким образом, можно заключить, что сточные воды ЗАО «Молдавская ГРЭС» очищаются в недостаточной степени. Масштабы загрязнения и истощения водных ресурсов сегодня приняли угрожающий характер. Учитывая изложенное, для охраны от загрязнения вод Кучурганского лимана сточные воды перед сбросом их в водоем необходимо очищать от наиболее экологически опасных гидроплютантов.

Проведен критический анализ методов очистки сточных вод и прототипов водоочистного оборудования на основе патентных исследований [1].

В табл. 3 представлены основные характеристики такого оборудования.

Таблица 1

Экологическая характеристика гидрополлютантов МГРЭС

Наименование загрязняющих веществ	Объем сбросов в год, м ³	Фактическая концентрация, мг/л или г/ м ³	ПДК, мг/л или г/ м ³	ЛПВ и класс опасности*
Азот аммонийный	10000	30	2,0	С.-т. – 3
Нефтепродукты	10000	2,5	0,3	Орг. – 4
Железо общее	10000	1,5	0,3	Орг. – 4
Медь общая	10000	1,5	0,3	Орг. – 4
СПАВ	10000	1,0	0,1	Орг. – 4
Хлориды	10000	500	500	Орг. – 4
Сульфаты	10000	500	350	Орг. – 4
Фосфаты	10000	4,0	3,5	Орг. – 3

* ЛПВ – лимитирующий показатель вредности; с.-т. – санитарно-токсикологический показатель; орг. – органолептический показатель – вкус и запах воды

Таблица 2

ПДС и количества загрязняющих веществ, сброшенных в Кучурганский лиман

Сбрасываемое вещество	ПДС	Фактический сброс	Превышение ПДС
Азот аммонийный	20 кг/год	300 кг/год	15 раз
Нефтепродукты	3 кг/год	25 кг/год	8,3 раз
Железо общее	3 кг/год	15 кг/год	5 раз
Медь	3 кг/год	15 кг/год	5 раз
СПАВ	1 кг/год	10 кг/год	10 раз
Сульфаты	3500 кг/год	5000 кг/год	1,4 раз
Фосфаты	35 кг/год	40 кг/год	1,14 раз

Важнейшими технологическими мерами охраны водных ресурсов являются совершенствование технологии производства и внедрение бессточных технологических комплексов. Они основаны на оборотной системе водоснабжения, при которой вода, использованная в производстве целевого продукта и загрязненная различными гидрополлютантами, подвергается глубокой очистке механическими и физико-химическими методами и многократно повторно используется в производстве, не образуя сточных вод. Для очистки подобных стоков Молдавской ГРЭС целесообразно применение высокоэффективных электрохимических методов очистки сточных вод.

Однако организация бессточного производства – довольно трудоемкое и дорогостоящее мероприятие, поэтому боль-

шинство промышленных предприятий сточную воду очищают механическими, химическими и биологическими методами перед сбросом в водоемы или на сооружения городской биологической очистки. Исходя из всего сказанного, в процессе создания системы водоочистки Молдавской ГРЭС предстоит решить ряд инженерных и технических задач.

Как указано выше, тяжелые металлы (железо и медь), попадающие в сточную воду, находятся в воде в виде гидроксидов $Fe(OH)_2$ и $Cu(OH)_2$, которые очень плохо растворяются в воде (произведение растворимости $PR = 10^{-15} - 10^{-18}$ г-ион/л) и образуют взвешенные вещества. СПАВ также плохо растворимы в воде и образуют суспензию. Исследуемая смесь гидроксидов тяжелых металлов, нефтепродуктов

Основные характеристики прототипов водоочистного оборудования

Методы очистки сточных вод	Механические методы	Химические методы	Физико-химические методы	Биологические методы
Сущность устройств, принцип или метод очистки воды	1. Нефтеловушка – разделение слоев несмешивающихся жидкостей различного удельного веса	1. Способ очистки СВ от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Стоки с соединениями кальция смешивают со стоками, загрязненными маслом и направляют в отстойник, где они коагулируют	1. Устройство для разделения двух и более компонентов текучих сред 2. Устройство для электрохимической обработки воды 3. Адсорбент для очистки СВ от нефтепродуктов, который на 20 % состоит из нефти, а также песка и глины	1. Биофильтр из полистирола – открытая сверху цилиндрическая емкость, заполненная гранулами с нанесенными на них микроорганизмами
	2. Оборудование и технология для непрерывной очистки СВ во вращающихся проточных аппаратах барабанного типа, очищает от ТМ и нефтепродуктов	2. Способ очистки стоков от органических примесей белком молочной сыворотки в щелочной среде. Белок взаимодействует с органическими веществами и выпадает в осадок	4. Устройство для очистки сточных вод кавитацией и электрическими импульсами	2. Устройство для очистки СВ, содержащее биофильтр с нанесенными микроорганизмами. Позволяет снизить загрязненность СВ перед сбросом в канализацию на 75–85 %
	3. Микрофильтрационная установка на керамических мембранах. Очищает концентрированные растворы, $N = 0,4 \text{ м}^3/\text{ч}$		5. Способ очистки СВ от нефти и нефтепродуктов сочетанием адсорбции и экстракции	

и СПАВ состоит из жидкостей и взвешенных веществ с различным удельным весом: СПАВ имеют удельный вес $d = 0,93 \text{ г/см}^3$; нефтепродукты $d = 0,85 \text{ г/см}^3$.

Исследователями разработаны различные методы для очистки сточных вод, например, В. В. Малышев предлагает электрохимические методы, в частности электролиз, электроосмос, электрокоагуляцию, электрофлотацию и другие [6]. Однако для условий функционирования Молдавской ГРЭС самым приемлемым, эффективным и простым в аппаратурном оформлении и эксплуатации является ме-

тод очистки сточных вод электрофлотацией. По данным А. И. Родионова с соавторами, эффективность этого метода при очистке сточных вод от тяжелых металлов и СПАВ составляет 99 % [7].

Для удаления из воды нефтепродуктов необходима реализация принципа разделения слоев жидкостей с различным удельным весом, который реализуется в конструкции нефтеловушек. Однако после отделения нефтепродуктов необходимо очистить воду от гидроксидов тяжелых металлов и СПАВ. Это задача в нефтеловушке не реализуется [8]. Отделить их

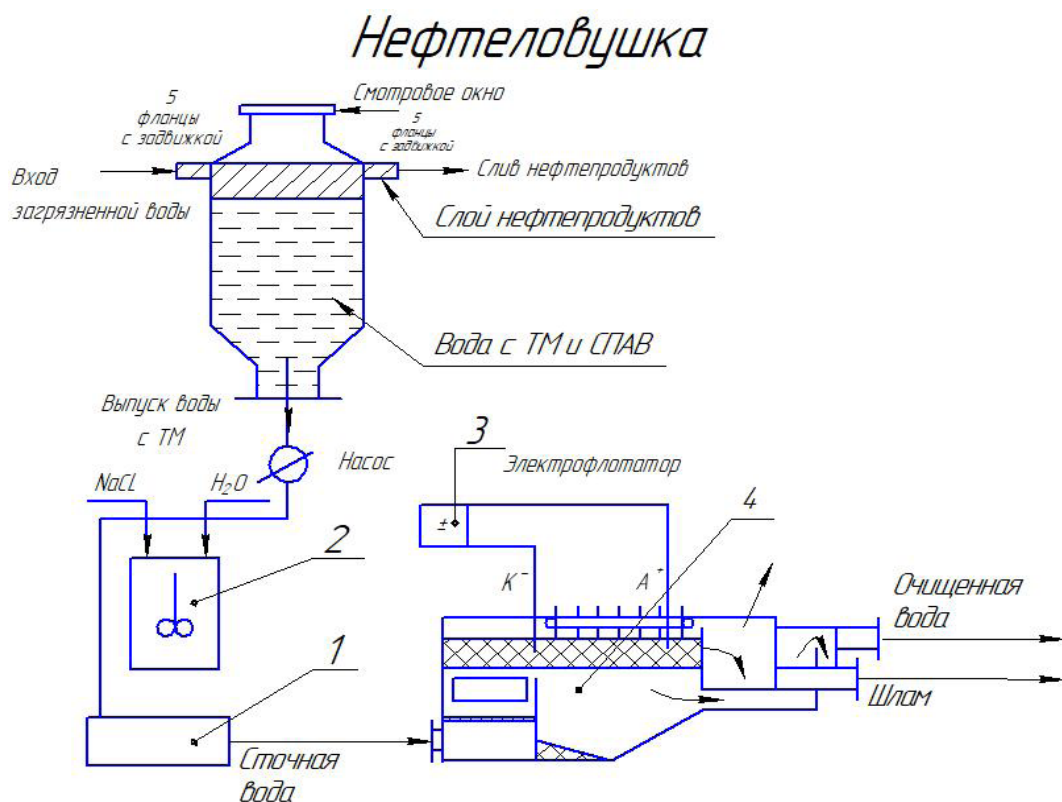
от воды, как нефтепродукты, отстаиванием технически невозможно. Таким образом, приемлемым методом их удаления из сточной воды является электрофлотация.

Разработана модернизированная установка поэтапной очистки сточных вод Молдавской ГРЭС от смеси тяжелых металлов, СПАВ и нефтепродуктов, позволяющая очистить сточные воды предприятия до уровня ниже санитарных норм (ПДКв), что предотвращает загрязнение и эвтрофикацию воды Кучурганского лимана,

имеющего рыбохозяйственное значение. Схема установки представлена на рисунке.

В настоящее время в технике широко используется модульный метод проектирования промышленного оборудования. Применительно к системе водоочистки МГРЭС это означает, что система будет включать два блока:

- 1) подсистема очистки от нефтепродуктов;
- 2) подсистема очистки от СПАВ.



1. Усреднитель
2. Бак для приготовления раствора соли
3. Источник постоянного тока
4. Электрофлотатор

Принципиальная схема комплексной установки очистки сточных вод от СПАВ и нефтепродуктов

Первая ступень очистки сточной воды реализуется в нефтеловушке. Сточная вода со смесью тяжелых металлов, СПАВ и нефтепродуктов направляется в нефтеловушку, имеющую вход и два выхода (сбоку и снизу).

Неочищенные сточные воды насосом закачиваются в нефтеловушку и запираются с двух сторон фланцами с задвижками (позиция 5 на рис.). В течение ~ 0,5 часа происходит их отстаивание и образование двух слоев жидкости (используется физический принцип разделения слоев несмешивающихся жидкостей с различным удельным весом).

Нефтепродукты, имеющие наименьший удельный вес, образуют верхний слой, СПАВ и гидроксиды металлов, как более тяжелые – нижний слой.

Процесс разделения слоев контролируется с помощью прозрачного смотрового окна, причем слой нефтепродуктов имеет темную окраску, а слой СПАВ более светлую.

После полного разделения слоев открывается правая боковая задвижка и нефтепродукты с наименьшим удельным весом насосом закачиваются в отдельную емкость. Затем правая боковая задвижка закрывается. Эффективность очистки воды от нефтепродуктов при этом достигает 95 %.

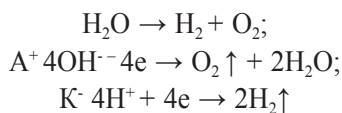
Затем снова открывается правая боковая задвижка и смесь СПАВ с гидроксидами тяжелых металлов, оказавшийся верхним слоем, также сливается в отдельную емкость.

На второй ступени очистки сточной воды смесь гидроксидов тяжелых метал-

лов и СПАВ с водой с помощью насоса направляется на электрофлотатор, который состоит из емкости с опущенными в нее электродами, впускной камеры и шламоприемника.

Технология очистки сточной воды от гидроксидов тяжелых металлов и СПАВ методом электрофлотации заключается в следующем. Сточная вода вначале поступает в усреднитель (позиция 1 на рис.), где происходит ее разбавление и уменьшение концентрации загрязняющих веществ. Сюда же поступает раствор хлористого натрия из бака приготовления раствора (позиция 2 на рис.) для увеличения электропроводности воды (вода – проводник второго рода и плохо проводит электрический ток).

Далее сточная вода поступает в электрофлотатор, где происходит основной процесс очистки от смеси гидроксидов тяжелых металлов, в котором она направляется вначале в успокоитель, где резко снижается ее скорость (позиция 4 на рис.). В аппарат подается ток с помощью источника постоянного тока. Очистка сточных вод от взвешенных веществ происходит при помощи пузырьков газов, образующихся при электролизе воды при подаче постоянного тока от источника (позиция 3 на рис.) по схеме:



На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде – водорода. Основную роль при электрофлотации играют пузырьки водорода, которые значительно меньшего размера (диаметр пузырьков

меняется от 20 до 100 мкм), зависящего от краевого угла смачивания и кривизны поверхности электродов. Мелкие пузырьки водорода обладают большей растворимостью, чем крупные. Образующиеся пузырьки прилипают к частицам взвешенных веществ (загрязнений) и флотируют их на поверхность воды, после чего с помощью скребка их удаляют в шламоприемник.

Для получения пузырьков требуемого размера необходим правильный подбор материала, диаметра проволоки катода и плотности тока. Оптимальное значение плотности тока, обеспечивающее электролиз воды, – 200 – 260 А/м², газосодержание (объем газа по отношению к объему воды) – 0,1 %.

Таким образом, разработанные оригинальные конструкция нефтеловушки, устройство и технология комплексной двухступенчатой очистки сточных вод от смеси гидроксидов тяжелых металлов, СПАВ и нефтепродуктов, позволяют очистить сточную воду до уровня ниже установленных санитарных норм.

Цитированная литература

1. Экология города: учебное пособие / В. В. Денисов, А. С. Курбатов, И. А. Денисова [и др.]; под редакцией профессора В. В. Денисова. – Москва : MapT; Ростов-на-Дону : MapT, 2008. – 832 с. – URL: https://www.studmed.ru/denisov-vv-red-ekologiya-goroda_0e9738a7a82.html (дата обращения: 03.05.2023). – Текст : электронный.

2. Хлебников, В. Ф. Охрана окружающей среды и заповедное дело: учебное пособие / В. Ф. Хлебников, В. В. Минкин. – Тирасполь :

Издательство Приднестровского университета, 2010. – 148 с. – Текст : непосредственный.

3. Пугачев, Е. А. Эффективное использование воды в производственных промывочных процессах / Е. А. Пугачев, А. Е. Порохня. – Текст : электронный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 6. – С. 53–56. – URL: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2013/2013-6/4723-effektivnoje-ispolzovanije-vody> (дата обращения: 03.05.2023).

4. Верещагина, Л. М. Новая технология очистки сточных вод фармацевтического производства / Л. М. Верещагина. – Текст : электронный // Экология производства. – 2012. – № 4. – С. 59–61. – URL: <https://www.ecoindustry.ru/magazine/archive/viewdoc/2012/4/2658.html> (дата обращения: 04.05.2023).

5. Чеснокова, Т. А. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: учебное пособие / Т. А. Чеснокова [и др.]; Ивановский государственный химико-технологический университет. – Иваново, 2014. – 170 с. – URL: <https://mkl.isuct.ru/e-lib/sites/default/files/oht05052014.pdf>. – Текст : электронный.

6. Малышев, В. В. Технологические особенности гальванокоагуляции / В. В. Малышев, Н. П. Мовчан. – Текст : электронный // Экология производства. – 2011. – № 1. – С. 47–61. – URL: <https://www.ecoindustry.ru/magazine/archive/viewnumber/2011/1.html> (дата обращения 04.05.2023).

7. Родионов, В. И. Технологические процессы экологической безопасности : учебник / В. И. Родионов, А. С. Клушин, В. Г. Систер. – Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с. – URL: <https://libcats.org/book/560750> (дата обращения 03.05.2023). – Текст : электронный.

8. Розенвинкель, К. Х. Керамические мембраны в качестве погружных модулей в мембранных биореакторах / К. Х. Розенвинкель. – Текст : электронный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 12. – С. 44–47. – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-К%2036-648996> (дата обращения: 04.05.2023).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А. В. Кирсанова, А. А. Недоруб

В статье представлены результаты разработки программного комплекса, предназначенного для автоматизации поиска оптимального распределения электрической нагрузки энергоблоков электростанции, его архитектура, выбор системы управления базами данных, а также краткое описание алгоритмов работы приложения автоматического распределения электрической нагрузки энергоблоков.

Ключевые слова: *нагрузка энергоблоков электростанции, автоматизированная система, экономия топлива, расчет нагрузки.*

DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL SOFTWARE PACKAGE DISTRIBUTION OF THE ELECTRIC LOAD OF THE POWER PLANT

A. V. Kirsanova, A. A. Nedorub

The article presents the results of the development of a software package designed to automate the process of finding the optimal distribution of the electrical load of power units of a power plant, its architecture, the selection of a database management system, as well as a brief description of algorithms for the application of automatic distribution of electrical loads of power units.

Keywords: *load of power plant units, automated system, fuel economy, load calculation.*

В конце 50-х гг. прошлого столетия остро встал вопрос о строительстве мощной электростанции в Молдове, которая была бы в состоянии покрыть дефицит электрической мощности в южном регионе Советского Союза. В сентябре 1964 г. завершено строительство Молдавской государственной районной электростанции (МГРЭС) и введен в работу ее первый энергоблок. В настоящее время станция снабжает электроэнергией Приднестровье, Молдову и юг Украины, имея установленную мощность 2520 МВт. Основное топливо – уголь и газ, дополнительное – мазут. Электростанция связана с объединенной южной энергосистемой,

входящей в Единую энергосистему России и Украины.

Процесс выработки электроэнергии весьма сложный и включает несколько ключевых моментов. В частности, функционирование Молдавской ГРЭС основано на работе пяти очередей блоков (очередью называют совокупность энергоблоков, которые вводятся в эксплуатацию): 1–4 очередь (6 работоспособных блоков, 4 выведены из эксплуатации) и 5 очередь с двумя работоспособными блоками, которая находится на периферии. Например, 1-я очередь – это 1, 2, 3 энергоблоки; 2-я очередь – это 4, 5, 6 энергоблоки; 3-я очередь – это 7 и 8 энергоблок; 4-я очередь – это 9 и 10 энергоблок.

Начальник смены станции в ручном режиме выполняет расчет распределения электрической нагрузки между работающими энергоблоками. Ручной расчет занимает значительное время, и требуется неоднократное его выполнение в течение смены в зависимости от суточного графика нагрузки. Кроме того, при использовании данного метода не всегда (по различным причинам) возможна полная, точная и своевременная оценка технико-экономического состояния работающих энергоблоков, поэтому очевидной является актуальность разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) распределения нагрузки между блоками очередей электростанции.

Объектом исследования в данной работе является цех тепловой автоматики и измерений (ЦТАИ) МГРЭС, точнее, подразделение цеха – АСУ ТП. На электростанции действует АСУ ТП, состоящая из двух подсистем – управление технологической и управление электрической частью электростанции [1, 2].

Для технологических объектов промышленности как объектов автоматизации характерны следующие особенности: наличие разнородных функциональных задач, возникающих при автоматизации; относительно высокий уровень автоматизации существующих объектов технологического управления; повышение актуальности задач оптимизации и др. [3]. Управление такими объектами невозможно без современных средств автоматизации, вычислительной техники, высокоэффективных автоматизированных систем [4].

АСУ ТП относится к классу сложных систем, обладающих следующими особенностями: общая цель всех элементов; системность реализуемых алгоритмов обмена и обработки информации; большое количество функциональных подсистем, входящих в состав системы. Современный этап развития АСУ ТП характеризуется использованием промышленных технологий создания и внедрения АСУ ТП на базе серийно выпускаемых промышленных контроллеров, совместимых с персональными компьютерами и мощными программно-аппаратными комплексами, поддержкой программирования технологического процесса системы управления – системы *SCADA*, а также разработкой и стандартизацией сетевых технологий [5].

Актуальность разработки АСУ ТП ЦТАИ МГРЭС, которая смогла бы автоматически выполнять поставленные задачи разработки и внедрения системы оптимального распределения электрической нагрузки энергоблоков станции (СОРНС) как части существующей на электростанции системы, состоит в том, что СОРНС позволит значительно повысить точность регулирования, экономичность режима работы оборудования и качество ведения технологического процесса, что в свою очередь увеличит срок службы оборудования. Также актуальность исследуемой тематики заключается в том, что разрабатываемая система позволит автоматизировать процесс выборки оптимальных режимов электрической нагрузки для отдельных энергоблоков и станции в целом, а так же повысить экономичность предприятия путем снижения затрат на топливо [6, 7].

Завершение данной работы и успешное внедрение СОРНС приведет к снижению расхода топлива, а также повысит надежность и долговечность работы оборудования, благодаря сбалансированному режиму управления каждым энергоблоком и электростанцией в целом. Главными задачами автоматизации являются повышение экономичности работы оборудования и исключение ошибочных действий персонала при ручном расчете оптимальной нагрузки энергоблока.

СОРНС выполняет расчетные и информационные функции. Расчетные функции: первичное построение топливных характеристик энергоблоков; автоматическая корректировка топливных характеристик энергоблоков на основании накопленных данных технико-экономических показателей (ТЭП) за неделю; автоматическое определение режимов работы энергоблоков; автоматическое распределение нагрузки. Информационные функции: представление информации на верхнем уровне оператору и вывод отчетов для печати.

На первом этапе исследования была изучена нормативно-техническая документация ЦТАИ и методы ручного расчета оптимальных электрических нагрузок, а также способы получения информации о текущем состоянии энергоблоков [5, 8]. Вся информация об основных параметрах работы энергоблока (расход, давление, уровень, температура, вибрация, осевые отклонения и т. д.) регистрируется в блочном щите управления. Именно на основе этих полученных ТЭП по каждому блоку создана и внедрена СОРНС, которая позволяет оптимально распределить элек-

трическую нагрузку между энергоблоками при выбранном критерии и заданной суммарной нагрузке станции. Критериями оптимизации являются: суммарный расход топлива на электростанции (ЭС) и суммарные затраты на топливо (при одновременном сжигании нескольких видов топлива).

При поиске оптимальных электрических нагрузок энергоблоков, обеспечивающих выполнение указанных критериев, учитываются следующие факторы:

1) суммарная электрическая нагрузка электростанции, заданная суточным графиком нагрузки;

2) допустимые электрические нагрузки энергоблоков;

3) работа котлоагрегатов в различных режимах;

4) отключение (остановка) энергоблоков;

5) фиксация нагрузки энергоблоков;

6) расход электроэнергии на собственные нужды;

7) ограничения по максимально допустимому расходу топлива на ЭС.

Анализ информационных задач показывает, что для реализации требуемых функций СОРНС подходят почти все СУБД (*Oracle, Clipper, MS SQL Server, MS Access* и др.) [9]. Данный программный комплекс работает с *MS SQL Server*.

В системе используется полноценная модель клиент-серверного взаимодействия. Архитектура системы включает поддержку различных типов глобальных сетей с использованием стандартного аппаратного и программного обеспечения для соединения узлов в единую интегрированную систему [8]. Для максимальной

гибкости в сети используется протокол *TCP/IP* с прямым интерфейсом к системным приложениям. База данных событий реального времени *SQL Server ICS* записывается как база данных событий *EMS* – комментарии, относящиеся к событиям, также записываются и считываются из этой базы данных. Система управления собирает данные с помощью периодического сканирования интервалом от 0,005 до 900 секунд для сервера и от 0,005 до 2 секунд для контроллеров управления.

Входные данные для СОРНС – это технико-экономические показатели, которые поступают из базы данных отдела информационных технологий (ОИТ). В базу данных ОИТ информация о ТЭП передается по схеме, представленной на рис. 1.

Процесс получения данных на примере параметра расхода топлива состоит в следующем. Датчик по расходу топлива выдает токовый сигнал, который отображается в виде показаний на экране видеографического регистратора. В самом регистраторе установлен АЦП, который преобразует токовый сигнал в цифровой. От регистратора уходит витая пара RS 485, соединенная с преобразователем интерфейса, а преобразователь интерфейса отправляет пакет данных в базу данных

АСУ ТП. Система сбора и обработки данных сосредоточена на ИВЦ-1 и ИВЦ-2, которые объединены в одну сеть для обмена информацией ОИТ, а необходимые данные используются для СОРНС.

Алгоритм работы СОРНС состоит из пяти блоков.

Блок 1. Первичное построение топливных характеристик энергоблоков (выполняется один раз для каждого энергоблока перед вводом в работу СОРНС).

1. Для построения топливной характеристики (ТХ) энергоблока производится выборка следующих данных (значения на каждый расчетный час), которые соответствуют нормальным условиям работы энергоблока:

- активная электрическая нагрузка энергоблока $N_{эл}$ в МВт;

- удельный расход условного топлива $b_{усл}$ в г/кВт·ч.

2. Основываясь на выбранных данных, рассчитывается значение функции зависимости удельного расхода условного топлива (УРУТ) от нагрузки энергоблока:

$$b_{усл} = f(N_{эл}) = a_0 + a_1 \cdot N + a_2 \cdot N^2 + a_3 \cdot N^3 + a_4 \cdot N^4, \quad (1)$$

где $b_{усл}$ – удельный расход условного топлива, г/кВт·ч;

$N_{эл}$ – активная электрическая нагрузка энергоблока, МВт;

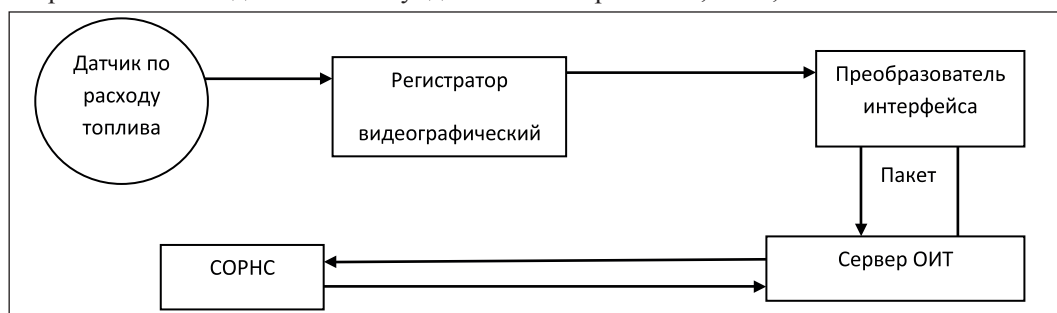


Рис. 1. Схема передачи информации о ТЭП в базу данных ОИТ

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты полинома.

3. С помощью полученной функции рассчитываются значения УРУТ в ключевых точках нагрузок энергоблоков – строится отдельная ТХ для каждого энергоблока.

4. Построенная ТХ сохраняется в базе данных АСУ ТП.

Блок 2. Автоматическая корректировка ТХ энергоблоков на основании накопленных данных ТЭП за неделю (запускается один раз в сутки).

1. Выполняется выборка следующих данных (значений за каждый расчетный час):

– активная электрическая нагрузка энергоблока $N_{эл}$ в МВт;

– удельный расход условного топлива $b_{усл}$ в г/кВт*ч.

2. Основываясь на выбранных данных и информации, хранимой в БД, описывается функция зависимости УРУТ от нагрузки энергоблока:

$$b_{усл\ new} = f(N_{эл\ new}) = a_{0\ new} + a_{1\ new} \cdot N_{new} + a_{2\ new} \cdot N_{new}^2 + a_{3\ new} \cdot N_{new}^3 + a_{4\ new} \cdot N_{new}^4 \quad (2)$$

3. С помощью полученной функции находят значения УРУТ в ключевых точках нагрузки энергоблоков – строится обновленная ТХ (с шагом $N = 5$ МВт) каждого энергоблока вида:

$$b_{1\ усл} = f(N_{1\ эл}), \text{ где } N_1 = 80 \text{ МВт}; b_{2\ усл} = f(N_{2\ эл}), \text{ где } N_2 = 85 \text{ МВт} \dots$$

4. Вновь полученная ТХ энергоблоков усредняется с актуальной ТХ. Некоторые точки могут отсеиваться, если они отличаются на ± 5 г/кВт*ч. Данные, которые прошли проверку и усреднение сохраня-

ются в БД АСУ ТП. Приложением выполняется хранение предыдущих версий ТХ каждого энергоблока для обеспечения возможности восстановления (отката) в случае ошибок в текущей версии ТХ. Топливная характеристика сохраняется за каждые расчетные сутки (т. е. если энергоблок работал 24 часа и ТХ рассчитана, то она сохранится в БД).

Блок 3. Автоматическое определение режимов работы энергоблока.

Периодически, один раз в минуту, происходит проверка (мониторинг) режимов работы энергоблоков.

При появлении изменений в режимах работы энергоблоков (изменение экономичности энергоблока или изменение диапазона нагрузки энергоблока из-за возникших технологических ограничений) данные о сменившихся режимах записываются в БД. В этих случаях инициируется перерасчет оптимального распределения электрической нагрузки между энергоблоками.

Применяются заданные поправки и ограничения на отклонение от нормальных условий режима работы энергоблока (возникновение технологических ограничений), используемые в программе определения оптимального распределения нагрузки. Ввод поправки в перерасчет ТХ энергоблоков $b_{усл} = f(N_{эл})$ производится автоматически при снижении температуры турбины $T_{п.в.}$ ниже 170 °С и/или при снижении давления $P_{о.п.}$ ниже 123 кгс/см². Гистерезис поправки по температуре питательной воды за ПВД-7 составляет ± 5 °С, по давлению острого пара перед турбиной составляет ± 2 кгс/см².

При возникновении технологических ограничений оператору выводится соответствующее сообщение. В соответствии с возникшим технологическим ограничением топливная характеристика энергоблока, передающаяся из БД в Блок 3 для обработки, корректируется соответствующей корректирующей функцией (увеличивается удельный расход условного топлива по определенной зависимости в соответствии с существующими номинальными значениями).

При возникновении технологического ограничения и соответствующей корректировке ТХ энергоблока автоматически запускается перестроение графика распределения электрической нагрузки между энергоблоками (о чем оператору выводится соответствующее сообщение).

Блок 4. Автоматическое распределение нагрузки (корректировка графика нагрузки электростанции) выполняется автоматически при диагностировании технологических отклонений на энергоблоке.

Распределение нагрузки выполняется автоматически, при помощи СОРНС, либо по команде оператора при необходимости корректировки графика нагрузки электростанции. При распределении нагрузки станции СОРНС учитывает значение коэффициента K , определяемого следующим образом:

$$K = \frac{N_{\text{станции}} - N_{\text{гту}}}{n_{\text{бл.}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{станции}}$ – нагрузка станции на текущий час;

$N_{\text{гту}}$ – суммарная нагрузка на текущий час;

$n_{\text{бл.}}$ – количество работающих энергоблоков на текущий час.

При $K \leq 120$ электрическая нагрузка станции распределяется между энергоблоками поровну, при $K > 120$ – распределяется оптимально.

Автоматическое перестроение графика распределения нагрузки происходит в случае изменения технологических режимов энергоблоков, которые вводятся в СОРНС вручную оператором или определяются автоматически по соответствующим признакам (автоматическое определение (мониторинг) технологических режимов производится в Блоке 3, а обработка технологических ограничений реализована в Блоке 4 алгоритма).

Блок 5. Блок организации человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

При подготовке входной информации определяются следующие параметры: плановая мощность электростанции; состав работающего оборудования; приоритет по регулированию; скорость изменения нагрузки энергоблока; текущие топливные характеристики; диапазоны работы энергоблоков; ограничение времени на набор и снижение нагрузки энергоблока при переходе между учетными часами (настроечный параметр, составляет 30 минут: 15 минут до перехода между часами и 15 минут после перехода).

Основные этапы алгоритма работы СОРНС показаны на рис. 2.

Интерфейс оператора СОРНС выполняет две основные функции: предоставление информации о работе энергоблоков и электростанции в целом и автоматическое распределение нагрузки электростанции.

На видеокдрах приложения отображается следующая информация:

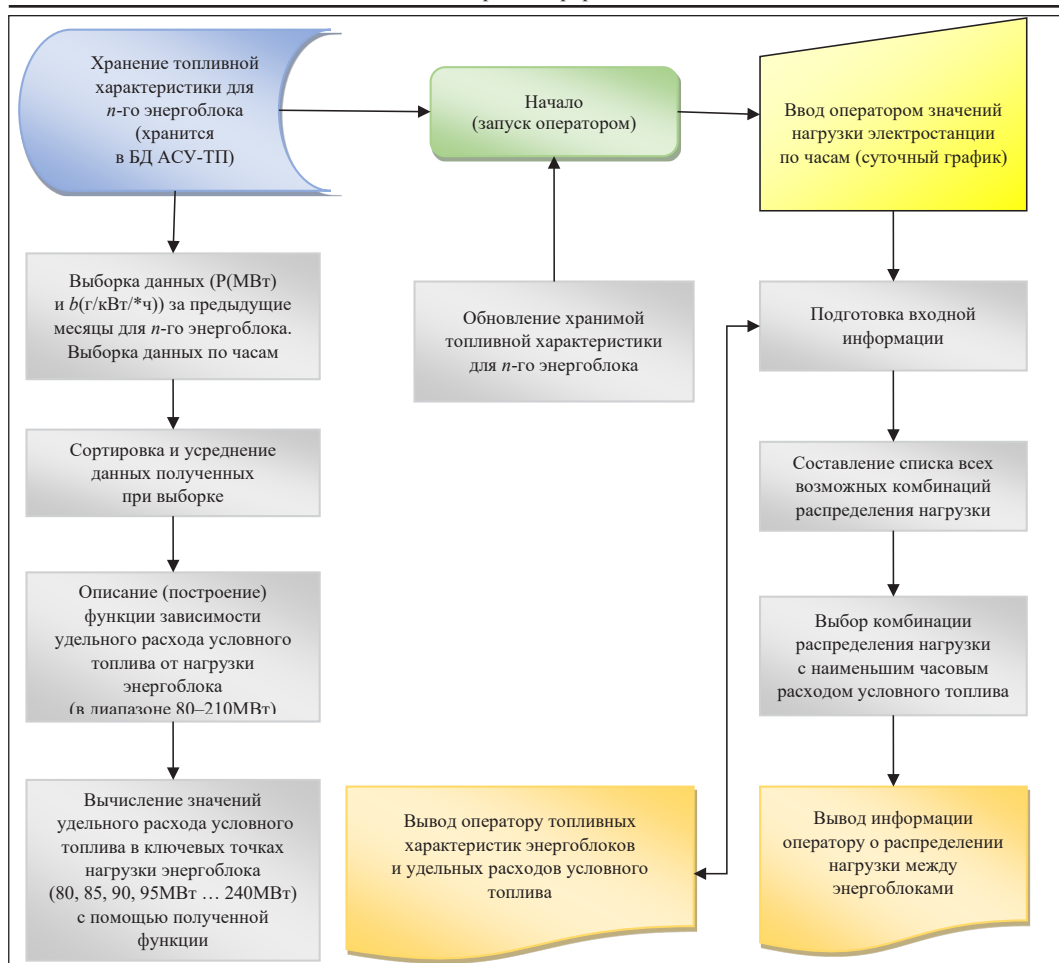


Рис. 2. Алгоритм работы СОПНС

- плановая и фактическая нагрузка станции;
- топливные характеристики энергоблоков;
- плановое распределение электрической нагрузки между энергоблоками;
- удельный расход топлива энергоблоков;
- оперативные данные о работе СОПНС.

Представление информации о работе СОПНС на экране дисплея в виде фраг-

ментов (видеокадров) позволяет передать наиболее полную информацию с учетом требований эргономики и интуитивной понятности ЧМИ. Контроль параметров на видеокадрах СОПНС обеспечивается следующими методами представления информации: числовой, графической, световой (информация о событии отображается монотонной подсветкой или миганием).

В интерфейсе СОПНС заложены следующие видеокадры (внутренние

окна-вкладки в видеокадре): общестанционный график нагрузки; топливные характеристики работающих блоков; распределение нагрузки; расход топлива; редактирование плана оптимального распределения нагрузки на текущий день; отчет по оптимальному

распределению нагрузки станции; окно оперативной информации (окно событий).

На рис. 3 представлено окно СОРНС, в котором изображены графики зависимости удельных расходов топлива от нагрузки для шести энергоблоков: по оси

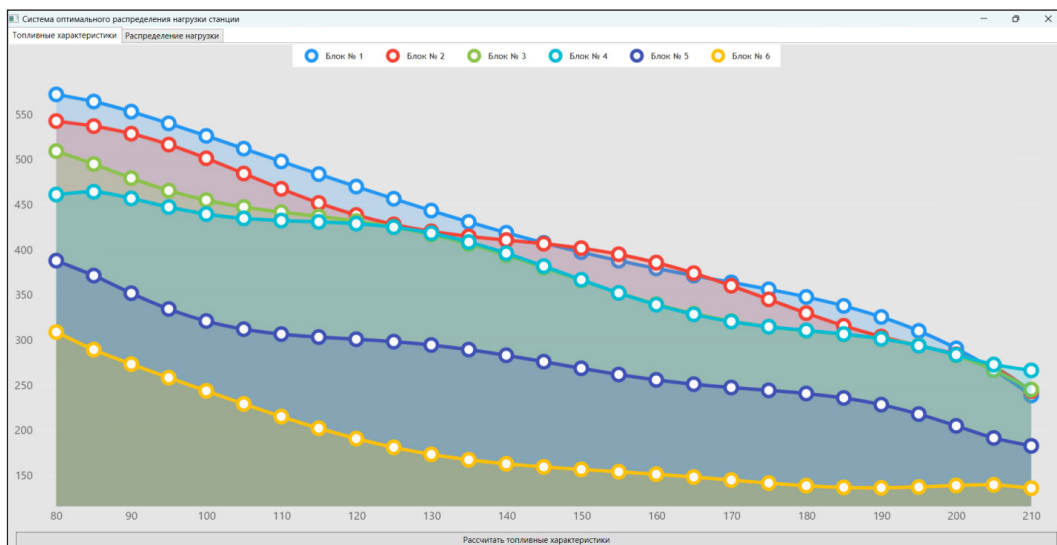


Рис. 3. Топливные характеристики энергоблоков

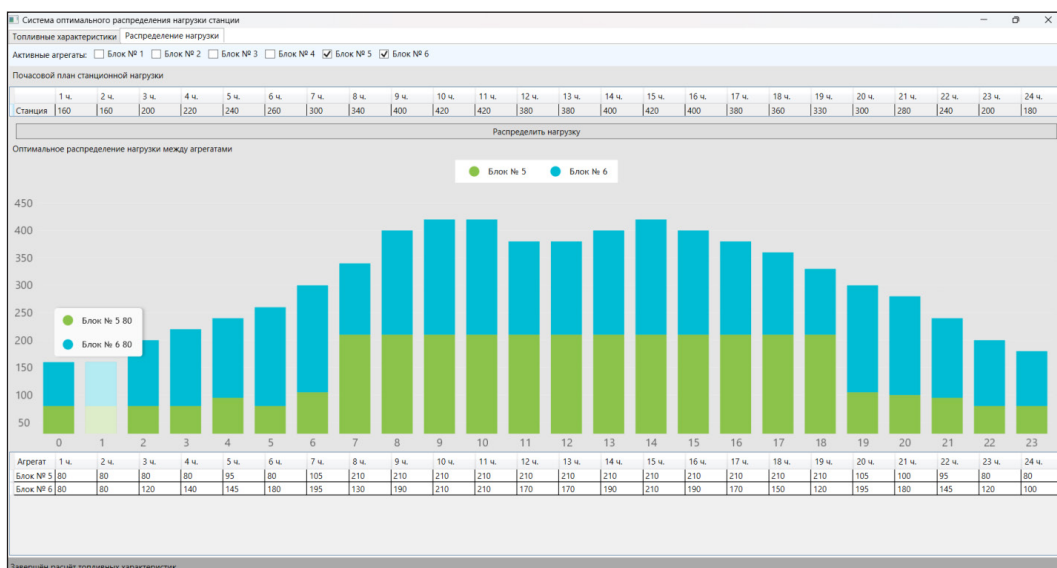


Рис. 4. График распределения нагрузки

абсцисс выработанная электроэнергия в МВт·ч, а по оси ординат – расход топлива.

На рис. 4 показано окно СОРНС, в котором построен график распределения нагрузки для пятого и шестого блоков (в МВт·ч по оси ординат) для заданных исходных значений суммарной нагрузки станции на данный час (по оси абсцисс).

Для определения соответствия алгоритмического и функционального программного обеспечения СОРНС требованиям поставленных задач была использована существующая на МГРЭС внутренняя документация.

В результате работы программно реализована СОРНС, которая выполняет заявленные расчетные и информационные функции, что обеспечит высокий уровень точного ведения технологического режима электростанции, а также за счет внедрения разработанной системы значительно сократятся трудозатраты при ведении эксплуатационной документации (сбор, хранение, обработка информации; учет, разработка и использование документов и т. д.).

Цитированная литература

1. Федотов, А. В. Автоматизация управления в производственных системах: Учебное пособие для вузов / А. В. Федотов – Омск: ОмГТУ, 2001. – 354 с. – URL: <https://ihtika.ru/book/download/fedotov-av-avtomatizaciya-upravleniya-v-proizvodstvennyh-sistemah> (дата обращения: 10.04.2023) – Текст : электронный.

2. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации / Б. В. Шандров. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с. – URL: <https://www.studmed.ru/shandrov-bv-chudakov-ad-tehnicheskie-sredstva->

[avtomatizacii](#) (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный

3. Автоматизированные системы управления специального назначения: учебное пособие / В. Н. Козичев, А. А. Протасов, А. В. Ширманов, С. В. Крейдин. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2020. – 214 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/2013683> (дата обращения: 08.04.2023). – Текст : электронный.

4. Шишов, О. В. Современные средства АСУ ТП: учебник / О. В. Шишов. – Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 532 с. – URL: <https://glavkniga.su/book/557288> (дата обращения: 08.04.2023). – Текст : электронный.

5. Глазырин, М. В. Автоматизированные системы управления тепловых электростанций: учебное пособие / М. В. Глазырин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – 79 с. – URL: <https://avidreaders.ru/read-book/avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya-teplovyyh-elektrostanciy> (дата обращения: 08.04.2023). – Текст : электронный.

6. Папков, Б. В. Надежность и эффективность электроснабжения: учебное пособие для вузов / Б. В. Папков. – Уфа: УГАТУ, 2015. – 380 с. – URL: <https://studfile.net/preview/2216031> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.

7. Плетнев, Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для вузов / Г. П. Плетнев. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с. – URL: <https://f.eruditor.one/file/2636474> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.

8. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУТП тепловых электростанций – РД 153-34.1-35.127-2002 – Москва : ОРГРЭС, 2002. – URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/t1/4294817/4294817807> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.

9. Плотникова, Л. В. Программное обеспечение системы управления техническим состоянием основного оборудования тепловых электростанций / Л. В. Плотникова. – Текст :

УДК 004.415.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-РЕСУРСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЗДАТЕЛЬСТВА ПГУ ИМ. Т. Г. ШЕВЧЕНКО

А. А. Капшук, Л. Ю. Надькин, М. В. Малахова

Исследованы особенности издательской деятельности Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко и организационная структура издательства. Проведен анализ существующей системы документооборота между авторами и издательством, а также выявлены ее недостатки. Спроектирован веб-ресурс, который обеспечит электронный документооборот между издательством и авторами, а также ускорит и упростит производственный процесс.

Ключевые слова: издательство, публикация, разработка веб-ресурса

DESIGNING A WEB RESOURCE TO SUPPORT THE ACTIVITIES OF THE PSU PUBLISHING HOUSE. T. G. SHEVCHENKO

A. A. Kapshuk, L. Yu. Nadkin, M. V. Malakhova

The features of the publishing activity of the Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko and the organizational structure of the publishing house. The analysis of the existing document management system between the authors and the publishing house was carried out, and its shortcomings were identified. A web resource that will provide electronic document management between publishers and authors, as well as speed up and simplify production process has been designed.

Keywords: publishing house, publication, web resource development

В Приднестровском государственном университете в 1993 году появился редакционно-издательский отдел (РИО), деятельность которого заключалась в соблюдении всех этапов редакторского процесса подготовки книги: редактирование, корректура, внесение правок, создание предварительного и окончательного макета и т. д.

С появлением в 2005 году российского индекса научного цитирования (РИНЦ) на платформе eLibrary [1] ав-

торы начали предпочитать публиковать свои материалы в журналах, входящих в перечень РИНЦ. Отсутствие возможности модернизировать имеющуюся компьютерную базу несколько тормозило развитие издательской структуры университета, но с 2016 года журнал «Вестник Приднестровского университета» включен в РИНЦ. В трех сериях ежегодного журнала публикуются научные статьи профессорско-преподавательского состава ПГУ им. Т. Г. Шевченко, а также представителей других вузов, учебных

и научно-исследовательских учреждений, органов управления и других организаций.

Постановка задачи

Чтобы утвердить статью для публикации в журнале, автор должен собрать и предоставить следующий пакет документов:

- электронный вариант текста и данные об авторах;
- распечатанный вариант статьи;
- внешнюю рецензию на статью;
- выписку из протокола заседания кафедры;
- отчет программы «Антиплагиат» [2].

Все эти документы необходимо предоставить в научную часть Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко, которая проверяет соблюдение обязательных условий предоставления публикации в журнал: корректность оформления литературы, наличие индекса универсальной десятичной классификации (УДК), аннотации и ключевых слов и т. д. После всех необходимых проверок статья отправляется на слепое рецензирование (автор и рецензент не знают друг друга). Согласно оценке рецензента определяется статус публикации:

- рекомендуется к публикации без доработки;
- рекомендуется к публикации при условии доработки (без повторного рецензирования);
- рекомендуется к публикации при условии доработки и повторного рецензирования;

- не рекомендуется к публикации.

Затем готовая рецензия отправляется авторам и при положительном заключении отправляется в редакцию, где производится редактирование публикации и верстка выпуска журнала. Сам выпуск журнала и сопроводительные документы выкладываются на eLibrary.

Данный производственный процесс достаточно трудоемкий и требует наличия в научной части специалиста, курирующего все этапы. При этом временные рамки между окончанием сборов материалов для формирования выпуска журнала и публикации его на eLibrary составляют до полугода. На данный момент издательство не имеет самостоятельного веб-ресурса, основная информация о нем расположена на сайте университета ПГУ им. Т. Г. Шевченко. Связь с авторами ведется посредством электронной почты. Таким образом, выявлен недостаток организации работы издательства, ведь чтобы узнать какую-либо информацию на счет публикации, необходимо обращаться напрямую в издательство. Появление программного продукта, который позволил бы автоматизировать данный производственный процесс, не только облегчило бы деятельность работников научной части, но и ускорило бы публикацию журнала. Так как предполагается одновременная работа в программном обеспечении авторов, работников научной части и издательства, то целесообразно разработать этот программный продукт в виде веб-ресурса. Лучшие практики проектирования веб-ресурсов были описаны в [3–4].

Проектирование веб-ресурса

Процесс публикации статьи в научном журнале с использованием разрабатываемого веб-ресурса можно разделить на три этапа. На первом этапе происходит регистрация или авторизация пользователя на сайте (рис. 1). Далее автор может загрузить начальный набор документации, необходимый для публикации статьи, на данный веб-ресурс.

Для реализации всех процессов и их взаимодействия нам понадобится соответствующая база данных. На данном этапе основную роль будут играть следующие таблицы базы данных: Users, MailToken, Authors (рис. 2). В таблице авторов обозначены основные поля, которые нужны издательству для работы. Таблица MailToken необходима для активации аккаунта. Кроме того, используется таблица пользователей, которые после активации своей почты входят в свои учетные записи и добавляют материалы публикаций.

На втором этапе загруженные материалы появляются в доступе у методиста научной части, который проверяет правильность предоставленного электронного пакета документов и назначает рецензента данной статье (рис. 3). Желательно предусмотреть автоматическую рассылку, которая будет информировать авторов о приеме или отказе документов, а также автоматическое формирование pdf-варианта статьи, который будет отправляться рецензенту на электронную почту. В данном письме должна быть гиперссылка на веб-страницу, которая позволит рецензенту загрузить рецензию в формате pdf и указать один из вариантов результата слепого рецензиро-

вания (рекомендуется к печати, нуждается в доработке с дополнительной рецензией и без, не рекомендуется к печати). В первом и последнем варианте материалы статьи либо отправляются в архив, либо становятся доступными для редакции. В двух других случаях статья дорабатывается авторами и перезагружается на веб-ресурс. Кроме этого, в системе необходимо предусмотреть возможность взаимодействия между издательством и авторами.

На данном этапе понадобятся следующие таблицы базы данных: Publications, Files, Reviews, Reviewers и PublicationsAuthors (рис. 4). Таблица с авторами и публикациями (PublicationsAuthors) является связующей с таблицей самой публикации. Она помогает не нагружать базу данных и делать легкие и быстрые запросы. Сама таблица Publications имеет свои поля, которые также содержат информацию о статусе публикации, а также связь с таблицами файлов, таблицей рецензентов и таблицей с рецензиями.

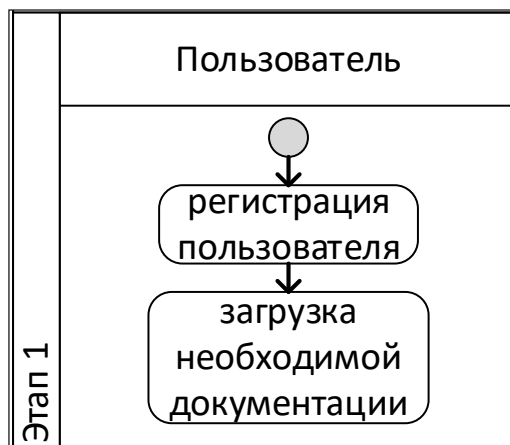


Рис. 1. Диаграмма процессов этапа 1 – авторизация (регистрация) пользователя и загрузка всей необходимой документации на веб-ресурс

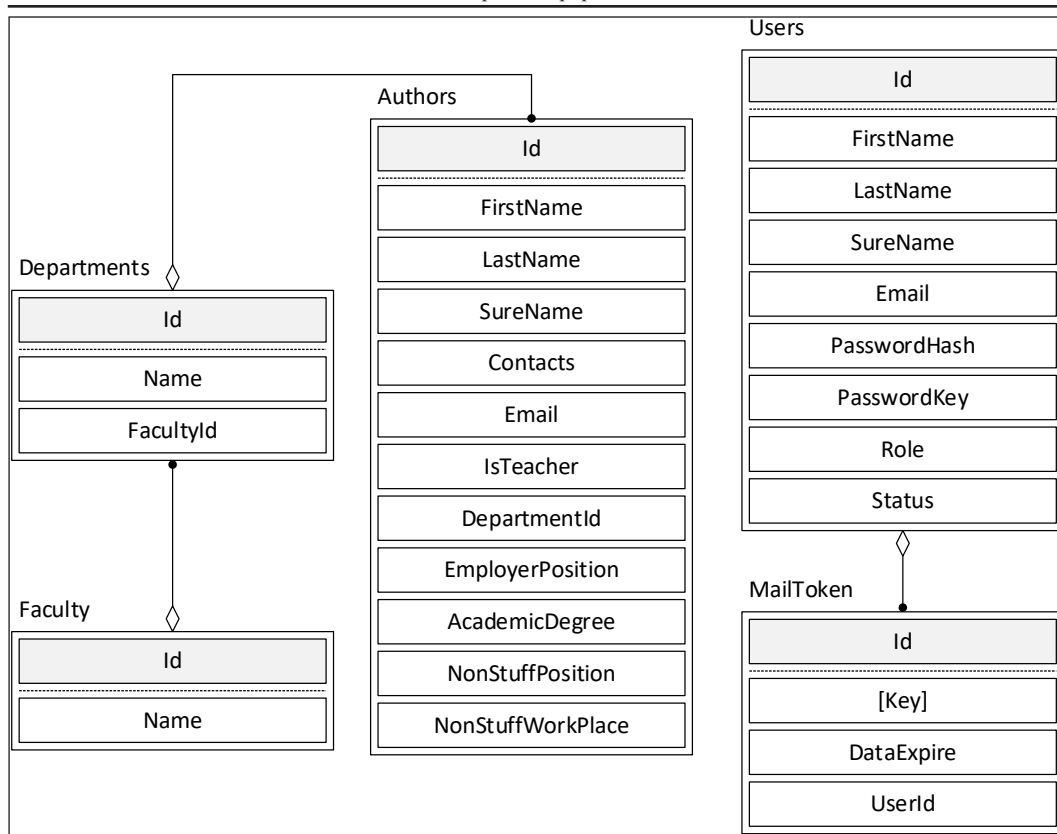


Рис. 2. Диаграмма таблиц базы данных этапа 1 : Users, MailToken, Authors, Departments, Faculty

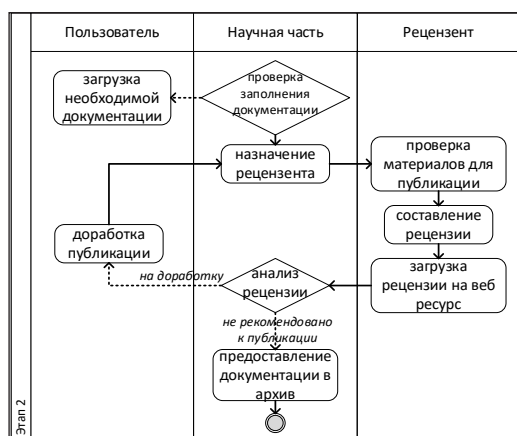


Рис. 3. Диаграмма процессов этапа 2 – распределение рецензентов и загрузка рецензий на веб-ресурс

Заключительный третий этап – самый трудоемкий для издательства (рис. 5). Если статья всеми одобрена, то она идет на печать в следующий выпуск журнала, а также издательство публикует статью со всеми необходимыми материалами на электронном ресурсе eLibrary.ru (российская научная электронная библиотека, интегрированная с РИНЦ). В завершение специалисту научной части необходимо предоставить все материалы в архив. На данном этапе используются уже описанные выше таблицы базы данных.

Кроме того, необходимо предусмотреть возможность использования данного

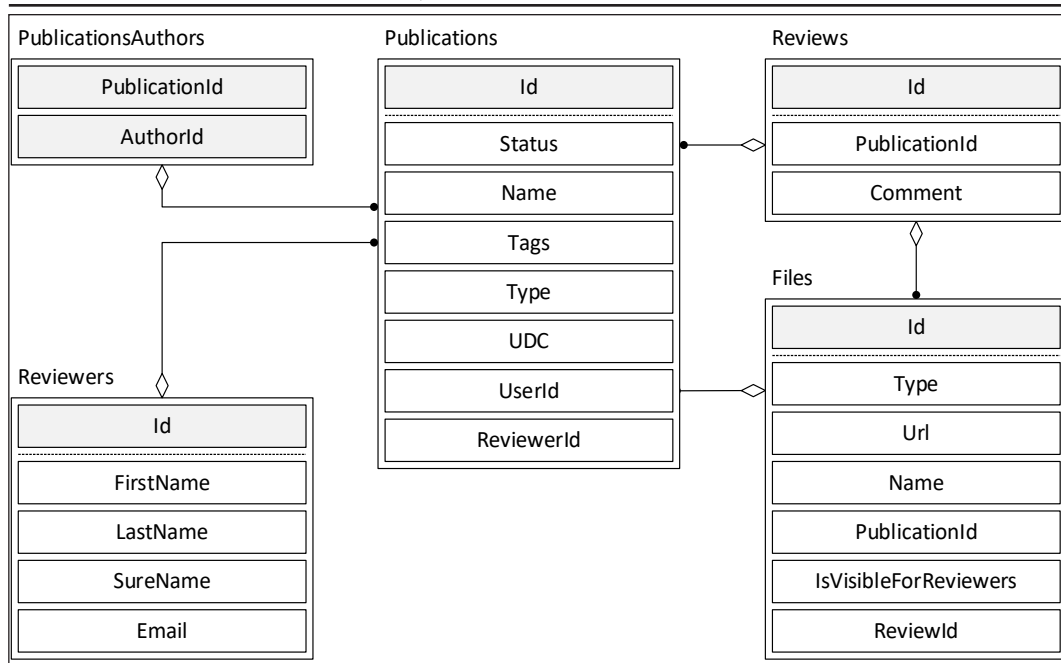


Рис. 4. Диаграмма таблиц базы данных этапа 2 : Publications, Files, Reviews, Reviewers, PublicationsAuthors

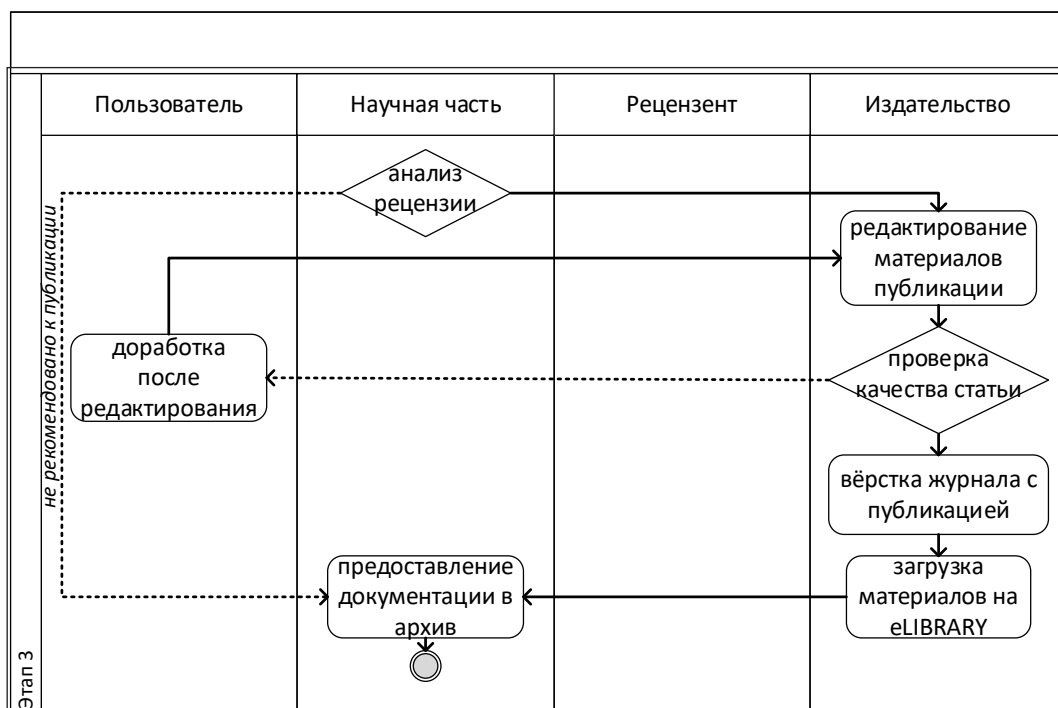


Рис. 5. Этап 3 : анализ рецензии, публикация и архивирование материалов

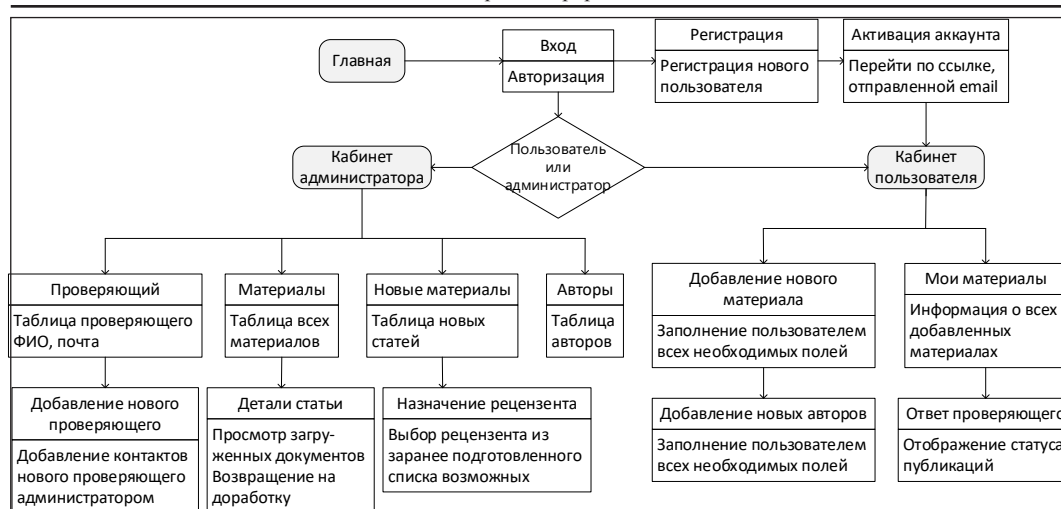


Рис. 6. Карта проектируемого программного обеспечения

программного обеспечения в процессе утверждения учебных и методических изданий. В этом случае схема подачи является более простой, поскольку отсутствует процесс слепого рецензирования. Публикация методических пособий – платная услуга, поэтому должна существовать возможность расчета ее стоимости. Для калькуляции необходимо ввести дополнительные таблицы в базу данных.

Если же говорить о логической структуре сайта, то можно выделить четыре основных блока разработки: вход, кабинет администратора, кабинет пользователя и страница рецензента. Карта сайта проектируемого программного продукта представлена на рис. 6.

Все начинается с главной страницы, где пользователь выбирает, что он хочет сделать: зайти или посчитать, сколько стоит печатное издание. Для входа в систему нужна будет только почта и пароль пользователя, а для регистрации нужно ввести ФИО и пароль два раза. После на почту

придет письмо, в котором будет ссылка на активацию аккаунта, после которой пользователь сможет загружать свои материалы.

Чтобы загрузить свои материалы, дополнительно потребуется внести в систему небольшую информацию об авторе, в дальнейшем это поможет осуществлять поиск по фильтрам. Кроме того, у пользователя будет личный кабинет, где будут храниться все его материалы с детальной информацией.

Основной блок – это блок администратора, где работник научной части отправляет материал на проверку рецензенту и работник издательства проверяет и направляет на доработку или печать.

Последний блок – это страница рецензента. На его почту приходит письмо о том, что был получен новый материал и его необходимо проверить. На этой странице для рецензирования будет сама статья без указания авторов, основная информация о статье и поля для добавления комментариев и рецензии.

На текущий момент разработана база данных, обеспечивающая описанный выше производственный процесс. Реализован back-end на платформе ASP.NET. При реализации проекта была использована «Чистая архитектура» [5]. В виду сложности проекта для реализации front-end части будет использоваться Vue JS.

В наше время вопрос, связанный с автоматизацией производства путем внедрения информационных систем, наиболее актуален. Спроектированный веб-ресурс решает следующие задачи:

- 1) обеспечивает взаимодействие авторов и издательства;
- 2) обеспечивает возможность слепого рецензирования;
- 3) упрощает процесс подачи материалов для публикаций в издательство.

Цитированная литература

1. Научная электронная библиотека eLibrary: [сайт]. – URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 26.03.2023). – Текст : электронный.

2. «Вестник Приднестровского университета»: страница на сайте ПГУ им. Т. Г. Шевченко. – URL: <http://spsu.ru/science/nauchno-izdatelskaya-deyatelnost/vestnik-pgu> (дата обращения: 26.03.2023). – Текст : электронный.

3. Гольчевский, Ю. В. Подходы к проектированию и разработке современного корпоративного web-ресурса / Ю. В. Гольчевский. – Текст : электронный // Экономика. Информатика. – 2020. – Т. 47, № 2. С. 432–440. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-proektirovaniyu-i-razrabotke-sovremennogo-korporativnogo-web-resursa/viewer> (дата обращения: 2.04.2023).

4. Хамидулин, М. Р. Современный web на примере создания простого менеджера задач / М. Р. Хамидулин, И. В. Бадьков. – Текст : электронный // Международный журнал перспективных исследований. – 2018. – Т. 8, № 4. – 137–152. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremenny-web-na-primere-sozdaniya-prostogo-menedzhera-zadach/viewer> (дата обращения: 2.04.2023).

5. Мартин, Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Р. Мартин. – Текст : непосредственный // Библиотека программиста. – Москва, 2019. – 352 с.

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ОНЛАЙН-РАСПИСАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TELEGRAM-БОТА

Л. А. Тягульская, Е. С. Гарбузняк

В статье продемонстрированы возможности разработанного веб-сервиса для формирования онлайн-расписания учебного процесса с использованием телеграм-бота, описаны структура, принцип и особенности работы сервиса, а также инструменты и технологии, использованные при его разработке.

Ключевые слова: веб-сервис, онлайн-расписание, телеграм-бот, шаблон, фреймворк, база данных.

DEVELOPMENT OF THE ONLINE SCHEDULING SERVICE OF THE LEARNING PROCESS USING TELEGRAM BOT

L. A. Tyagulskaya, E. S. Garbuznyak

The article demonstrates the capabilities of the developed web service for the formation of an online schedule of the educational process using a telegram bot, describes the structure, principle and features of the service, as well as the tools and technologies used in its development.

Keywords: web service, online schedule, telegram bot, template, framework, database.

Высшее учебное заведение нуждается в использовании информационных технологий для доступа к различной информации, ценность и своевременность получения которой сейчас в приоритете. Благодаря использованию различных технологий, создаются личные кабинеты преподавателей и студентов, электронные библиотеки и различные сервисы, с помощью которых можно за короткое время сформировать или получить необходимую информацию. Это, в свою очередь, позволяет минимизировать время на принятие решений и повысить качество образования в высшем учебном заведении.

На кафедре информатики и программной инженерии Рыбницкого филиала ПГУ

им. Т. Г. Шевченко разработан сервис для формирования онлайн-расписания учебного процесса с использованием телеграм-бота.

Перед разработкой собственного сервиса выполнен обзор существующих аналогов для просмотра расписания учебных дисциплин, среди которых выделены «Экспресс-расписание Школа» и «Эл-Жур».

«Экспресс-расписание Школа» – программа для автоматизации составления расписания учебных занятий в школах, гимназиях и лицеях. Она позволяет автоматически составить основное расписание занятий (уроков) с помощью уникального алгоритма с последующей удобной ручной корректировкой. Во многих про-

граммах работа с расписанием на этом заканчивается, но в экспресс-расписании наиболее сильной стороной является ведение ежедневных изменений расписания и учет фактически выполненных часов. Еще одно из главных достоинств – проведение анализа расписания с учетом трудности в полном соответствии требованиям Сан-ПиН 2.4.2.2821-10 [1].

ЭлЖур – сервис для родителей и учеников, представляющий собой цифровой аналог школьного дневника с более широкими возможностями. Помогает ученикам эффективнее учиться, а родителям контролировать успеваемость своих детей. Преимущество – круглосуточный доступ к важной учебной информации. Данный сервис уже несколько лет используется в школах нашей республики [2].

Можно найти и другие подобные решения, но все они закрыты и не позволяют внести изменения или подключить различные боты для мессенджеров, в частности, для *Telegram*.

Telegram – это бесплатный мессенджер для смартфонов и персональных компьютеров под управлением всех наиболее распространенных операционных систем, позволяющий обмениваться не только текстовыми сообщениями, но и различными медиафайлами (картинки, музыка, архивы, текстовые документы).

Функционально *Telegram* похож на другие мессенджеры, однако его главные преимущества перед конкурентами – скорость, защищенность, хранение данных в облаке (удаленный сервер) и бесплатность [3].

Боты – это специальные программы, выполняющие различные функции и упро-

щающие жизнь их пользователей. Боты, написанные для платформы *Telegram*, предназначены для выполнения самых разных функций: от получения новостей до поиска информации и даже торговли акциями. Главной задачей бота является автоматический ответ после введенной пользователем команды.

Сообщения, команды и запросы, отправленные пользователями, передаются на программное обеспечение, запущенное на серверах разработчиков. Анонимный сервер *Telegram* обрабатывает шифрование и осуществляет обратную связь между утилитой и пользователем. При этом взаимодействие с серверами происходит с помощью простого *HTTPS*-интерфейса, который представляет собой упрощенную версию *API Telegram*. Этот интерфейс является программным каталогом, или бот-алгоритмом. Новые бот-утилиты создаются с помощью специальной утилиты *@BotFather*.

Для реализации веб-сервиса выбран *phpframework Laravel* с открытым кодом и с использованием архитектурной модели *MVC*.

Входящий в состав *Laravel* простой, но мощный движок шаблонов *Blade*, в отличие от других популярных шаблонизаторов для *PHP*, не ограничивает разработчика в использовании чистого *PHP*-кода и практически не нагружает приложение. Файлы шаблонов *Blade* используют расширение *blade.php* и обычно хранятся в директории *resources/views* [4].

Пакет *Telescope* при локальной разработке приложения *Laravel* – прекрасный помощник, поскольку дает представление

о запросах, поступающих в приложение, исключениях, записях журнала, запросах базы данных, поставленных в очередь заданиях, почте, уведомлениях, операциях кэша, запланированных задачах и о многом другом.

Для того, чтобы добавить виртуализацию, используется *Docker* – программное обеспечение для автоматизации развертывания и управления приложениями в средах с поддержкой контейнеризации. Позволяет «упаковать» приложение со всем его окружением и зависимостями в контейнер, который может быть перенесен на любую *Linux*-систему, а также предоставляет среду по управлению контейнерами [5].

Логическая структура разработанного сервиса приведена на рис. 1: в левой части перечислены функциональные возможности администратора, а в правой – незарегистрированного пользователя.

У администратора есть возможность создавать или редактировать данные пользователя, который будет использовать сервис. При этом следует учесть, что авторизованный пользователь авто-

матически является администратором. Функционал регистрации специально отсутствует в системе, поскольку право создания расписания принадлежит только администратору. Именно он может управлять различными данными, создавать или редактировать записи в базе данных. Все данные хранятся централизованно на *mysql*-сервере.

Для добавления нового пользователя администратором существует ряд ограничений: логин должен быть в виде электронной почты, пароль – не короче 8 символов. Чтобы предотвратить появление ошибок ввода до регистрации пользователя, можно использовать специально созданные для этого запросы. Процесс добавления нового пользователя приведен на рис. 2.

Процесс создания кафедры, учебной категории или учебной группы схож с созданием пользователя.

Чтобы войти в систему, пользователю нужно перейти на страницу входа по ссылке <http://lesson.rfpgu.ru/login>, на которой будет предложено ввести логин (электронный адрес) и пароль (рис. 3).



Рис. 1. Логическая схема разработанного сервиса

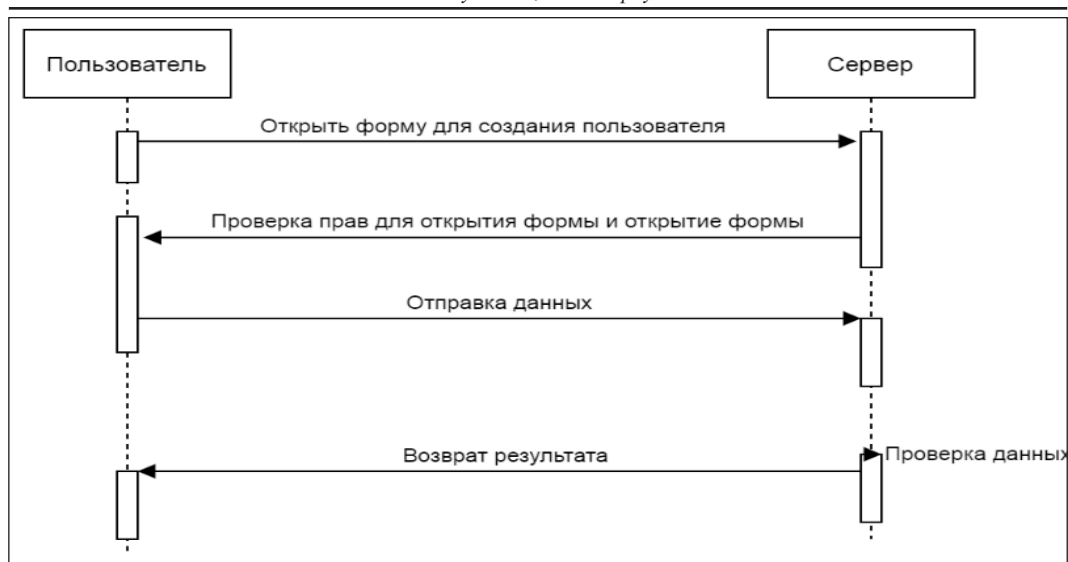


Рис. 2. Создание нового пользователя

Система проверяет корректность введенных данных. После валидации пользователь переходит на страницу управления (рис. 4).

С помощью административной панели можно производить различные манипуляции с данными:

- пользователя;
- кафедр;
- учебных групп;
- шаблонов расписания;
- формирования расписания за определенный период времени.

После выбора в левой части нужного пункта меню появится страница с соответствующей таблицей данных (рис. 5).

Для создания новой записи следует нажать на кнопку «Новая запись», а для редактирования – на ярлык «карандаш». Появится форма для ввода нового значения, но при этом старые поля будут автоматически заполнены (рис. 6).

В административной панели можно создать компоненты. Для этого в таблице представления необходимо создать свой шаблон и загрузить его через файл конфигурации.

Для работы с шаблоном расписания нужно выбрать пункт «Работа с шаблоном» (рис. 7).

После выбора пункта «Работа с шаблоном» появляется форма, на которой следует выбрать учебную группу. Появится расписание на неделю, где в соответствующем списке требуется выбрать предмет, преподавателя и аудиторию (рис. 8).

Рис. 3. Форма авторизации

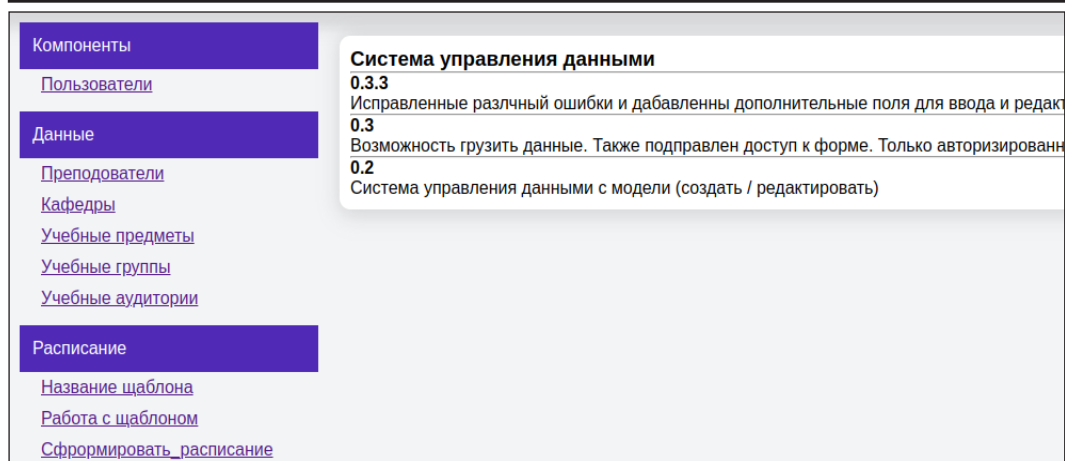


Рис. 4. Главная страница административной части

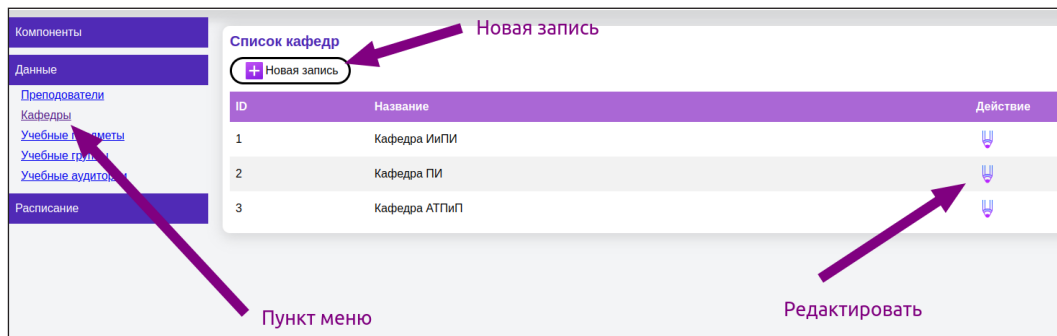


Рис. 5. Список данных

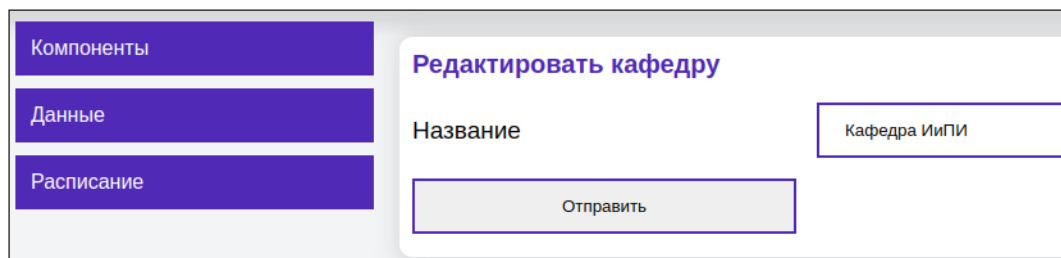


Рис. 6. Редактирование данных

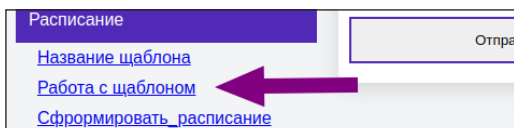


Рис. 7. Работа с расписанием

После внесения информации необходимо нажать на кнопку «Сохранить». При сохранении шаблона у выбранной группы происходит полное удаление имеющейся информации, так как осуществляется запись новой.

В случае выбора пункта меню «Сформировать расписание» появляется форма,

позволяющая выбрать активный шаблон и дату. При этом важно учитывать то, что дни следует выбирать с понедельника по пятницу (рис. 9).

На пользовательской странице возможно формирование расписания по группе или преподавателю, а также за определенный временной промежуток (рис. 10).

Рис. 8. Формирование расписания для учебной группы

Рис. 9. Формирование расписания на определенные дни

Рис. 10. Пользовательская страница

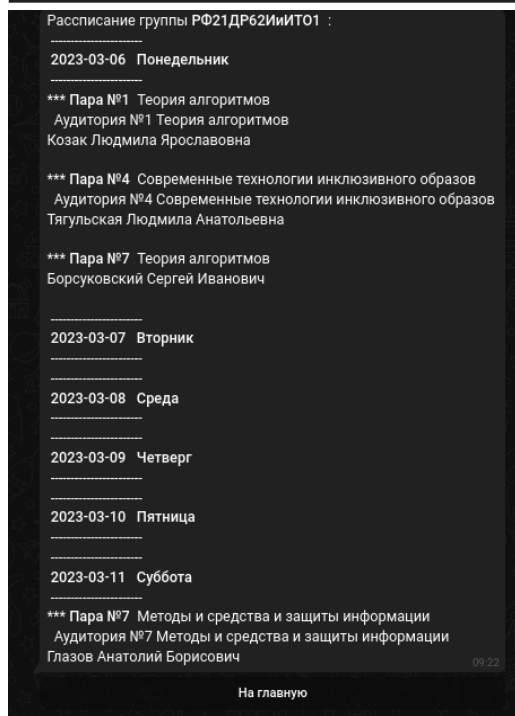


Рис. 11. Список всех пар выбранной группы на текущую неделю

Особенность разработанного сервиса заключается в том, что информацию о расписании можно получать, не заходя на веб-страницу, через подключение телеграм-бота.

В чате с ботом необходимо выбрать кафедру, после чего появится список групп, которые закреплены за этой кафедрой. После выбора нужной группы появится список всех пар на текущую неделю (рис. 11).

С помощью кнопки «На главную» пользователь может вернуться в главное меню.

Таким образом, при помощи разработанного сервиса можно оптимизировать функцию предоставления расписания учебного процесса для очного отделения с использованием веб-технологий и телеграм-бота. На данный момент работа над веб-сервисом по его совершенствованию и добавлению функциональных возможностей продолжается.

Цитированная литература

1. SoftForFree: [сайт]. – URL: http://softforfree.com/programs/ekspres_raspisanie_shkola-32884.html (дата обращения : 13.10.2022). – Текст : электронный.
2. ЭлЖур: [сайт]. – URL: <https://eljur.ru/> (дата обращения: 13.10.2022). – Текст : электронный.
3. ПРО TELEGRAM: [сайт]. – URL: https://protelegram.ru/telegram_faq/ (дата обращения : 15.01.2023). – Текст : электронный.
4. Laravel: [сайт]. – URL: <https://laravel.ru/docs/8.x/blade> (дата обращения : 15.01.2023). – Текст : электронный.
5. Docker: [сайт]. – URL: <https://www.andreyolegovich.ru/dvps/docker/basics/> (дата обращения : 18.01.2023). – Текст : электронный.

УДК 004.415.53

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ: РОЛЬ SELENIUM В ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДАХ

Ю. В. Балашова

В статье рассматриваются преимущества инновационных подходов, автоматизации тестирования и роль Selenium в этом процессе. Анализируются компонентное и функциональное тестирование, модульное тестирование и контейнеризация. Статья также приводит примеры использования Selenium для улучшения эффективности и надежности тестирования веб-приложений.

Ключевые слова: *автоматизированное тестирование, веб-приложение, Selenium, компонентное тестирование, функциональное тестирование, модульное тестирование, контейнеризация.*

AUTOMATED TESTING OF WEB APPLICATIONS: THE ROLE OF SELENIUM IN INNOVATIVE APPROACHES

Y. V. Balashova

The article discusses the importance of test automation, the benefits of innovative approaches and the role of Selenium in this process. Component and functional testing, unit testing and containerization are considered. The article also provides examples of using Selenium to improve the efficiency and reliability of web application testing.

Keywords: *automated testing, web application, Selenium, component testing, functional testing, unit testing, containerization.*

Автоматизированное тестирование веб-приложений играет важную роль в современной разработке программного обеспечения. Оно позволяет повысить эффективность и качество тестирования, сократить время цикла разработки и улучшить пользовательский опыт. Вместе с появлением новых требований и технологий в разработке появляются и инновационные подходы в автоматизации тестирования.

Основы автоматизации тестирования веб-приложений

Автоматизация тестирования необходима для экономии времени, затрачиваемо-

го на ручное выполнение тестов. Она позволяет автоматически выполнять наборы тестовых сценариев, повторно использовать тестовые данные и быстро обнаруживать ошибки и дефекты в веб-приложениях. Такой подход значительно сокращает время цикла разработки и ускоряет выход новых версий продукта на рынок.

Основные преимущества автоматизации тестирования веб-приложений включают [1]:

1. Увеличение скорости выполнения тестов. Автоматизированные тесты выполняются значительно быстрее, чем ручные, что позволяет сократить время тестирования и ускорить процесс разработки.

2. Повышение надежности и покрытия тестами. Автоматизированные тесты обеспечивают более широкое покрытие функциональности веб-приложений, что помогает обнаруживать дефекты и ошибки, которые могут быть упущены при ручном тестировании.

3. Снижение затрат на тестирование. В долгосрочной перспективе автоматизация тестирования позволяет снизить затраты на ручное тестирование, так как автоматические тесты могут быть запущены в циклах без участия человека.

Однако автоматизированное тестирование также имеет свои недостатки и ограничения:

1. Сложность создания и поддержки автоматизированных тестов. Необходимость написания и поддержки кода для автоматических тестов требует определенных навыков и ресурсов.

2. Ограничения взаимодействия с элементами пользовательского интерфейса. Некоторые веб-приложения могут использовать сложные элементы или технологии, которые не всегда легко автоматизировать с помощью инструментов автоматизации тестирования.

3. Необходимость постоянного обновления тестовых сценариев. В случае изменения функциональности или интерфейса веб-приложения автоматизированные тесты также требуют обновления, чтобы они продолжали быть актуальными.

Несмотря на эти ограничения, автоматизация тестирования веб-приложений продолжает развиваться и становится неотъемлемой частью современной разработки программного обеспечения. Правильное

использование инструментов и подходов автоматизации позволяет значительно повысить эффективность и надежность процесса тестирования веб-приложений.

Тестирование веб-приложений *Selenium IDE*

Selenium IDE (Integrated Development Environment) представляет собой расширение для браузеров, которое позволяет записывать, редактировать и воспроизводить тестовые сценарии веб-приложений.

Основные преимущества использования *Selenium* в тестировании веб-приложений:

1. *Selenium IDE* прост в понимании, находится в открытом доступе.

2. *Selenium* позволяет тестировать веб-приложения на разных браузерах, таких как *Google Chrome*, *Firefox*, *Microsoft Edge*, *Safari* и других. Это позволяет убедиться, что приложение работает корректно на всех платформах.

3. *Selenium* автоматизирует процесс тестирования, что позволяет сократить время тестирования и повысить его эффективность. Это особенно важно для больших и сложных проектов, где ручное тестирование может занять много времени и ресурсов.

4. *Selenium* позволяет выбирать различные языки программирования (*Java*, *Python*, *C#*, *Ruby* и др.) для написания автоматических тестов. Тесты можно сохранять в формате `.html`.

Однако, как и любой другой инструмент, *Selenium* имеет свои недостатки:

1. Настройка *Selenium* может быть сложной и требует определенного уровня технических навыков.

2. *Selenium* может быть ненадежным инструментом, особенно когда он используется для тестирования веб-приложений, которые часто обновляются. Это может привести к нестабильности тестов, что затрудняет автоматизацию тестирования.

3. *Selenium* поддерживает только веб-приложения, т. е. он не предназначен для тестирования десктопных приложений. Также *Selenium* не поддерживает тестирование мобильных приложений без дополнительных инструментов и плагинов.

Проверка возможностей тестирования *Selenium IDE*

Для проверки возможностей *Selenium* было разработано веб-приложение магазина канцтоваров и проведен ряд тестов для проверки всех функций.

Разрабатываемый продукт представляет собой веб-сайт магазина канцтоваров. В нем реализованы все необходимые функции: от просмотра товара до покупки.

Структура программного продукта состоит из четырех блоков: сайт, сервер, СУБД и хранилища данных (рис. 1).

Пользователь осуществляет взаимодействие с интернет-магазином через сайт. Сервер взаимодействует с СУБД *PostgreSQL*, в которой хранятся учетные записи, данные о категориях и товарах, а также изображения продукции. Кроме того, для хранения данных корзины, избранных товаров, истории просмотра и заказов используется хранилище *Redis*.

Основные функции сайта магазина канцтоваров включают:

1. Просмотр и поиск товаров. Пользователи могут просматривать и искать доступные канцелярские товары, изучать

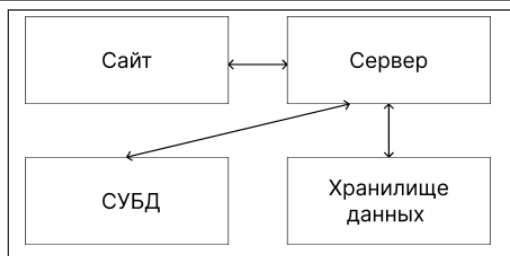


Рис. 1. Структурная схема программного продукта

их характеристики, описание, изображения и цены. Сайт предоставляет возможность поиска конкретных товаров по ключевым словам, категориям, брендам и другим параметрам для удобства пользователей.

2. Добавление в корзину. Пользователи могут выбирать интересующие их товары и добавлять в корзину для последующего оформления покупки.

3. Оформление заказа. После добавления товаров в корзину пользователи могут перейти к оформлению заказа, указать необходимые данные для доставки и выбрать способ оплаты.

4. Управление учетной записью. Пользователи могут создавать учетные записи на сайте, входить в систему, просматривать и редактировать свои данные, отслеживать статусы заказов и просматривать историю покупок.

5. Корзина и оформление доставки. Пользователи могут просматривать содержимое своей корзины, изменять количество товаров или удалять их, а также выбирать и оформлять доставку товаров в удобные для них время и место.

Эти функции обеспечивают эффективное взаимодействие пользователей с интернет-магазином канцтоваров.

После того как был создан сайт, выполняется проверка всех основных функций (всего 30 тестов). Основные виды тестов:

1. Авторизация пользователя (ввод верных данных, ввод неверных данных, ввод уже зарегистрированного пользователя).

2. Проверка регистрации (все данные должны быть введены и не повторяться).

3. Проверка ввода при добавлении, изменении, удалении товаров.

4. Проверка поиска товаров.

5. Правильность работы функции добавления товаров в список избранных. Была проведена проверка на добавление, изменение и удаление товаров из списка.

6. Корректность работы функции сохранения история просмотра товаров.

7. Также была проведена проверки функций добавления товара в корзину и оформления заказа.

Рассмотрим некоторые разработанные тесты.

1. Проверка регистрации пользователя. В табл. 1 представлена информация с пошаговыми задачами теста.

Для регистрации пользователь должен ввести следующие данные: логин, адрес электронной почты, имя, пароль. Если пользователь при регистрации указывает повторно зарегистрированный адрес электронной почты, то появляется сообщение о том, что указанные имя пользователя или e-mail уже существуют.

На рис. 2 представлен результат выполнения теста.

Проверка пройдена успешно.

2. В табл. 2 представлена проверка на добавление категории товаров.

Добавление товаров может выполнять только авторизованный пользователь – администратор. Если пользователь добавляет уже существующую категорию товаров, на экране появляется сообщение, что данная категория уже существует, и добавление завершается. Результат проверки теста на рис. 3.

3. Проверка добавления товаров в список избранных. Авторизованный пользователь может добавлять товары в корзину и в список избранных. Был разра-

Таблица 1

Проверка регистрации пользователя

№	Команда	Задание	Значение
1	open	/	
2	if	document.evaluate("p[contains(.,'Выход')]», document null. XPathResult.FIRST_ORDERED_NODE_TYPE, null). singleNodeValue	
3	click	xpath=//p[contains(.,'Выход')]	
4	end		
5	click	css=.login-button:nth-child(5)	
6	type	css=#register-form> .form-control:nth-child(1)	admin
7	type	name=email	admin@admin.com
8	type	name=name	Admin
9	type	css=.form-control:nth-child(4)	password
10	type	css=.form<ontrol:nth-child(5)	password
11	click	css=#register-modal .btn-primary	
12	assert element present	css=#greetings	

ботан тест для проверки данной функции (табл. 3).

Чтобы добавить товар в «Избранное», пользователю необходимо зайти на страницу интересующего товара и нажать на кнопку «Звездочка». Результат проверки теста изображен на рис. 4.

Аналогично была проведена проверка каждой функции веб-приложения магазина канцтоваров.

Иновационные подходы в автоматизации тестирования

1. Компонентное тестирование.

Представляет собой подход, при котором функциональность веб-приложения тестируется на уровне отдельных компонентов [2]. Это позволяет более точно проверить работу модулей приложения, выявить потенциальные проблемы и дефекты. Преимущества компонентного тестирования: повышенная надежность, более быстрая обратная связь и возможность легко поддерживать и расширять тестовые наборы.

Рис. 2. Результат теста проверки регистрации пользователя

Рис. 3. Результат теста добавления категории товаров

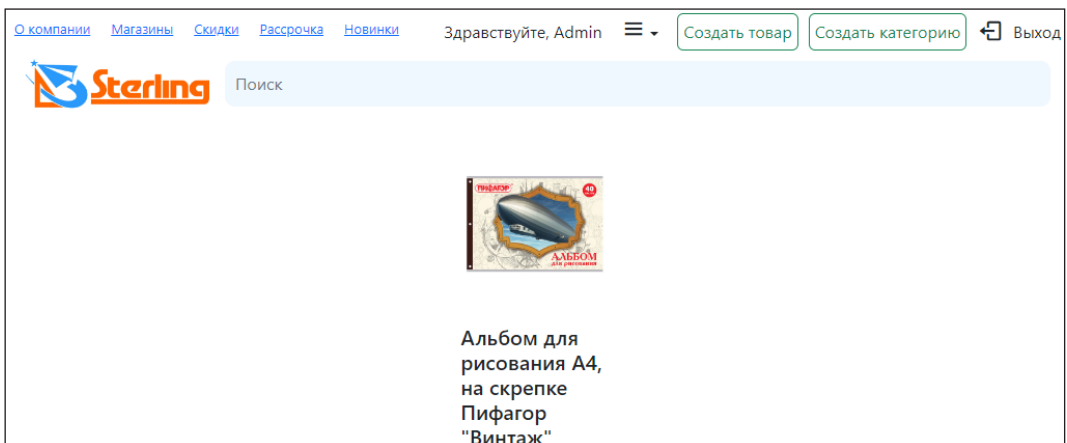


Рис. 4. Результат теста добавления товара товар в «Избранное»

Тест добавления категории товаров

№	Команда	Задание	Значение
1	open	/	
2	assert element present	xpath=//p [contains (.,'Создать категорию')]	
3	click	xpath= p [contains (.,'Создать категорию')]	
4	type	css=modal-body > .form-control	Измерительные приборы
5	click	xpath= button[contains(.,'Создать')]	
6	assert element not present	css=#admin-category-panel > .btn-outline-success	

Таблица 3

Проверка добавления товаров в список избранных

№	Команда	Задание	Значение
1	open	/	
2	click	css=.product-item:nth-child(1)	
3	click	css=.bx-star	
4	click	css=dropdown-toggle	
5	click	linkText=Избранное	
6	assert element not present	css=.product-item	

2. Функциональное тестирование на основе ключевых слов. Позволяет описывать и выполнять тестовые сценарии с использованием ключевых слов и фраз, отражающие определенные действия и ожидаемые результаты [3]. Этот подход делает тесты более понятными и доступными для неспециалистов, ускоряет процесс создания и обновления тестовых сценариев.

3. Модульное тестирование. Представляет собой подход, при котором каждый отдельный модуль или компонент веб-приложения тестируется независимо от остальных [2]. Это позволяет выявлять и устранять дефекты на ранних этапах разработки, а также обеспечивает более простую отладку и поддержку приложения в целом. Модульное тестирование влияет на общий процесс тестирования, улучшая его эффективность и надежность.

4. Контейнеризация. Представляет собой подход, при котором тестовые окружения создаются и изолируются в контейнерах. Это обеспечивает независимость от конкретной операционной системы и конфигурации, позволяет быстро создавать и развертывать тестовые среды, а также обеспечивает более стабильное и воспроизводимое выполнение тестов.

Роль *Selenium*

В ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДАХ

Selenium является одним из наиболее популярных и мощных инструментов для автоматизации тестирования веб-приложений. Он предоставляет широкий набор возможностей, которые играют важную роль в инновационных подходах автоматизации [4].

Selenium позволяет создавать и выполнять автоматические тесты, имитируя

действия пользователя в браузере. Он поддерживает различные языки программирования, такие как *Java*, *Python*, *C#*, что делает его доступным для широкого круга разработчиков и тестировщиков. *Selenium* также обладает возможностью работы с различными браузерами, что позволяет проверять совместимость веб-приложений в разных окружениях.

Selenium позволяет разработчикам создавать и поддерживать автоматические тесты с помощью кода, что делает его идеальным выбором для интеграции с другими инструментами и фреймворками [4]. Например, *Selenium* можно интегрировать с фреймворками для управления тестовыми данными или для создания отчетов о выполнении тестов. Также *Selenium* может быть использован вместе с инструментами для контроля версий, что упрощает совместную работу над автоматическими тестами.

Интеграция *Selenium* с другими инструментами и фреймворками позволяет улучшить и расширить возможности автоматизации тестирования веб-приложений. Например, использование фреймворков для тестирования на основе ключевых слов позволяет создавать более понятные и легко поддерживаемые тестовые сценарии с использованием *Selenium* в качестве основного инструмента для выполнения действий в браузере.

Selenium позволяет разработчикам и тестировщикам создавать эффективные и надежные автоматические тесты, ускоряя и улучшая процесс разработки веб-приложений.

Примеры инновационных подходов с использованием *Selenium*

1. Автоматизация тестирования на основе модульных компонентов с использованием *Selenium*. Один из инновационных подходов в автоматизации тестирования веб-приложений состоит в разделении тестовых сценариев на модульные компоненты. С использованием *Selenium* каждый компонент может быть протестирован отдельно, что позволяет более эффективно выявлять и устранять дефекты на ранних этапах разработки. Комбинируя эти модульные компоненты, можно создать более сложные тестовые сценарии и обеспечить общую надежность приложения.

2. Использование *Selenium* для функционального тестирования на основе ключевых слов. Функциональное тестирование на основе ключевых слов позволяет описывать и выполнять тестовые сценарии с использованием ключевых слов, отражающих определенные действия и ожидаемые результаты. С *Selenium* можно создать набор ключевых слов, которые выполняют действия в браузере и проверяют ожидаемые результаты. Это делает тесты более понятными и доступными для неспециалистов, упрощает создание и обновление тестовых сценариев.

3. Контейнеризация тестовых окружений с *Selenium* и *Docker*. Другой инновационный подход в автоматизации тестирования веб-приложений состоит в использовании контейнеризации для создания независимых тестовых окружений. С помощью *Selenium* и *Docker* можно создавать контейнеры, в которых будут запускаться тестовые сценарии.

Это обеспечивает независимость от конкретных операционных систем и конфигураций, позволяет быстро создавать и развертывать тестовые среды, а также обеспечивает стабильное и воспроизводимое выполнение тестов.

Эти подходы помогают повысить эффективность, гибкость и надежность процесса тестирования, ускоряя разработку и улучшая качество веб-приложений.

Для примера использования возможностей *Selenium* рассмотрим разработанные тесты для проверки сайтов. В табл. 4 представлено пошаговое выполнение те-

ста на авторизацию пользователя для сайта <https://www.metro.md>.

Это пример тестового сценария авторизации пользователя. При выполнении теста открывается сайт магазина, следующим действием, прописанным в сценарии, является открытие окна авторизации. В окне авторизации вводятся логин и пароль. Так как для проверки были введены неверные данные, пользователь не может авторизоваться (рис. 5).

Для сайта <http://iti.spsu.ru> был разработан тестовый сценарий поиска (табл. 5).

Таблица 4

Тест авторизации пользователя

№	Команда	Задание	Значение
1	open	/	
2	set window size	974x1047	
3	click	css=.mobile	
4	type	id=user_id	inga.titchiev@tsu.md
5	click	id=password	
6	type	id=password	2021Masterat=
7	click	id=submit	
8	store text	css=.marktplatз > span	LA
9	echo	\${LA}	
10	store title		title
11	verify title	\${title}	
12	echo	\${title}	
13	click	css=#Ebene_1 > .st0	
14	click	linkText=Deconnectare	

Таблица 5

Тестовый сценарий поиска

№	Команда	Задание	Значение
1	open	/	
2	verify element present	css=.fa-search	
3	Click	css=.col-lg-12	
4	Click	css=.page-title	
5	Click	css=.navbar-toggle	
6	Type	id=mod-search-searchword	Республиканский круглый стол «Инновационная деятельность преподавателя вуза в условиях реализации образовательных стандартов»
7	send keys	id=mod-search-searchword	\${KEY_ENTER}
8	click	css=.chzn-single > span	

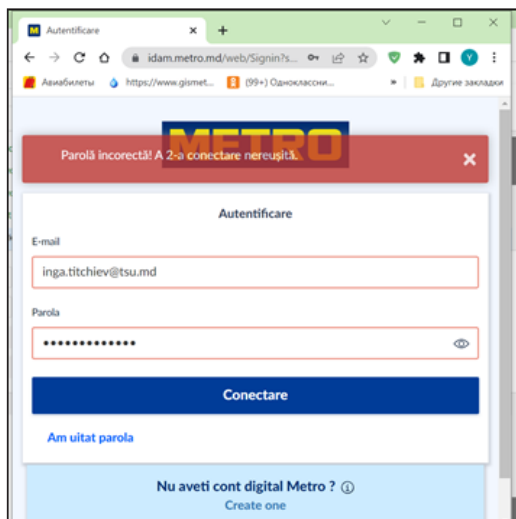


Рис. 5. Авторизация пользователя на сайте магазина Metro

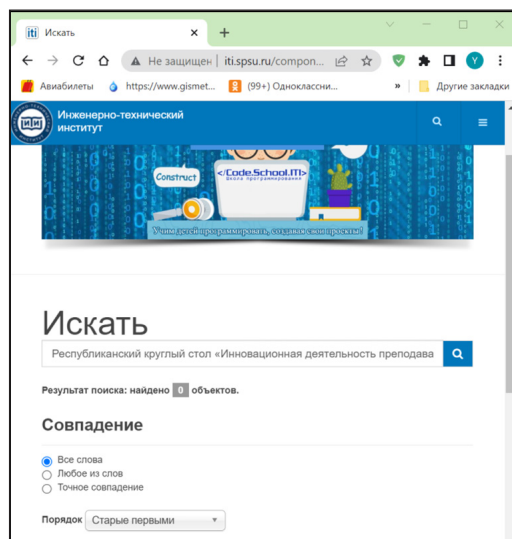


Рис. 6. Тест поиска данных на сайте

После открытия сайта в поисковую строку были введены данные и получен результат (рис. 6).

Таким образом, *Selenium* играет ключевую роль в инновационных подходах автоматизации тестирования веб-приложений. Его мощные возможности и гибкость позволяют разработчикам и тестировщикам создавать эффективные и надежные автоматические тесты. Преимущества *Selenium* включают поддержку различных языков программирования, возможность работы с разными браузерами и интеграцию с другими инструментами и фреймворками. Однако развитие *Selenium* не останавливается на достигнутом. В будущем можно ожидать дальнейшего улучшения и расширения функциональности *Selenium*, разработку новых инструментов и возможностей, улучшение производительности и стабильности.

Значимость инновационных подходов в автоматизации тестирования веб-приложений состоит в повышении эффективности и надежности этого процесса. Модульное тестирование, функциональное тестирование на основе ключевых слов и контейнеризация тестовых окружений с использованием *Selenium* являются лишь несколькими примерами таких подходов. Их применение позволяет обнаруживать дефекты на ранних этапах разработки, ускорять процесс тестирования и повышать качество веб-приложений.

Благодаря своей гибкости и многофункциональности, *Selenium* является одним из основных инструментов при использовании инновационных подходов к тестированию веб-приложений. Благодаря *Selenium* можно достичь повышения производительности, со-

кращения времени на тестирование и обеспечения более высокого качества веб-приложений.

В заключение предлагаем следующие рекомендации:

1. Продолжить исследования в области тестирования программного обеспечения и изучения новых методов и инструментов помимо Selenium, чтобы расширить доступные средства и выбрать наиболее подходящие для конкретных задач.

2. Следить за изменениями и новыми требованиями в области тестирования ПО и веб-разработки, чтобы быть в курсе последних тенденций и инноваций. Это может улучшить процессы разработки и тестирования в будущем.

Цитированная литература

1. Подходы к автоматизации тестирования веб-приложений. – URL: <https://otus.ru/nest/post/1083/> (дата обращения: 15.05.2023). – Текст : электронный.
 2. Компонентное и модульное тестирование. – URL: <http://www.protesting.ru/testing/levels/component.html> (дата обращения: 16.05.2023). – Текст : электронный.
 3. Достоинства и недостатки современных видов тестирования программного обеспечения / Г. Д. Когай, А. Ж. Амиров, Р. В. Стародубенко, К. В. Стародубенко. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2016. – № 21 (125). – С. 153–156. – URL: <https://moluch.ru/archive/125/34699/> (дата обращения: 16.05.2023).
 4. Официальная документация Selenium. – URL: <https://www.selenium.dev/> (дата обращения: 17.05.2023). – Текст : электронный.
-

УДК 378.184:681.527.7

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО КРУЖКА «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА» ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Е. Н. Аксенов, А. В. Деткова

Представлены результаты деятельности студенческого научного кружка «Микроэлектроника» инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко, в частности макет свето-звукового оповещателя для выгула домашних животных на базе микроконтроллеров, являющийся инновационным и не имеющим аналогов по концепции, принципу действия и элементной базе. Описаны структурная, функциональная и принципиальная электрические схемы разработанного электронного устройства.

Ключевые слова: *студенческий научный кружок, макет электронного устройства, трекер, свето-звуковой оповещатель, структурная схема, функциональная схема, принципиальная электрическая схема.*

INNOVATIVE PROJECTS OF THE STUDENT SCIENTIFIC CLUB “MICROELECTRONICS” ENGINEERING AND TECHNICAL INSTITUTE

E. N. Aksenov, A. V. Detkova

The article presents the results of the activities of the student scientific club “Microelectronics” of the Engineering and Technical Institute of PSU named after T.G. Shevchenko. A model of a light and sound annunciator for walking pets based on microcontrollers is presented, which is innovative and has no analogues in concept, principle of operation and element base. The structural, functional and circuit diagrams of the developed electronic device are described.

Keywords: *student scientific club, layout of an electronic device, tracker, light and sound annunciator, block diagram, functional diagram, circuit diagram.*

Студенческий научный кружок «Микроэлектроника» – объединение, созданное по инициативе студентов и представителей профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института, объединившихся для реализации научно-исследовательских проектов самых разнообразных отраслей знаний на основе электроники и микропроцессоров.

Научный кружок функционирует в целях вовлечения студентов в научно-исследовательскую работу как важнейшую

составляющую системы подготовки современных высококвалифицированных специалистов в области информатики и вычислительной техники.

Результаты деятельности студенческого научного кружка представлены в виде научных докладов на научных конференциях и иных форумах различного уровня, а также в виде научных статей (тезисов) студентов, опубликованных в печатных изданиях различного уровня.

Разработанные макеты электронных устройств на базе микроконтроллеров вы-

ставляются на конкурсах профессионального мастерства, ярмарках профессий, предметных олимпиадах и других научно-исследовательских мероприятиях.

Многие студенческие проекты являются инновационными и не имеющими аналогов по концепции, принципу действия и элементной базе. Представим результат разработки такого проекта – свето-звукового оповещателя для выгула домашних животных на базе микроконтроллеров.

Каждый год во всем мире без вести пропадает тысячи домашних животных, которые теряются в парках, пугаются петард, убегают в пылу охоты. Почти никто из владельцев животных не застрахован от подобных историй. Чтобы их избежать, созданы специальные GPS+GSM-трекеры – эти устройства позволяют отслеживать передвижения питомца и помогают вовремя вернуть его домой (рис. 1).

У трекеров для животных есть один неочевидный минус: гаджет может привлечь внимание злоумышленников. Доверчивое потерянное животное могут просто ограбить: забрать устройство, выкинуть сим-карту и помешать питомцу найти своих хозяев как можно быстрее.

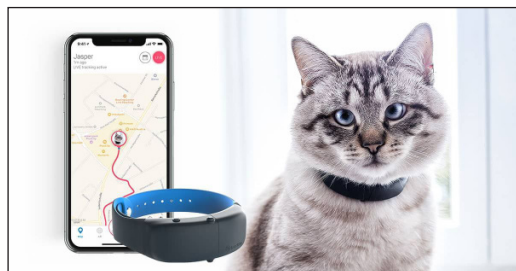


Рис. 1. Трекер для домашних животных

Дополнительная сложность заключается в отсутствии у некоторых операторов связи подходящих тарифов или технологий для использования GSM-трекеров. Подобные приборы для поиска животных с 4G LTE технологией – большая редкость, к тому же не всегда операторы связи могут подключать к своим сетям данные устройства [1].

Еще один способ обнаружения домашнего животного, оставшегося без присмотра, разработали студенты научного кружка – это свето-звуковые оповещатели, активируемые при удалении животного от хозяина. Ультразвуковые светодиоды и звуковой оповещатель, закрепленные на ошейнике питомца, будут хорошо различимы за сотни метров в парковых зонах. Такая конструкция поисковых устройств для животных является уникальной.

Схема электрическая структурная **свето-звукового оповещателя для выгула домашних животных** состоит из передающей и приемной частей (рис. 2, 3).

В передающей части расположены следующие блоки: ПЗУ с уникальным кодом, сдвиговый регистр 1, генератор импульсов 1, модулятор, передатчик, передающая антенна.

В приемной части расположены следующие блоки: принимающая антенна, приемник, демодулятор, ПЗУ с кодом, сдвиговый регистр 2, генератор импульсов 2, устройство сравнения, узел задержки, сигнализатор.

Рассмотрим структуру передающей части, которая в виде электронного модуля находится у владельца домашнего животного.

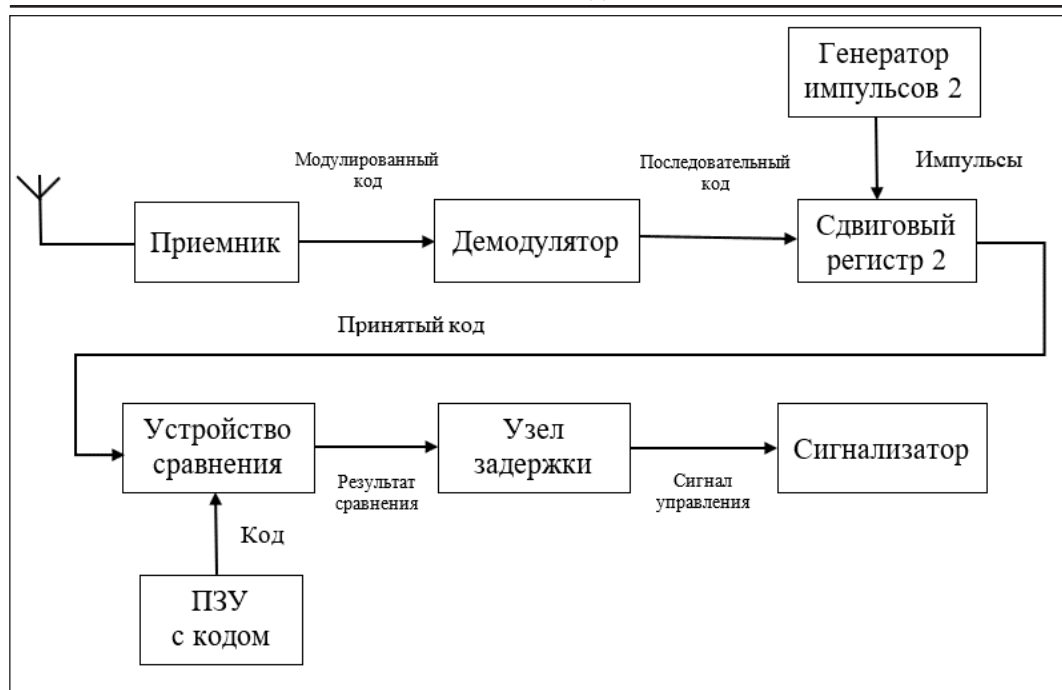


Рис. 2. Электрическая структурная схема передающей части

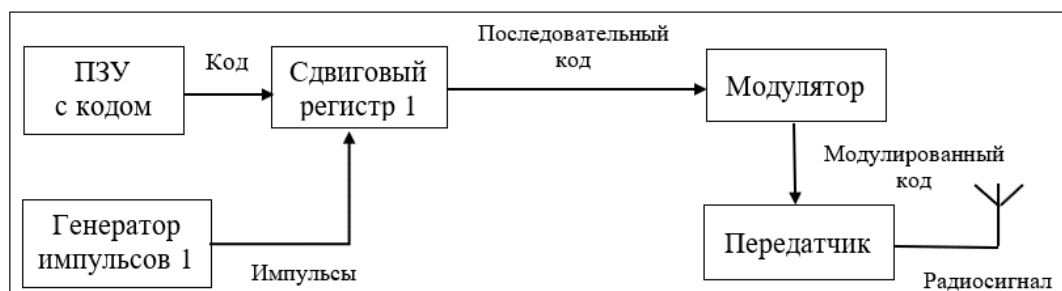


Рис. 3. Электрическая структурная схема приемной части

В передающей части установлено ПЗУ с уникальным запрограммированным кодом. Данный код формируется уникально для каждого передатчика, чтобы приемник реагировал только на соответствующий ему код.

Сдвиговый регистр превращает параллельный код, поступивший из ПЗУ, в последовательный код. Тактируется сдви-

говый регистр от генератора импульсов. Каждый импульс – это сдвиг одного бита и выдача этого бита в виде последовательного кода на модулятор.

Модулятор преобразует цифровой код в аналоговый модулированный сигнал, который затем поступает на передатчик и излучается в виде радиочастотного сигнала через передающую антенну [2].

Рассмотрим структуру принимающей части, которая расположена на ошейнике домашнего животного.

Антенна улавливает радиосигнал, который затем поступает на приемник. Приемник на выходе выдает модулированный код.

Демодулятор осуществляет обратное преобразование с аналогового модулированного сигнала в цифровой код.

Цифровой код будет повторять код, который передается в эфире в последовательном виде. С помощью сдвигового регистра 2 происходит сдвиг и накопление этого кода для преобразования его в параллельный вид. Тактируется регистр от генератора импульсов 2.

Полученный код в параллельном виде поступает на устройство сравнения. На это же устройство сравнения поступает код, хранящийся в ПЗУ приемной части. Этот код должен быть такой же, как в ПЗУ передатчика. Устройство сравнения сравнивает принятый с радиоприемника код с кодом из своего ПЗУ и в случае их совпадения передает сигнал на узел задержки.

Узел задержки продлевает время задержки для того, чтобы не активировать сигнализатор в виде свето-звукового оповещателя.

Как только устройство сравнения выдаст результат, что коды не совпадают (это происходит в случае потери устойчивой связи между передатчиком и приемником), узел задержки осуществит определенную временную задержку, а затем активирует сигнализатор.

Сигнализатор, расположенный на ошейнике домашнего животного, начнет подавать свето-звуковые сигналы, которые

помогут владельцу обнаружить пропавшее животное.

Функциональная схема предназначена для разъяснения процессов, происходящих в отдельных функциональных цепях изделия или изделия в целом. На схеме изображены функциональные части изделия и связи между ними. Графическое построение функциональной схемы наглядно отражает последовательность функциональных процессов, происходящих в схеме. Действительное расположение элементов в изделии устройства не учитывается.

Функциональная схема свето-звукового оповещателя для выгула домашних животных (рис. 4, 5) состоит из передающей и приемной частей.

В ее состав входят следующие элементы:

- 1) постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) с кодом DD1, DD6;
- 2) тактовый генератор DD2, DD4;
- 3) сдвиговый регистр DD3, DD5;
- 4) узел задержки DD8;
- 5) модулятор U1;
- 6) приемник U2;
- 7) усилитель мощности U3;
- 8) сигнализатор BA1.

Назначение блоков функциональной схемы следующее.

В передающей части установлено ПЗУ с уникальным запрограммированным кодом DD1. Тактовый генератор DD2 формирует тактовые импульсы и передает их на сдвиговый регистр DD3.

Сигнал поступает на модуль U1, в котором происходит модуляция и формирование радиосигнала, излучаемого через передающую антенну A1.

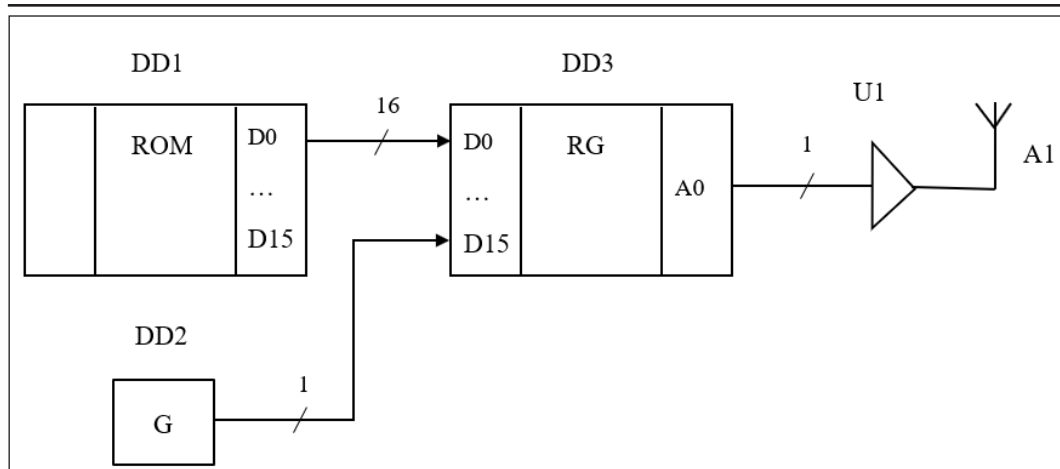


Рис. 4. Функциональная схема передающей части

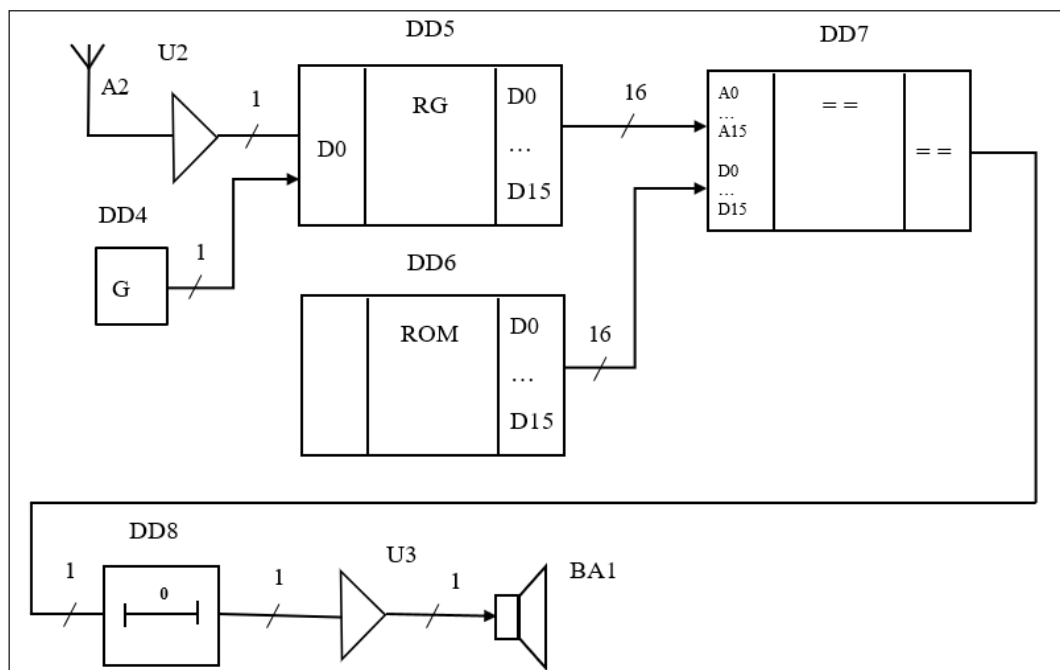


Рис. 5. Функциональная схема принимающей части

В модуле приемной части антенна A2 принимает радиосигнал, который поступает на модуль радиоприемника U2. Модуль радиоприемника U2 сразу выдает готовый цифровой демодулированный сигнал на сдвиговый регистр DD5. Тактируется

сдвиговый регистр тактовым генератором DD4.

Уникальный код, хранящийся в ПЗУ DD6, поступает на устройство сравнения DD7, которое является цифровым компаратором. Компаратор сравнивает два

шестнадцатиразрядных слова A0-A15 и B0-B15. Результат сравнения поступает на узел задержки DD8 и затем передается на усилитель мощности U3.

Как только устройство сравнения DD7 выдаст результат, что коды не совпадают (в случае потери устойчивой связи между передатчиком и приемником), узел задержки DD8 отработает определенную задержку, а затем выдаст сигнал активации сигнализатора BA1.

Сигнализатор BA1, расположенный на ошейнике домашнего животного, нач-

нет подавать свето-звуковые сигналы, которые помогут владельцу обнаружить пропавшее животное.

Для создания макета электронного устройства создается принципиальная схема с использованием специализированного программного обеспечения Splan (рис. 6).

В электрической принципиальной схеме каждая деталь отображается условно-графическим обозначением. Принципиальная схема позволяет понять, как работает устройство, как его детали соединены друг с другом. Кроме того, электрическая прин-

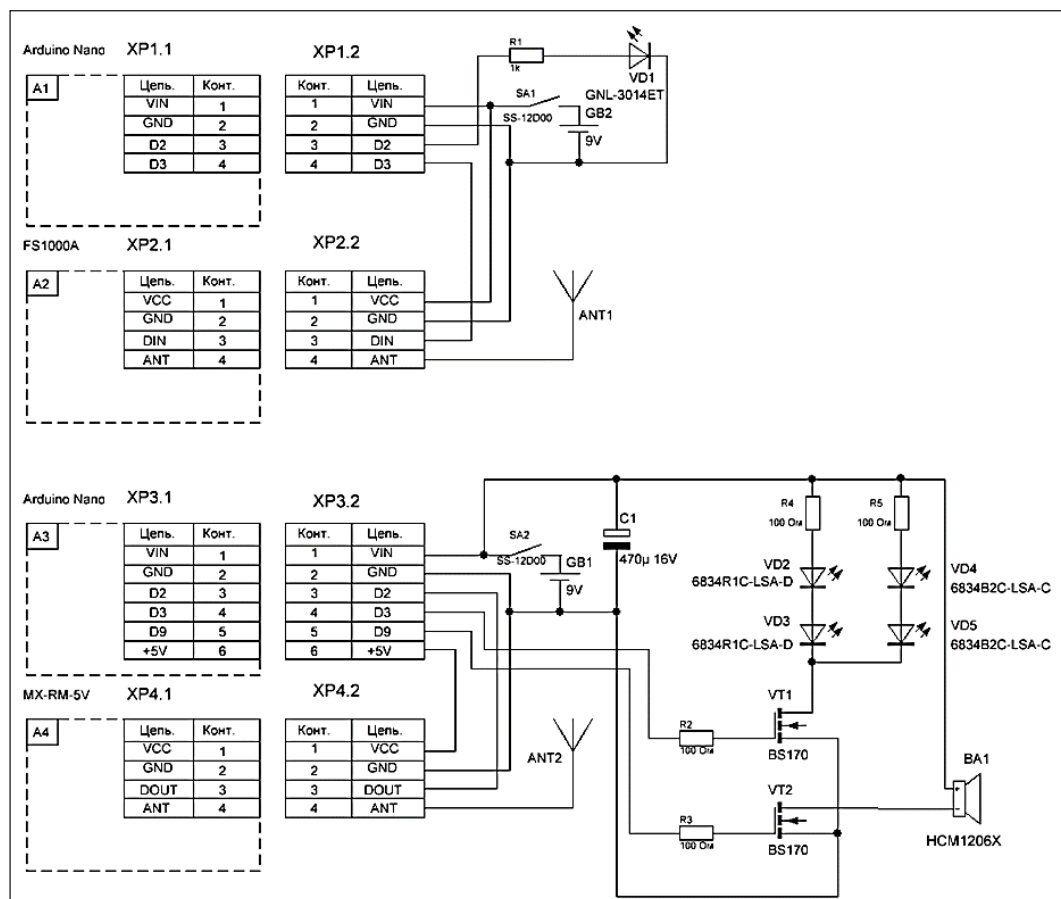


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная

ципиальная схема является исходным заданием для конструктора, по ней и перечню элементов разрабатывается конструкция печатной платы и изделия в целом.

Узел передатчика состоит из модуля A1 Arduino Nano и цифрового передатчика A2 нелицензируемого радиодиапазона 433 МГц. Каждые несколько секунд передатчик излучает в эфир свой уникальный цифровой код. Мощность излучения невысока, поэтому дальность связи между передатчиком и приемником не превышает сотни метров. Дальность связи можно регулировать выдвиганием антенны ANT1. В полностью сложенном состоянии антенны дальность связи не превышает 5 метров [3].

Приемный модуль состоит из комплектного приемника A4 MX-RM-5V и модуля A3 Arduino Nano. Arduino Nano дешифрует принятый приемником код, сравнивает с эталонным, обеспечивает поддержку срабатывания и управляет полевыми транзисторами VT1 и VT2. Полевые транзисторы регулируют работу звукового оповещателя со встроенным генератором VA1 и ультраяркими красными светодиодами с широким углом обзора VD2-VD5.

Питаются обе части устройства от малогабаритной батареи типа «Крона», емкости которой должно хватить на десяток часовых выгулов питомца.

Владелец на модуле передатчика длиной выдвигания антенны определяет разрешенный радиус нахождения животного. Если животное окажется за пределами этого радиуса в течение какого-то времени, сработает световая и звуковая сигнализация, по которой хозяину легко будет отследить нахождение питомца. Особенно

эффективно устройство поможет поиску питомца в вечернее время суток в парковой зоне – световые вспышки и звуковой оповещатель будут различимы за сотни метров.

Свето-звуковой оповещатель для выгула домашних животных на базе электроконтроллеров, разработанный студенческим научным кружком «Микроэлектроника», является уникальным проектом. Учащиеся кружка собрали макет устройства и оценили его эффективность и удобство использования. Устройство можно применить для поиска часто сбегających енотов в контактных зоопарках, для выгула кошек и собак в парковых зонах. Полезно будет устройство и для авиаракетомоделлистов – поиск упавших моделей небольшой дальности полета может быть существенно облегчен. Особенно эффективно устройство работает в вечернее время суток.

Цитированная литература

1. Платт, Ч. Электроника для начинающих / Ч. Платт. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. – 416 с. – Текст : непосредственный.
2. Ревич, Ю. В. Занимательная электроника / Ю. В. Ревич. – 5-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. – 672 с. – Текст : непосредственный.
3. Деткова, А. В. Лабораторный стенд для проверки плат семейства Ардуино / А. В. Деткова, Е. Н. Аксенов. – Текст: электронный. // Вестник Приднестровского университета. Сер.: Физико-математические и технические науки. – № 3(72). – 2022. – С. 124-129. – URL: spsu.ru/science/nauchno-izdatelskaya-deyatelnost/vestnik-pgu (дата обращения : 12.02.2023).

ВНЕДРЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ДЕМОСТРАЦИОННОГО ЭКЗАМЕНА

А. А. Зуев

Анализируется опыт в применении микропроцессорной платформы Arduino на практических занятиях в техническом колледже им. Ю. А. Гагарина. Рассматривается возможность замены программируемых логических контроллеров на платформу Arduino при проектировании роботизированных комплексов и систем автоматизации, а также при проведении демонстрационного экзамена.

Ключевые слова: контроллеры, платформа Arduino, автоматизация, роботизированные комплексы, программируемый логический контроллер.

IMPLEMENTATION OF THE ARDUINO PLATFORM IN THE DESIGN OF AUTOMATION SYSTEMS FOR THE DEMONSTRATION EXAM

A. A. Zuev

The experience in the application of the Arduino microprocessor platform in practical classes at Gagarin Technical College is analyzed. The possibility of replacing programmable logic controllers with the Arduino platform in the design of robotic complexes and automation systems, as well as in conducting a demo exam is considered.

Keywords: industrial controllers, Arduino platform, automation, robotic complexes.

Первые микроконтроллеры появились в конце 1960-х годов и были разработаны для уменьшения размера и улучшения производительности электронных устройств.

Появление первых микроконтроллеров ознаменовало начало новой эры в развитии микропроцессорной техники. Сосредоточение в одном корпусе большинства системных устройств сделало микроконтроллер подобным обычному компьютеру. В отечественной литературе они даже назывались однокристальными микроЭВМ. Соответственно, и желание использовать микроконтроллеры как

обычные компьютеры возникло практически одновременно с их появлением. Но желание это сдерживалось многими факторами. Например, чтобы собрать устройство на микроконтроллере, необходимо знать основы схемотехники, устройство и работу конкретного процессора, уметь программировать на ассемблере и изготавливать электронную технику. Потребуются также программаторы, отладчики и другие вспомогательные устройства. В итоге без огромного объема знаний и дорогостоящего оборудования не обойтись. Такая ситуация долго не позволяла многим любителям использовать микроконтроллеры в своих проектах. Сейчас,

с появлением устройств, дающих возможность работать с микроконтроллерами без наличия серьезной материальной базы и знания многих предметов, все изменилось. Примером такого устройства может служить проект Arduino итальянских разработчиков [1, с. 17].

Подобное устройство может создать даже начинающий электронщик. Например, сегодня существует множество платформ, таких как Arduino и Raspberry Pi, которые облегчают работу с микроконтроллерами и дают возможность обычным людям создавать простые, но интересные проекты. Такие устройства существуют уже несколько лет и стремительно развиваются, открывая потребителям новые возможности в области реализации идей и изобретений. Несмотря на это необходимо помнить, что работа с микроконтроллерами – это не только увлекательно, но и ответственно. Правильное использование и конфигурация микроконтроллера поможет избежать серьезных ошибок и получить максимальную отдачу от его использования.

Платформа Arduino. За годы своего существования Arduino выпустила более 100 аппаратных продуктов: платы, экраны, носители, комплекты и другие аксессуары.

Arduino – это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для новичков и профессионалов. Платформа пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному

коду. Плата Arduino состоит из микроконтроллера Atmel AVR и элементов обвязки для программирования и интеграции с другими схемами. На многих платах присутствует линейный стабилизатор напряжения +5 В или +3,3 В. Тактирование осуществляется на частоте 16 или 8 МГц кварцевым резонатором (в некоторых версиях – керамическим). В микроконтроллер предварительно прошивается загрузчик Boot-Loader, поэтому внешний программатор не нужен. Устройство программируется через USB без использования программаторов [2, с. 5].

Программная часть платформы базируется на среде программирования Arduino IDE с полностью открытой архитектурой, которая абсолютно бесплатная и работает на любой современной системе. Универсальность платформы Arduino позволила работать с приложениями Microsoft Office. Написанная программа загружается в микроконтроллер с помощью загрузчика, расположенного на самой платформе.

Промышленные контроллеры. Программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой микропроцессорное устройство, содержащее определенное количество входов и выходов, подключенных к измерительным преобразователям и исполнительным устройствам объекта управления. ПЛК проверяет состояние входных сигналов и формирует определенную последовательность программно заданных действий, обеспечивающих изменение выходных сигналов [3, с. 17].

Основной функцией ПЛК является контроль и управление работой оборудо-

вания и механизмов на производстве. ПЛК используется для управления различными вертикальными и горизонтальными системами автоматизации производства, а также для решения задач любой сложности в различных отраслях промышленности. В основе устройства ПЛК лежит программируемый микроконтроллер, который управляет отдельными блоками входов/выходов, обеспечивая взаимодействие с окружающей средой.

Программирование ПЛК. Программирование программируемых логических контроллеров производится с помощью нескольких редакторов от разных производителей.

Язык лестничных диаграмм LD (Ladder Diagram) – графический язык, идеологически близкий к электрическим схемам на базе релейно-контактной техники. Данный язык был исторически первым языком программирования ПЛК. Программируемые контроллеры были созданы как альтернатива устаревшим устройствам управления на релейных элементах. Эксплуатация и обслуживание систем управ-

ления на базе новых и старых средств автоматизации выполнялись одним и тем же цеховым персоналом. Поэтому было логичным создание облегченного языка программирования, обеспечивающего простой переход от релейных электрических схем к программам управления в ПЛК. Простота и популярность данного языка способствовали его включению в стандарт МЭК 61131 [3, с. 44].

Логические схемы позволяют программе имитировать протекание электрического тока от источника напряжения через ряд логических условий на входах, которые активизируют условия на выходах (рис. 1).

Язык функциональных блокковых диаграмм FBD (Function Block Diagram) – это графический язык программирования. Программа, созданная на данном языке, является совокупностью функциональных блоков (ФБ), у которых входы и выходы соединены линиями связи. Связи между входами и выходами ФБ являются, по сути, переменными программы. С их помощью выполняется передача инфор-

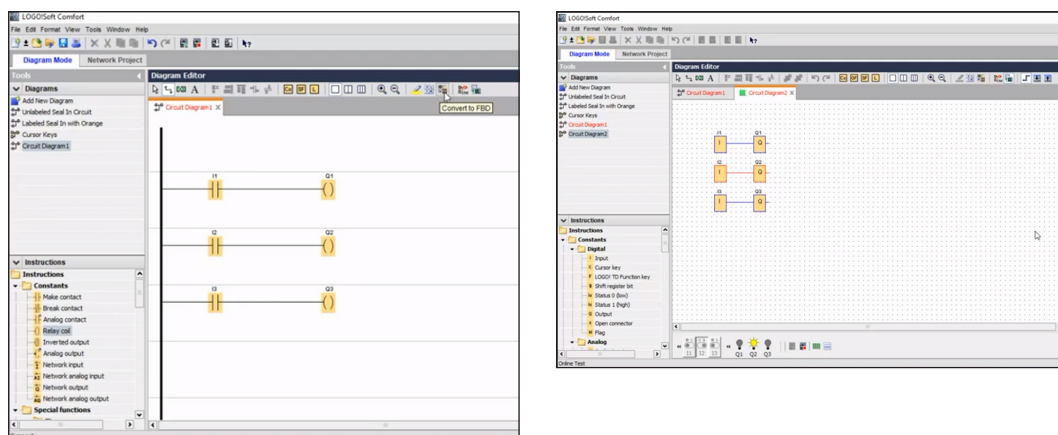


Рис. 1. Графический язык программирования в SIEMENS – LAD и FBD

мации между ФБ, который представляет собой программно реализованный компонент, представленный в программе как «черный ящик». Каждый ФБ выполняет определенную функцию, связанную с обработкой данных [3, с. 50].

Демонстрационный экзамен. Для оценки профессионального мастерства студентов, обучающихся по специальности 2.15.02.14 «Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям)», предлагается компетенция № 19 «Промышленная автоматика». На демонстрационном экзамене будут проверяться различные знания, умения и навыки проектирования и изменения цепей, а именно: принципы графического изображения элементов цепи; специальные технические термины и обозначения; принципы и функции релейных цепей/контакторов и электропневматики; читать и понимать принципиальные схемы; понимать разделы чертежных стандартов (DIN ISO 1219), которые необходимо использовать; проектировать электрические цепи; вопросы и проблемы монтажа полевых компонентов; принципы составления технических чертежей, планов, монтажа элементов управления, принципиальных, функциональных и монтажных схем; подготавливать и устанавливать кабеленесущие системы в пределах установленных допусков и др.

Контроллер SIEMENS [4] является одним из самых популярных контроллеров в индустрии автоматизации. Однако с появлением Arduino многие начали думать о замене контроллера на более доступный и гибкий вариант. Используя Arduino,

наши студенты создают собственные контроллеры, которые точно соответствуют конкретным потребностям проекта. Благодаря гибкой конфигурации и доступной стоимости Arduino, замена контроллера Siemens на Arduino может принести ряд преимуществ, включая улучшенную производительность, более точный контроль и простой ремонт.

В промышленности применение Arduino предоставляет возможность разработки и реализации различных автоматизированных систем и устройств с минимальными затратами и быстрым временем разработки. Arduino обладает расширяемостью и многофункциональностью, что позволяет адаптировать его под различные задачи и потребности промышленности. Она включает в себя системы контроля и управления производственными процессами, мониторинг и управление оборудованием.

Платформа Arduino – доступный и мощный инструмент для создания систем автоматизации. Она является открытым и распространенным стандартом, что позволяет применять ее в различных областях и интегрировать с другими устройствами и технологиями.

Внедрение платформы Arduino при проектировании систем автоматизации позволит студентам получить практические навыки работы с современными технологиями. Это поможет им лучше понять теоретические аспекты учебного курса и развить навыки проектирования и программирования.

Более того, использование Arduino позволит создавать и модифицировать

системы автоматизации с минимальными затратами времени и ресурсов. Это особенно важно для образовательных учреждений, где ограничены бюджет и доступность оборудования.

Таким образом, исследование по внедрению платформы Arduino при проектировании систем автоматизации для демонстрационного экзамена является актуальным и востребованным, так как оно поможет повысить качество практической подготовки студентов и развитие их профессиональных навыков в сфере автоматизации.

Цель настоящей статьи состоит в попытке доказать на основе натуральных экспериментов и моделирования возможность использования Arduino для проведения экзамена.

Основная задача автора статьи заключается в том, чтобы оценить возможности использования Arduino в целях оценки профессиональных компетенций.

Материалами исследования выступают результаты практических экспериментов и виртуального моделирования.

Методы исследования. В качестве методов исследования было принято решение проводить два основных метода исследования. Первый – моделирование и симуляция, а именно создание компьютерных моделей для воспроизведения автоматизированных систем на ПЛК и платформу Arduino. Использование этого метода позволило изменять параметры и условия для анализа и предсказания результатов. Второй метод – это экспериментальное исследование с целью получения новых данных или подтверждения гипотезы о

возможности замены ПЛК на платформу Arduino. Этот метод заключается в организации и проведении экспериментов на лабораторных и практических занятиях, а также сборе и анализе полученных данных.

Уже более пяти лет в техническом колледже им. Ю. А. Гагарина студенты направления «Автоматизация технологических процессов» проводят практические занятия по проектированию систем автоматизации. В эту работу также привлекаются студенты направления «Компьютерные системы и комплексы». На практических занятиях студенты используют ПЛК, измерительные приборы и приборы, собранные на основе платформы Arduino. В ходе занятий студенты изучают основы программирования контроллеров, а также узнают о принципах работы различных типов датчиков и измерительных приборов. Они также учатся настраивать и подключать устройства к контроллерам, а также разрабатывать программное обеспечение для управления ими.

Основной задачей студентов на практических занятиях является освоение различных профессиональных компетенций по сборке систем автоматизации, в том числе компетенция № 19 «Промышленная автоматика». На практических занятиях были проведены эксперименты по замене промышленных контроллеров ONTROLLINO и SIEMENS на платформу Arduino. Работа по замене контроллеров начинается с анализа существующей системы автоматизации и ее требований. Если требования не слишком высокие или специфические, то замена ПЛК на Arduino может быть хорошим выбором.

Первым шагом замены ПЛК являлся сбор информации о существующих системах автоматизации и их функциях. Это может включать в себя исследование документации, проведение тестов и обмен информацией с производителями оборудования.

Затем следовало выбрать модель Arduino, которая соответствует требованиям данной системы автоматизации. В зависимости от задач может потребоваться использование дополнительных модулей расширения для расширения возможностей Arduino.

Дальнейший этап заключался в написании программного обеспечения для Arduino, которое будет управлять системой автоматизации и выполнять требования, установленные в предыдущем этапе. Необходимо учитывать, что программа должна быть надежной и безопасной для работы.

На практических занятиях в нашем колледже были рассмотрены два производителя контроллеров и возможность их замены на платформу Arduino.

В контроллерах ONTROLLINO используется обычная среда программирования Arduino IDE, а если контроллеры SIEMENS, то тут используется LAD и FBD. Если в первом случае мы сразу можем проектировать системы автоматизации, то во втором случае необходимо изучить дополнительно еще два языка программирования.

На помощь приходит альтернативная среда программирования FLProg [5]. Программа FLProg позволяет программировать с помощью графических языков FBD и LAD, которые являются стандартом в области программирования промышленных контроллеров (LD, LAD, PKC и FBD стандарта МЭК61131-3) (рис. 2).

Для того, чтобы запрограммировать платформу Arduino, студенты использовали встроенный в FLProg компилятор, который преобразует графический код в код Arduino IDE.

Управление и программирование Arduino осуществляется с помощью простого и интуитивно понятного языка программирования, основанного на C/C++.

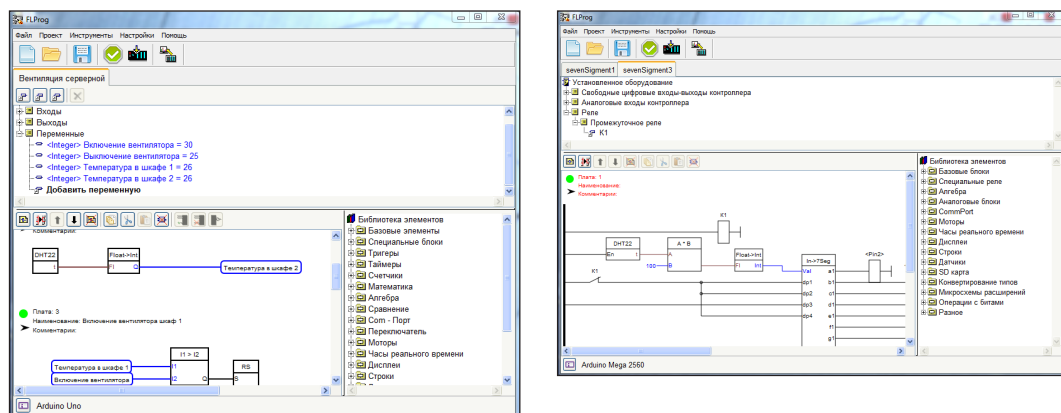


Рис. 2. Графический язык программирования в FLProg – LAD и FBD

Это делает его доступным для неспециалистов и позволяет выполнять быстрое прототипирование и тестирование систем автоматизации.

Благодаря этому студенты получили не только теоретические знания, но и практические навыки работы в области автоматизации. Кроме того, проведенные эксперименты на практических занятиях позволили выявить преимущества и недостатки использования платформы Arduino в сравнении с промышленными контроллерами ONTROLLINO и SIEMENS.

Достоинства платформы Arduino:

- простота использования: Arduino предоставляет простой и понятный интерфейс для программирования микроконтроллеров;

- поддержка большого количества модулей и сенсоров: Arduino имеет большое количество различных модулей и сенсоров, которые могут быть подключены к нему;

- большое сообщество поддержки: Arduino имеет огромное сообщество пользователей, которые делятся своим опытом и создают библиотеки, скетчи и программы;

- открытая платформа: Arduino является открытой платформой и имеет открытый исходный код, что дает возможность пользователям создавать собственные проекты и модифицировать уже существующие;

Однако, несмотря на преимущества, использование платформы Arduino имеет и некоторые отрицательные моменты.

Недостатки платформы Arduino:

- ограниченный объем оперативной памяти и скорость процессора: Arduino имеет ограниченный объем оперативной

памяти и скорость процессора, что может ограничивать возможности приложений, особенно для более сложных проектов;

- ограниченная поддержка высокопроизводительных языков программирования: Arduino предназначен для начинающих программистов, поэтому его поддержка для более продвинутых языков программирования, таких как C++, ограничена;

- не подходят для крупномасштабных проектов: Arduino не предназначен для крупномасштабных проектов, таких как промышленные автоматические системы управления, где требуется большой объем памяти и высокая производительность;

- невозможность использования операционных систем: Arduino не поддерживает операционные системы, поэтому не может быть использован для задач, требующих рабочий процесс операционной системы, такой как запуск нескольких приложений параллельно.

Использование Arduino позволяет разрабатывать компактные и гибкие прототипы, которые можно легко адаптировать к конкретным задачам и их требованиям. Кроме того, платформа имеет широкие возможности для работы с различными датчиками и модулями связи, обеспечивая эффективный механизм сбора и анализа данных, а также управления множеством процессов. В целом, применение платформы Arduino при проектировании систем автоматизации для демонстрационного экзамена может значительно повысить эффективность и точность выполнения задач, а также облегчить процесс их тестирования и демонстрации.

В процессе обучения студенты приобретают необходимые знания и навыки по программированию, а также изучают различные методы и технологии автоматизации производственных процессов. Благодаря этому, выпускники колледжа имеют высокий уровень подготовки и готовы к работе в сфере автоматизации технологических процессов.

Согласно опросу, студенты технического колледжа им. Ю. А. Гагарина успешно применяют свои навыки работы с платформой Arduino на производственной практике и при разработке дипломных проектов, а выпускники применяют свои навыки на предприятиях различных отраслей промышленности.

Простая и недорогая платформа может заменить дорогие ПЛК. Использование платформы Arduino для обучения позволяет расширить кругозор студента и способствует раскрытию творческих способностей при проектировании систем автоматизации и мехатроники.

Цитированная литература

1. **Петин, В. А.** Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2021. – 560 с. – Текст : непосредственный.
2. **Петин, В. А.** Практическая энциклопедия Arduino / В. А. Петин, А. А. Биняковский. –

[2-е изд., доп.]. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 166 с. – Текст : непосредственный.

3. **Сбродов, Н. Б.** Программируемые контроллеры и микроконтроллеры в системах автоматизации: учебное пособие / Н. Б. Сбродов, Е. К. Карпов. – Курган : Изд. Курганского гос. ун-та, 2019. – 110 с. – Текст : непосредственный.

4. Оборудование Siemens. – Текст : электронный // Системы автоматизации. – URL: <https://siemens.i-module.ru> (дата обращения: 13.05.2023).

5. FLProg, визуальное программирование для Arduino. – Текст : электронный // Программа FLProg. – URL: <https://flprog.ru/downloads/distritives/actualversion/versija-programmy-flprog-3-0-3/> (дата обращения: 13.05.2023).

6. Теория автоматического управления: учебник / Е. Э. Страшинин, А. Д. Заколяпин, С. П. Трофимов, А. А. Юрлова; Мин-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 456 с. – Текст : непосредственный.

7. **Фельдштейн, Е. Э.** Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 264 с. – Текст : непосредственный.

8. **Нестеров, К. Е.** Программирование промышленных контроллеров: учебно-методическое пособие / К. Е. Нестеров, А. М. Зюев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 96 с. – Текст : непосредственный.

9. **Шишов, О. В.** Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации: учебник / О. В. Шишов. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 365 с. – Текст : непосредственный.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ПРОДУКЦИИ АПК

В. Г. Звонкий, Ф. Ю. Бурменко

Проведен анализ структурного состава и технического уровня установки для сушки сельскохозяйственной продукции. Выявлены такие конструктивно-технологические особенности установки, которые обеспечивают создание различных режимов сушки материала, создают удобства при использовании и в управлении, при этом снижают материалоемкость и упрощают конструкцию устройства регулирования состава сушильного агента, позволяя снизить удельный расход тепловой и электрической энергии на сушку.

Ключевые слова: конструктивная преемственность, устройство сушильных камер, процесс термообработки продукции.

DESIGN AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS

V. G. Zvonky, F. Yu. Burmenko

The analysis of the structural composition and technical level of the plant for drying agricultural products is carried out. The design and technological features of the installation have been identified, which ensure the creation of various drying modes of the material, create convenience in use and management, while reducing material consumption and simplifying the design of the device for regulating the composition of the drying agent, allowing to reduce the specific consumption of heat and electric energy for drying.

Keywords: constructive continuity, the device of drying chambers, the process of heat treatment of products.

Основная часть влаги агропромышленной продукции находится в свободном виде и может быть удалена при помощи специального оборудования – сушилок, существенным недостатком которых является значительное энергопотребление и невысокое сохранение полезных веществ в конечном продукте.

Сушка представляет собой процесс удаления из продукции влаги, содержащейся в нем сверх равновесной влажности. Равновесной влажностью принято назы-

вать такое конечное содержание влаги в высушиваемой продукции, при котором устанавливается равновесие между материалом и сушильным агентом. В момент наступления равновесной влажности прекращается передвижение влаги из продукта в воздух и обратно. Такое равновесие неустойчиво, оно нарушается с изменением температуры и относительной влажности окружающего воздуха, а затем устанавливается на новом уровне [1]. Устройство сушильных камер и процесс термообработки продукции определяет ее качество и компоновку оборудо-

вания, которое содержит компоненты и отдельные модули, отличающиеся по способу подвода теплоты, виду сушильного агента, давлению в сушильной камере, способу организации процесса, состоянию слоя влажного материала в аппарате. Конструктивная преемственность, т. е. использование при проектировании предшествующего опыта машиностроения данного профиля и смежных отраслей, дает возможность прогнозировать показатели качества и, в частности, показатели надежности вновь создаваемого технологического оборудования [2].

В структурный состав установок для сушки сельскохозяйственной продукции включаются камера обработки, система воздухоприготовления и подачи теплоносителя через высушиваемый материал с рециркуляционным каналом и устройством для регулирования состава теплоносителя, при этом устройство для регулирования состава теплоносителя выполнено в виде смесительной камеры с размещенными в ней регулируемым делителем воздушного потока и запорным клапаном и установлено у входного окна рециркуляционного канала [3]. Использование систем возврата тепла преследует, главным образом, две цели: снизить, с одной стороны, непосредственные энергозатраты на воздухоприготовление, с помощью чего достигается уменьшение затрат на эксплуатацию, а с другой – пиковую нагрузку на теплоэнергетическую установку, в результате чего повышается производительность.

Тепловой поток, выходящий из установки при охлаждении теплого воздуха, можно рассчитать по формуле:

$$I = m_m (i_{m1} - i_{m2}), \quad (1)$$

где m_m – массовый расход теплого воздуха, кВт; i_{m1} и i_{m2} – соответственно энтальпия приточного теплого воздуха и уходящей среды, кДж/кг.

Ощущаемый тепловой поток:

$$I_e = m_m \cdot [c_1 + (x_{m1} - x_{m2}) c_g] \cdot (t_{m1} - t_{m2}), \quad (2)$$

здесь c_1 – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); x_{m1} и x_{m2} – соответственно абсолютная влажность приточного и вытяжного воздуха, кг воды/кг воздуха; c_g – удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·К); t_{m1} и t_{m2} – соответственно температура теплого приточного и холодного вытяжного воздуха, °С.

Конденсирующий в теплообменнике тепловой поток:

$$I_r = m_m \cdot r_g \cdot (x_{m1} - x_{m2}), \quad (3)$$

r_g – скрытая теплота водяного пара, кДж/кг.

Тепло, отдаваемое удаляемым нагретым воздухом, является суммой ощущаемого и скрытого тепловых потоков, оно обеспечивает нагревание воздуха на холодной стороне:

$$I = m_n (i_{n1} - i_{n2}), \quad (4)$$

где m_n – массовый расход холодного воздуха, кВт; i_{n1} и i_{n2} – соответственно энтальпия нагретого и поступающего холодного воздуха, кДж/кг.

В процессе энергообмена у охлаждающего воздуха можно отобрать несколько меньшее количество тепла. Отношение фактического изменения энтальпии к энтальпии охлаждения до температуры атмосферного воздуха – один из важных показателей теплообменника, характеризующегося эффективностью возврата тепла:

$$\Phi = (i_{m1} - i_{n1}) / (i_{m2} - i_{n2}). \quad (5)$$

В практике вместо полного изменения энтальпии часто используют эффективность возврата тепла, рассчитанную на основании температуры двух сред. В такой простой форме эффективность тепла для воздушного потока со стороны холодной поверхности определяется выражением:

$$\Phi = (t_{н1} - t_{н2}) / (t_{м1} - t_{н2}), \quad (6)$$

а эффективность возврата тепла для воздушного потока со стороны теплой поверхности – выражением:

$$\Phi = (t_{м1} - t_{м2}) / (t_{м1} - t_{н1}). \quad (7)$$

Процесс передачи тепла в теплообменнике в случае определенных сред зависит от конструкции системы возврата тепла. В поверхностных теплообменниках тепловой поток, который создается между двумя сторонами разделяющей стенки, можно определить по формуле:

$$I = K \cdot A_m \cdot \Delta t_k, \quad (8)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); A_m – площадь поверхности, м²; Δt_k – средняя логарифмическая разница температур, К.

Средняя логарифмическая разница температур может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\Delta t_k = \varepsilon \frac{(t_{м1} - t_{н2}) - (t_{м2} - t_{н1})}{\ln \frac{(t_{м2} - t_{н1})}{(t_{м1} - t_{н2})}}. \quad (9)$$

Значения коэффициента коррекции ε всегда меньше единицы, так как в работающих системах средняя разница температур никогда не достигает разницы температур при чистом противотоке. Обычно $\varepsilon = 0,96 \dots 0,72$.

При оценке работы теплообменников наиболее важен коэффициент теплопередачи K , а его значение можно определить с помощью следующего уравнения:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_m}}, \quad (10)$$

где a_n и a_m – соответственно коэффициенты теплоотдачи на холодной и теплой сторонах, Вт/(м²·К); δ_i – толщина i -го слоя теплопередающей поверхности, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/(м·К).

В изменениях величины коэффициента теплопередачи большое значение имеют толщина и материал теплопередающих слоев. Для его определения воспользуемся критериями Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля:

$$Nu = \frac{ad_e}{\lambda}; \quad (11)$$

$$Re = \frac{vd_e}{\eta} \rho; \quad (12)$$

$$Pr = \frac{c\eta}{\lambda}, \quad (13)$$

где a – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); d_e – гидравлическое сечение, м; λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К); v – скорость движения среды, м/с; η – динамическая вязкость среды, МЛ⁻¹Т⁻¹; ρ – плотность среды, кг/см³; c – удельная теплоемкость среды, Дж/(кг·К).

Критерий Нуссельта можно выразить и через критерий Рейнольдса и Прандтля:

$$Nu = c \cdot R_e \cdot m \cdot P_r \cdot n. \quad (14)$$

Таким образом, на основании взаимоотношений потоков в характеристике движущихся сред можно определить коэффициент теплопередачи, если выяснены значения всех участвующих в уравнении постоянных величин. Эти аналогичные уравнения в действительности отражают регрессивные взаимосвязи, которые относятся к сходным устройствам и составляющие которых можно точно определить только с помощью замеров. В практике расчетов воздушных теплообменов можно принимать значения $m = 0,71$ и $n = 0,33$.

На основании взаимоотношений теплообменных потоков и с учетом харак-

теристики движущихся сред предложено эмпирическое значение коэффициента теплопередачи K – как показателя эффективности работы устройства.

Предложенная установка для сушки (рис. 1) содержит камеру обработки 18 с системой воздухоприготовления и подачи теплоносителя, включающую вентилятор 2, с нагревателем 3, нагнетательный канал 4 с распределителем 5 воздушного потока и решеткой 6, рециркуляционный канал 7 со смесительной камерой 8, соединяющей последний с камерой обработки 18 посредством рециркуляционного окна 9 (рис. 2) и с атмосферой посредством окон 10 и 11 выброса и притока. В полости смесительной камеры на оси 12 размещены делитель 13 воздушного пото-

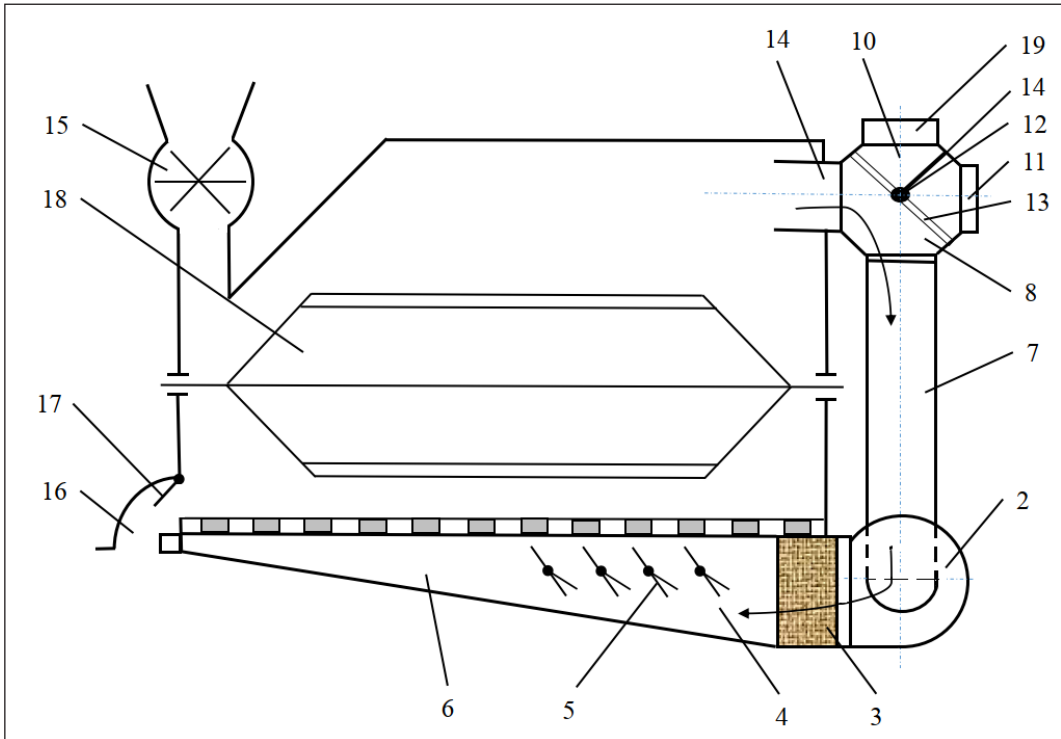


Рис. 1. Общий вид установка для сушки

ка и запорный клапан 14, которые имеют возможность поворачиваться внутри камеры и между собой от приводного механизма. Камера обработки снабжена также загрузочным устройством 15, выгрузным патрубком 16 с заслонкой 17. Для предупреждения попадания внутрь камеры 18 отработки, посторонних предметов окна 10, 11 выброса и притока закрыты защитной сеткой 19.

Работа установки (рис. 2) осуществляется следующим образом: высушиваемый материал через загрузочное устройство 15 загружают в камеру отработки 18, закрывают заслонку 17 выгрузного патрубка 16 и приводят во вращение перемешивающий механизм. Затем включают вентилятор 2 и, при необходимости, нагреватель 3, при этом делитель 13 потока и запорный клапан 14 устанавливают в смесительной камере в соответствии с требуемым технологическим режимом работы установки.

При режиме полной рециркуляции делитель 13 и клапан 14 установлены в положении, показанном на рис. 1, вентилятором 2 воздух нагнетается через нагреватель 3 в канал 4, где равномерно распределяется и через решетку 6 поступает

в камеру 18, проходит через высушиваемый материал, отбирая у него часть влаги, и делителем 13 смесительной камеры 8 направляется через рециркуляционный канал 7 на всасывающий патрубок вентилятора 2.

При режиме полной вентиляции делитель 13 смесительной камеры 8 поворачивают на 180° и устанавливают так, как изображено на рис. 2, а. При таком положении делителя воздух вентилятором 2 засасывается из атмосферы через окно 11 притока, и, аналогично первому режиму притока, и, аналогично первому режиму нагнетается в камеру обработки 18. Отработанный воздух делителем 13 смесительной камеры 8 направляется через окно 10 выброса в атмосферу.

Режим частичной рециркуляции, например, при 50 % от полной вентиляции реализуется, когда делитель 13 смесительной камеры 8 устанавливают в горизонтальное положение (рис. 2, б). Вентилятор забирает часть воздуха из атмосферы через окно 11 притока, а другую часть через рециркуляционное окно 9 из камеры обработки. Процесс смешивания атмосферного и отработанного воздуха начинается в смесительной камере 8, продолжается в рециркуляционном канале 7 и заверша-

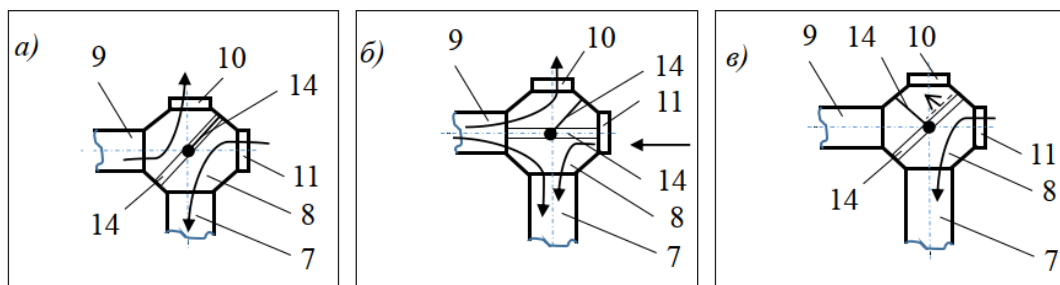


Рис. 2. Схемы работы устройства регулирования состава нагретого воздуха для различных технологических режимов работы установки

ется в вентиляторе 2. Излишний обработанный воздух через рециркуляционное окно 9 поступает в смесительную камеру 8, где делителем 13 и запорным клапаном 14 через окно 10 выброса направляется в атмосферу.

При режиме избыточного давления делитель 13 смесительной камеры 8 устанавливается в положение для режима полной вентиляции, а запорный клапан 14 поворачивают на 90° в положение, показанное на рис. 2, в, перекрывая рециркуляционное окно 9 прохода воздуха, открывают заслонку 17 выгрузного патрубка 16 (см. рис. 1). Вентилятор 2 забирает воздух через окно 11 притока из атмосферы и нагнетает его в камеру обработки 18, создавая в ней избыточное давление. Высушенный материал выгружается из камеры 18 в расположенную под патрубком 16 тару.

Таким образом, установка для сушки обеспечивает создание различных режимов сушки материала, создает удобства при использовании и в управлении, при этом снижая материалоемкость и упрощая конструкции устройства регулирования состава сушильного агента, а также позволяет снизить удельный расход тепловой и электрической энергии на сушку.

Конструктивной особенностью другой установки для сушки пищевой и сельскохозяйственной продукции (рис. 3), которая содержит камеру обработки, систему воздухоприготовления и подачи теплоносителя через высушиваемый материал, включающую нагнетательный вентилятор, рециркуляционный канал, сообщаемые с атмосферой окна с заслон-

ками и перекрывающий шибер, является то, что рециркуляционный канал выполнен из двух коаксиальных воздухопроводов гофрированного вида из теплопередающего материала, образующих трубчатый теплообменник, при этом входное окно внутреннего воздуховода соединено с камерой обработки, выходное окно которого через шибер – с атмосферой и внутренней полостью наружного воздуховода, а выходное окно наружного воздуховода соединено с нагнетающим вентилятором, входное окно которого через заслонки – с атмосферой.

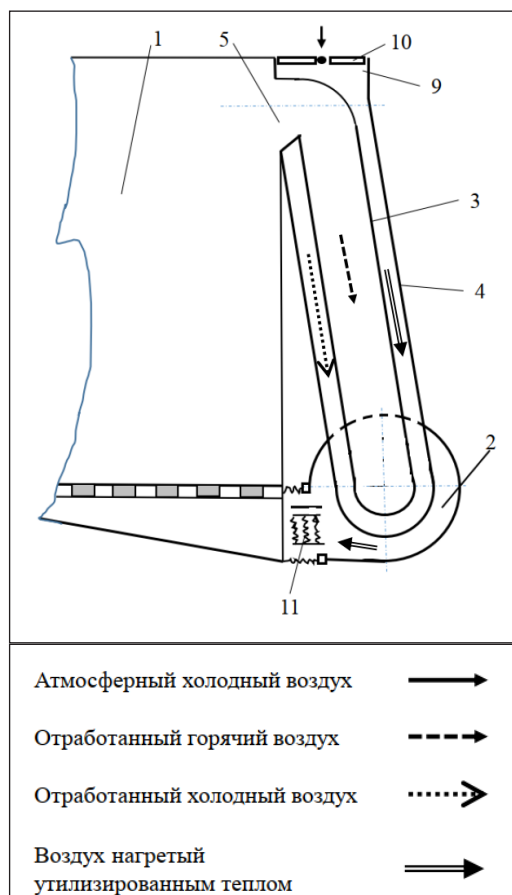


Рис. 3. Схема установки

Установка содержит камеру 1 обработки, нагнетательный вентилятор 2, рециркуляционный канал, выполненный из двух внутреннего и наружного воздуховодов 3 и 4, установленных коаксиально и образующих трубчатый (труба в трубе) теплообменник. Входное окно 5 внутреннего воздуховода 3 сообщается с камерой 1 обработки, а выходное окно 6 через поворотный шибер 7 сообщается с атмосферой и с внутренней полостью наружного воздуховода 4. Выходное окно 8 наружного воздуховода соединено с нагнетательным вентилятором 2, а входное окно 9 через заслонки 10 сообщается с атмосферой. Для увеличения площади и величины теплообмена внутренний воздуховод 3 выполнен гофрированным из теплопередающего материала. Для подогрева, подаваемого в камеру 1 обработки воздуха, имеется нагреватель 11.

Установка работает следующим образом: в камеру 1 загружают высушиваемый материал, включают вентилятор 2 и при необходимости нагреватель 11, при этом шибер 7 и заслонки 10 устанавливают в соответствии с необходимым режимом работы установки.

При режиме полной рециркуляции, заслонки 10 закрыты, шибер 7 установлен в положение А (рис. 4), сообщая выходное окно 6 внутреннего воздуховода 3 с полостью наружного воздуховода 4. Включают вентилятор 2 и подают нагретый воздух в камеру 1. Нагрев воздуха осуществляется нагревателем 11. Проходя через высушиваемый материал, теплый воздух отбирает часть влаги и направляется через окно 5, внутренний воздуховод 3 и выходное окно

6 на всасывающий патрубок вентилятора 2.

При режиме полной вентиляции, заслонки 10 полностью открыты, шибер 7 установлен в положение Б и перекрывает сообщение выходного окна 6 воздуховода 3 с внутренней полостью наружного воздуховода 4, открывая его сообщение с атмосферой. Вентилятором 2 атмосферный воздух нагнетают в наружный воздуховод 4, который проходит по кольцевому пространству между воздуховодами 3 и 4 и через нагреватель 11 поступает в камеру 1. В этой камере теплый воздух отбирает часть влаги у обрабатываемого материала и через окно 5, воздуховод 3 и окно 6 удаляется в атмосферу, нагревая остаточным теплом внутренне воздуховод 3. При заборе атмосферного воздуха через окно 9 последний нагревается в пространства внутреннего воздуховода 3.

При режиме частичной рециркуляции (например, 50 %) заслонки 10 открывают наполовину, а шибер 7 устанавливают в положение В, что позволяет наполовину перекрыть выходное окно воздуховода 3, одновременно обеспечивая его сообщение с внутренней полостью воздуховода 4 и с атмосферой. Движение и направление воздуха аналогично режиму полной вентиляции, однако на выброс в атмосферу направляется только половина воздуха, а другая половина вентилятором 2 направляется в камеру 1 обработки, в которую одновременно поступает атмосферный воздух через окно 9, предварительно подогретый в кольцевом пространстве воздуховода 3, утилизируя тепло воздуха удаляемого в атмосферу.

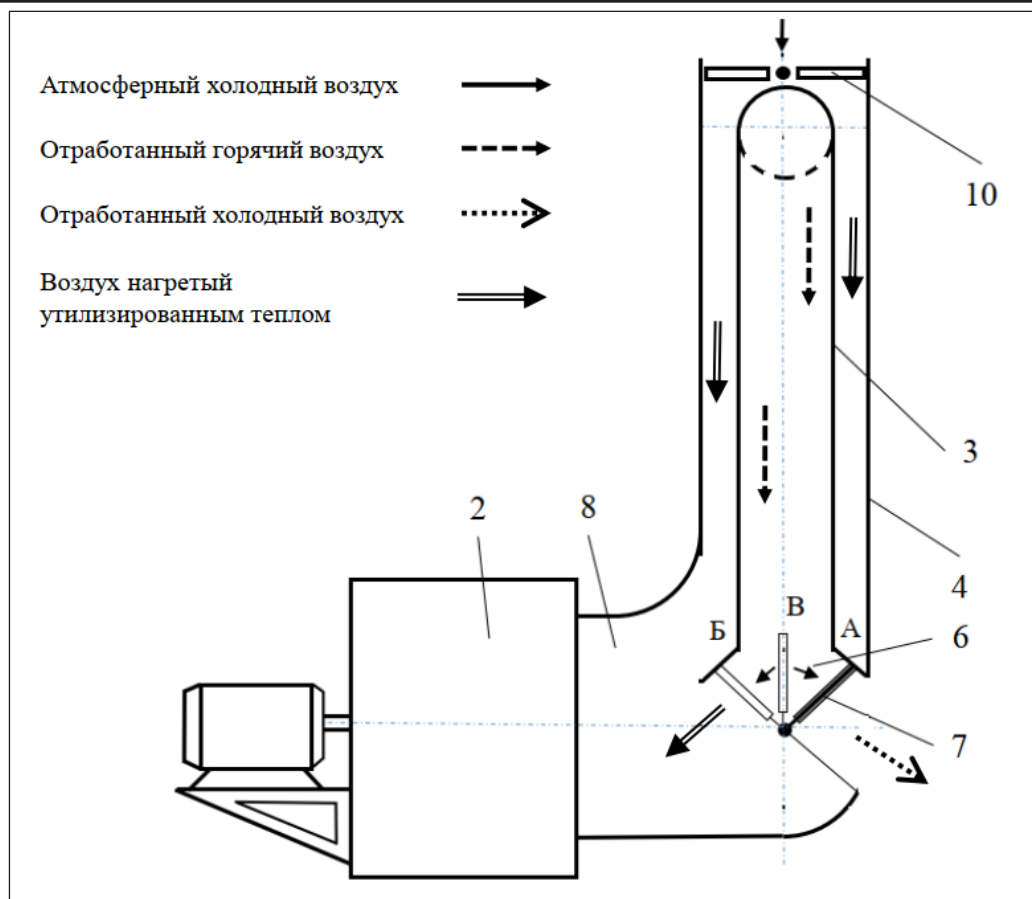


Рис. 4. Схема системы воздуха-приготовления и вентиляции

Предлагаемые установки относятся к сушильной технике и предназначены для обработки растительного влажного материала и различных пищевых продуктов, при этом за счет конструктивно-технологических решений обеспечивая повышения эффективности и экономичности процесса сушки.

Цитированная литература

1. Технологические основы сушильно-го процесса. – URL: <https://mehanizator-ua.ru/>

sushka-selskokhozyajstvennoj-produktsii/348-technologicheskie-osnovy-sushilnogo-processa.html (дата обращения: 10.05.2023). – Текст : электронный.

2. Теоретические основы сушки пищевых продуктов. – URL: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04200produkty/008_pishevie_koncentrati_bachurskaia_gulaev_1976/007.htm (дата обращения: 11.05.2023). – Текст : электронный.

3. Промышленная сушка сырья для АПК – обзор технологий. – URL: <https://spark.ru/startup/yavadzhra/blog/16798/promishlennaya-sushka-siriya-dlya-apk-obzor-tehnologij> (дата обращения: 11.05.2023). – Текст : электронный.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНОГО ПРОЦЕССА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАННОГО АГЕНТА

Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий

Предлагается концепция реализации ресурсосберегающей технологии сушки, заключающейся в повышении эффективности организации сушильного процесса, которая включает в себя оптимизацию теплотехнической схемы, конструкции сушильной установки, а также в режимных параметрах полной и частичной рециркуляции сушильного агента. При повышении эффективности сушильного процесса следует учитывать факторы, влияющие на кинетику сушки с целью интенсификации сушильного процесса при обработке растительного влажного материала и получения пищевых продуктов высокого качества.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии сушки, оптимизация теплотехнической схемы, режимы полной и частичной рециркуляции сушильного агента, энергосберегающие технологии.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE DRYING PROCESS BY IMPROVING THE OPERATION OF THE SPENT AGENT RECYCLING SYSTEM

F. Yu. Burmenko, V. G. Zvonky

The article proposes a concept for the implementation of resource-saving drying technology, which consists in increasing the efficiency of the organization of the drying process, which includes optimization of the thermal circuit, the design of the drying plant, as well as in the operating parameters of full and partial recirculation of the drying agent. By increasing the efficiency of the drying process, factors affecting the kinetics of drying should be taken into account in order to intensify the drying process when processing vegetable wet material and obtaining high-quality food products.

Keywords: resource-saving drying technologies, optimization of the thermal circuit, modes of full and partial recirculation of the drying agent, energy-saving technologies.

Повышение эффективности организации сушильного процесса включает в себя оптимизацию теплотехнической схемы, конструкции сушильной установки, а также его режимных параметров. Температурный режим сушки зависит от свойств высушиваемого материала и условий технологического процесса его производства. В общем случае процесс сушки состоит из

периода подогрева и периода обработки с интенсивностью удаления влаги, которые зависят от различных факторов, а интенсивность и экономичность процесса обезвоживания можно повысить, если начальную температуру агента сушки принять максимальной в пределах, допускаемых свойствами материала. Интенсивность испарения с поверхности материала в период, когда она находится во влажном

состоянии, определяет и интенсивность сушки [1].

Непосредственный выбор метода повышения тепловой экономичности зависит от конструкций сушилок и базовой физической сущности происходящих в них процессов, которые определяются статикой и кинетикой. Материальный и тепловой балансы сушилки при статическом подходе определяют расходы сушильного агента и теплоты, а также оценивают тепловую экономичность сушильной установки. При кинетическом исследовании, изменения во времени среднеинтегральных влагосодержания материала и его температуры, устанавливается продолжительность сушки и габариты установки, при этом последние во многом определяют тепловые потери и тепловую экономичность сушилки.

Таким образом, при анализе возможностей повышения эффективности сушильного процесса следует учитывать факторы, влияющие на кинетику сушки, т. е. сушильная установка дает возможность интенсифицировать процесс сушки при обработке растительного влажного материала и получать пищевые продукты высокого качества.

При получении высококачественного продукта с высокими значениями влагоемкости назначаются переменные режимы сушки, изменяющие значение влагосодержания d_i и температуры сушильного агента t_i в широких пределах, не превышающих, однако, максимально допустимых температур сушки [2].

Процесс изменяющегося во времени теплообмена является циклическим и не-

стационарным, его можно записать в виде следующей зависимости:

$$C_m \cdot \tau_m \cdot (t_{m1} - t_m) = C_n \cdot \tau_n \cdot (t_{n1} - t_n), \quad (1)$$

где C_m и C_n – теплоемкость протекающей теплой среды и холодной среды соответственно, Вт/К; t_{m1} и t_{n2} – соответственно средняя местная температура на входе теплой и при выходе холодной сред, °С; t_m и t_n – соответственно средняя температура протекающей теплой среды и холодной среды, °С; τ_m и τ_n – соответственно время воздействия теплого и холодного потоков, с.

Эта зависимость показывает, что одна среда в период охлаждения получает столько тепла, сколько другая отдает в период нагревания.

Количество тепла в процессе одного цикла можно определить с помощью следующего уравнения:

$$Q_c = K \cdot A \cdot (\tau_m + \tau_n) \cdot \Delta t_k. \quad (2)$$

Между соприкасающимися средами происходит передача тепла. Так, например, тепловое уравнение воздушная-водная среда может быть записано следующим образом:

$$I = m_l \cdot (i_1 - i_2) = m_v \cdot c_v \cdot (t_{v2} - t_{v1}), \quad (3)$$

где m_l – количество протекающего воздуха, кг/с; i_1 и i_2 – соответственно энтальпия воздуха перед и после теплообмена, кДж/кг; m_v – общий расход воды, кг/с; c_v – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); t_{v2} и t_{v1} – соответственно температура воды до и после теплообмена, °С.

Количество воды (конденсация влаги), попавшей в процессе в воздух, выражают с помощью коэффициента распыления: $\varepsilon = m_v / m_l$. Если эти данные ввести

в предыдущую формулу (3), то получим энтальпию воздуха:

$$i_1 - i_2 = \varepsilon \cdot c_v \cdot (t_{v2} - t_{v1}), \quad (4)$$

в процессе теплообмена влагосодержание воздуха определяется по $(I - d)$ – диаграмме влажного воздуха.

Учитывая особенности процесса для каждого интервала температур, можно применять индивидуальный наиболее интенсивный процесс сушки. Так, например, сушильный агент, покидая камеру сушки, имеет параметры: относительную влажность $\varphi = 90-95$ %, температуру 40 °С, влагосодержание $d = 0,045$ кг/кг, наружный воздух имеет параметры: $\varphi = 50-60$ %; $t = 20-25$ °С, $d = 0,01$ кг/кг.

Для отработанного воздуха, при указанных выше параметрах, температура, соответствующая точке росы, при которой происходит конденсация влаги, согласно $(I - d)$ – диаграммы, будет равна $t_p = 38$ °С. Исходя из того, что температурный напор в теплообменнике будет $\Delta t = 40 - (20 \div 25) = (20 \div 15)$ °С, можно ожидать, что будет происходить интенсивная конденсация влаги на стенках теплообменника, так как температура отработанного воздуха предположительно снизится до $(30 \div 34)$ °С.

В схему компоновки установки рекомендовано включить камеры сушки, систему воздухоприготовления и подачи теплоносителя через высушиваемый материал, включающую нагнетательный вентилятор и рециркуляционный канал, выполненный в виде трубчатого (труба в трубе) теплообменника из двух коаксиальных воздухопроводов. Конструктивной особенностью является то, что входное окно наружного

воздуховода соединено с сушильной камерой, а выходное окно через шибер сообщено с атмосферой, входное окно внутреннего воздухопровода соединено через шибер с атмосферой, а выходное окно соединено с всасывающим патрубком нагнетательного вентилятора, при этом нижняя часть внутреннего воздухопровода оснащена створчатыми жалюзи, сообщающими внутреннюю полость внутреннего воздухопровода с внутренней полостью наружного воздухопровода, при этом в нижней части наружного воздухопровода смонтировано устройство для сбора и удаления конденсата. Такое выполнение увеличивает продолжительность теплообмена двух воздушных потоков через стенку внутреннего воздухопровода, что позволяет отработанному воздуху достичь температуры, соответствующей точке росы, до смешивания его с наружным воздухом во внутреннем воздуховоде в режимах полной и частичной рециркуляции сушильного агента [3, 4].

На рисунке показана установка, которая содержит камеру обработки 1, нагнетательный вентилятор 2, рециркуляционный канал, выполненный из двух коаксиальных воздухопроводов 3 и 4, соответственно внутреннего и наружного, образующих трубчатый (труба в трубе) теплообменник. Входное окно 5 наружного воздухопровода 4 соединено с камерой 1 обработки, а выходное окно 6 через шибер 7 сообщено с атмосферой. Входное окно 8 внутреннего воздухопровода 3 сообщено через шибер 9 с атмосферой, а выходное окно 10 соединено с нагнетательным вентилятором 2. Нижняя часть внутреннего воздухопровода 3 оснащена створчатыми жалюзи

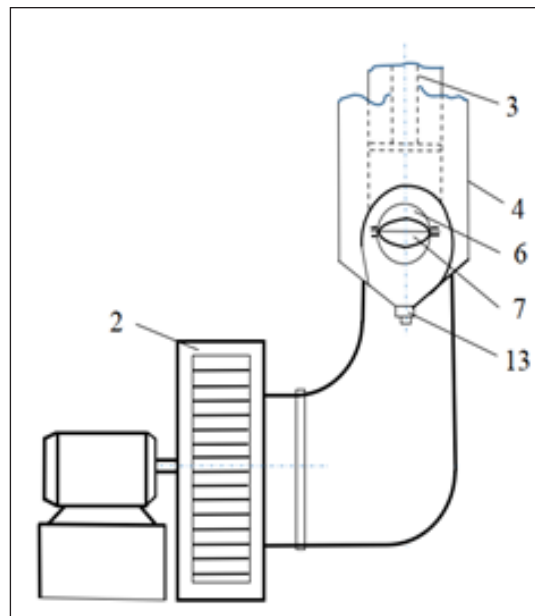
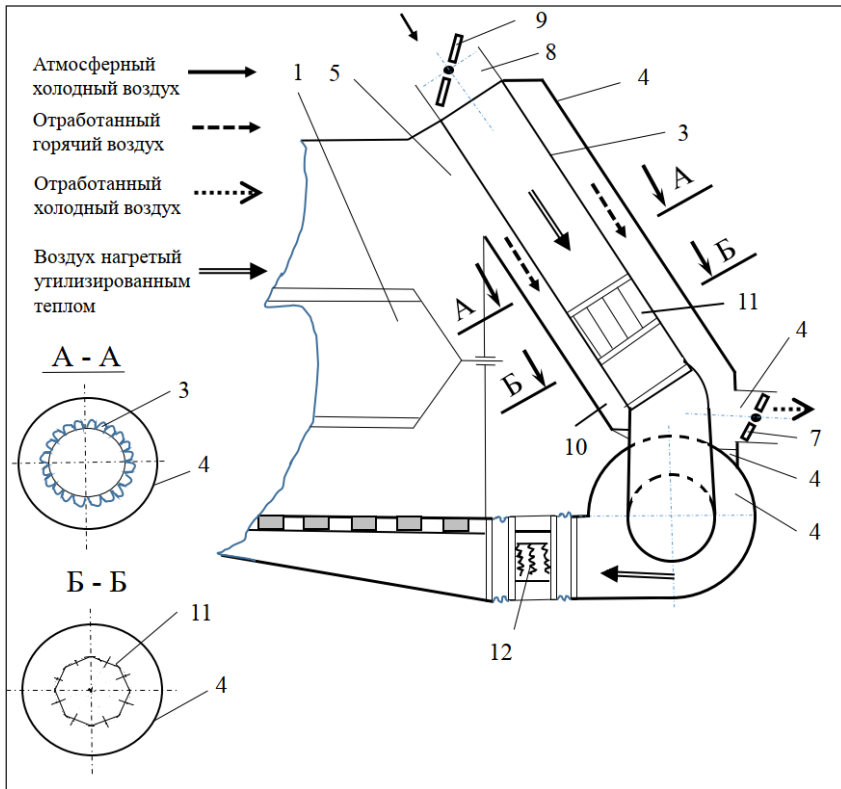


Схема установки

II, сообщающими внутреннюю полость внутреннего воздуховода 3 с внутренней полостью наружного воздуховода 4. Для увеличения площади и величины теплообмена внутренний воздуховод 3 выполнен гофрированным из теплопередающего материала. Для подогрева, подаваемого в камеру 1 обработки воздуха имеется нагреватель 12. Для удаления сконденсировавшейся влаги наружный воздуховод 4 снабжен устройством 13 для сбора и удаления конденсата.

При рабочем состоянии установки (см. рисунок) в камеру обработки 1 загружают высушиваемым материалом, включают вентилятор 2 и при необходимости нагреватель 12, при этом шибер 9 и 7, а также жалюзи 11 устанавливаются в соответствии с требуемым технологическим режимом работы установки.

При реализации режима полной рециркуляции шиберы 9 и 7 закрыты, створчатые жалюзи 11 открыты полностью, сообщая выходное окно 10 внутреннего воздуховода 3 с внутренней полостью наружного воздуховода 4. Вентилятором 2 воздух нагнетается через нагреватель 12 в камеру сушки, проходит через высушиваемый материал, отбирая у него часть влаги и через входное окно 5, внутренней полости наружного воздуховода 4, створчатые жалюзи 11 и выходное окно 10 поступает во всасывающий патрубок вентилятора 2.

При осуществлении режима полной вентиляции шиберы 9 и 7 открыты полностью, жалюзи 11 закрыты, при этом они перекрывают сообщение входного окна 5, внутренней полости наружного воздуховода 4 с выходным окном 10 и всасываю-

щим патрубком вентилятора 2. Вентилятором 2 атмосферный воздух засасывается во внутренний воздуховод 3 и нагнетается через нагреватель 12 в камеру сушки 1, где проходит через высушиваемый материал, отдавая ему часть тепла, нагревая его и отбирая у него часть влаги, через входное окно 5 поступает во внутреннюю полость наружного воздуховода 4 и через выходное окно 6 удаляется в атмосферу. При этом остаточным количеством тепла внутренний воздуховод 3 нагревается. Засасываемый через окно 8 атмосферный воздух проходя по внутреннему воздуховоду 3 получает от него тепло отработанного воздуха. Конденсат, образовавшийся в результате теплообмена на внутренней стенке наружного воздуховода 4 и внешней стенке внутреннего воздуховода 3 стекает в сборник 13, откуда удаляется с помощью крана.

При выборе режима частичной рециркуляции шиберы 9 и 7 открыты, например, наполовину. Створчатые жалюзи 11 также открыты на 50 %, что позволяет разделить отработанный воздух на две равные части, одну из которых удалить в атмосферу через окно 6, а другую направить на рециркуляцию. Движение и направление воздуха аналогично режиму полной вентиляции, только направляется на выброс в атмосферу половины воздуха, а другая нагнетается вентилятором 2 в камеру обработки, куда одновременно поступает свежий атмосферный воздух, засасываемый через окно 8 и подогретый в воздуховоде 3 утилизированным теплом отработанного воздуха. Конденсат удаляется аналогично режиму полной вентиляции.

Таким образом, предлагаемая установка обеспечивает утилизацию теплоты отработанного воздуха за счет передачи ее через стенку внутреннего воздуховода воздуху, поступающему в камеру из атмосферы, а также значительно повышает сушильную способность агента сушки в режимах частичной и полной рециркуляции теплоносителя, путем удаления образовавшегося конденсата из циркуляционного контура сушильной установке, что позволяет на 12–18 % сократить энергозатраты на сушку.

Цитированная литература

1. Технологические основы сушильного процесса. – URL: [https://mehanzator-](https://mehanzator-ua.ru/sushka-selskokhozyajstvennoj-produktsii/348-texnologicheskie-osnovy-sushilnogo-processa.html)

[ua.ru/sushka-selskokhozyajstvennoj-produktsii/348-texnologicheskie-osnovy-sushilnogo-processa.html](https://mehanzator-ua.ru/sushka-selskokhozyajstvennoj-produktsii/348-texnologicheskie-osnovy-sushilnogo-processa.html) (дата обращения: 11.05.2023). – Текст : электронный.

2. Барко, А. В. Экспериментальное исследование сушильной установки на базе теплового насоса / А. В. Барко, Ю. С. Беззаботов. – Текст : электронный // Успехи современного естествознания. – 2009. – 8. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=13983> (дата обращения: 11.05.2023).

3. Патент СССР № 637603, F 26 В 3/06, 17/12, опубл. 1975 г. – Способ рециркуляционной сушки зерна. – URL: <https://findpatent.ru/patent/173/1730517.html> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст : электронный.

4. Патент СССР № 1011097, А 23 В , 7/02, опубл. 1981 г. – Устройство для сушки семенной кукурузы. – URL: <https://findpatent.ru/patent/163/1632363.html> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст : электронный.

ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

УДК 351/354

ТРАНСФОРМАЦИЯ СУЩНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

И. В. Васильев

Становление новых рыночных отношений требует пересмотра некоторых положений в системе управления экономикой, в частности, в системе управления общественным производством. Необходимо так выстраивать политику взаимодействия и взаимосвязи государства и бизнеса, чтобы цели управления и цели производства совпадали, а именно, учитывались объективные потребности общества, поддерживались ресурсные источники предприятий и их устойчивое и желательное состояние в будущем. Важно своевременное принятие решений, способствующих повышению эффективности и результативности деятельности по управлению общественным производством.

Ключевые слова: управление общественным производством, целеполагание, функции управления, эффективность управления.

TRANSFORMATION OF THE ESSENCE AND CONTENT OF THE MANAGEMENT OF SOCIAL PRODUCTION

I. V. Vasiliev

The formation of new market relations requires a revision of certain provisions in the system of economic management, in particular the management of social production. It is necessary to build a policy of interaction and interconnection between the state and business in such a way that the goals of management and the goals of production coincide, namely, the objective needs of society are taken into account, the resource sources of enterprises are supported and their stable and desirable state in the future. It is important to make timely decisions that help to increase the efficiency and effectiveness of social production management activities.

Keywords: social production management, goal-setting, management functions, management efficiency.

Радикальные преобразования, происходящие в приднестровской экономике в последние десятилетия диктуют необходимость пересмотра некоторых

положений, касающихся сущности и содержания управления общественным производством. Путь от плановой экономики до экономики, основанной на рыночных принципах, был непростой, и он

продолжается. Но есть границы, нарушение которых нежелательно. Для начала надо отметить, что содержание управления раскрывается через цели, функции, организационные структуры, процессы и методы. Они рассматриваются применительно к понятию управления в целом, в смысле выработки единого мнения или приемлемого соотношения между действиями субъекта и объекта управления, аппарата управления и трудового коллектива и т. п.

Обобщая различные точки зрения и результаты исследования в этой области, наиболее удачной формулировкой, характеризующей сущность и содержание управления общественным производством, представляется следующая: управление общественным производством – это специфический вид деятельности, удовлетворяющий объективные потребности общественного производства в определении целей его функционирования и эффективного развития, в разработке необходимых средств и способов их достижения, а также в координации усилий всех участников производства для получения результатов соответствующим целям [1].

В данном определении отражены наиболее существенные свойства феномена управления, как объективно необходимого вида деятельности.

Актуальность проблемы исследования общественного воспроизводства в современной экономической теории и практике аргументируется главным образом потребностями народного хозяйства в стабильных условиях экономического развития. В реальной хозяйственной жизни

этого обеспечить не всегда удается. Причины здесь могут быть разные: геополитические, технологические, социальные, идеологические. Но главное заключается в том, что существующий аппарат исследования экономических трансформаций по вышеуказанным факторам не дает полную картину структуры общественного воспроизводства. А потенциал общественного воспроизводства очень велик, и вовлечение в свой круг новых элементов экономических отношений позволит создать требуемые условия для его стабильного роста.

Научная новизна исследования заключается в расширенной оценке воспроизводственных процессов и явлений, в их сочетании с институциональными изменениями в обществе, в силу чего проблема повышения эффективности общественного воспроизводства требует постоянного внимания участников этого процесса, при этом решение возникающих проблем должно осуществляться только лишь на базе производственных отношений, структурированных с учетом социальных и партнерских отношений участников.

В качестве составных частей управления выделены три направления деятельности: 1) целеполагание; 2) разработка механизмов реализации целей; 3) осуществление координации совместных усилий (путем взаимодействия и воздействия) для получения результатов, адекватных целям. Этого достаточно, чтобы управленческий труд выделился в особый вид труда, обязательный для нормального функционирования и развития производства.

Рассмотрим по предложенной структуре основные положения понятия управления общественным производством на примере одной его ветви – целеполагания. Научное обоснование категория «цель» получила лишь в материалистической философии в конце XIX века. С точки зрения его представителей, цель – это мысленная модель того результата, который материализуется посредством практики. Наличие осознанной цели свойственно только человеческой деятельности. Цель есть идеальный образ желаемого состояния, обусловленный объективно существующими у человека потребностями, и тем самым – направляющее начало, основа координации и активизации деятельности человека. Она как закон определяет способ и характер его действий [2].

Трудно переоценить роль целеполагания в условиях развивающейся рыночной экономики. Процессы разгосударствления и демонополизации, законодательное закрепление многообразия форм собственности, децентрализация управления экономикой – все это и многие другие факторы изменений неизбежно приводят к формированию большого количества новых объектов и субъектов управления. Каждый из них начинает свой жизненный цикл со стадии создания, на которой ключевым моментом является определение целей и задач.

Проблемы целеполагания должны постоянно решать и уже действующие предприятия, работающие в условиях хозяйственной самостоятельности и быстро меняющейся конъюнктуры рынка. Естественно, что эти проблемы особо остро

встают перед начинающими предпринимателями. Их прежде всего волнует, какие цели в нынешней ситуации становления рыночных отношений выделить в качестве главных, обеспечивающих не только выживание, но и расцвет их бизнеса в будущем?

Теория целеполагания является органической составляющей теории управления общественным производством.

Как правило, цели управления диктуются целями производства. Поэтому при их установлении необходимо учитывать три основных фактора: объективные потребности, ресурсные возможности и финансово-хозяйственную политику, определяющую желательное состояние объекта управления в будущем. Первый фактор – потребности – определяет направления развития производственной системы и отражает объективные потребности общества в различных видах продукции (работ и услуг) на конкретных этапах его развития. Второй фактор – ресурсы – констатирует возможность или достижимую степень удовлетворения потребностей при использовании ресурсов. Третий фактор – финансово-хозяйственная политика – связан с выбором такого способа использования ресурсов и с достижениями такого уровня удовлетворения потребностей общества, которые согласуются со складывающейся в обществе системой ценностей.

Все отмеченные факторы следует рассматривать в единстве, так как недостаточный учет хотя бы одного из них может привести к неполному выявлению состава целей (или делает нереальным их достижение).

Необходимо также учитывать требования, предъявляемые к составу и формулировкам целей и задач. Они должны объективно отражать потребности развития объекта, быть реальными, соответствовать ресурсам и целям взаимосвязанных систем, иметь количественное выражение или качественную оценку. С учетом подобных требований строится целевая модель в форме «дерева целей». В ней отражаются состав и содержание целей разного уровня, их взаимосвязи и взаимозависимости, количественные и качественные параметры будущего состояния объекта управления.

Деятельность по целеполаганию связана с выполнением различных функций управления. Главные среди них: изучение спроса и предложения на рынке товаров, капиталов, рабочей силы, а также прогнозирование и планирование. Процесс управления на этой стадии использует соответственно все подходящие методы маркетинга, стратегического управления и планирования. Эту работу призваны выполнять специалисты органов государственной власти и управления, специалисты по исследованию рынка и по прогнозированию и планированию экономических процессов, владеющие соответствующей информацией и методами разработки целевых программ и стратегических планов. Если возможности специалистов ограничены, следует активно использовать те элементы рыночной инфраструктуры, которые уже сформировались, – услуги внешних консультантов по управлению, планированию и прогнозированию социально-экономических мероприятий, специалистов по ново-

введениям, информационной технологии, вычислительным методам и т. д.

Важное, если не ключевое место в науке управления отводится проблеме его эффективности. Это предопределяется самой ролью, которую играет управление в производстве. Отношения управления, как одна из форм проявления производственных отношений, являются обязательным условием процесса воспроизводства на всех его стадиях (собственно производства, обмена, распределения и потребления). Степень развитости этих отношений предопределяет эффективность производства, оказывая влияние, во-первых, на состояние производственных отношений в обществе; во-вторых, на развитие производительных сил (замедляя или, наоборот, ускоряя их качественное преобразование и количественный рост); в-третьих, на функционирование и развитие производственной системы в целом.

В самом общем виде «эффективность управления» можно определить как категорию общественного производства, отражающую результативность деятельности по управлению общественным производством. Оценка проводится с позиций адекватности выявления общественных потребностей в продукции, работах и услугах предприятия, качества постановки целей и задач управления, их полноты и реальности и по конечным результатам, достигнутым производством благодаря этому.

В данном контексте необходимо также выделить еще две составляющие эффективности управления: социальную, отражающую как степень удовлетворения

потребностей общества в продукции, работах и услугах предприятия, так и уровень реализации всей системы целей производственной системы, и экономическую, определяемую как соотношение конечных результатов производства и совокупных затрат, связанных с их получением. Эта составляющая полностью совпадает с эффективностью производства, что, собственно, и отражает цель и смысл управленческой деятельности. Экономически эффективно только такое управление, которое обеспечивает достижение целей производства с наименьшими затратами совокупного общественного труда.

Также можно сказать, что социальная составляющая эффективности управления отражает ее результаты по целеполаганию и реализации целей.

Единых методов и систем показателей, позволяющих производить оценку эффективности этих важнейших направлений управленческой деятельности, пока нет, и может не быть. Многое зависит от конкретной экономической и социальной ситуации, от уровня подготовки специалистов, от тех целей и задач стратегического характера, достижение которых иногда важнее текущих и среднесрочных планов и программ.

Как же влияют в настоящее время управленческие решения в области общественного производства в Приднестровье на тенденции и темпы его развития? Определенную ясность в ответ на этот вопрос вносит Указ Президента Приднестровской Молдавской Республики «Об утверждении Стратегии развития Приднестровской Молдавской Республики на

2019–2026 годы [3]». Утвержденный текст Стратегии можно рассматривать как программу управленческих решений, которые необходимо принять в обозначенный период, в том числе в сфере общественного производства. В трех разделах документа изложены принципиальные вопросы планирования социально-экономического развития Приднестровской Молдавской Республики, развития различных отраслей экономики и социальной сферы. Поставленные в документе задачи можно охарактеризовать как среднесрочные, в нем делается попытка прогнозирования и разрешения ожидаемых диспропорций и узких мест, затрудняющих социально-экономическое развитие республики, поиск путей использования имеющегося потенциала всех отраслей экономики и бюджетной сферы, определение новых эффективных направлений развития производства, открывающихся вследствие новых методов управления и внедрения новой техники и новых технологий.

В настоящее время можно отметить определенные положительные тенденции в действиях государственных органов управления в области социально-экономического развития Приднестровской Молдавской Республики, созвучные принятой Стратегии. При этом надо сказать, что более полному исполнению требований Стратегии, возможно, помешали незапланированные мероприятия, связанные с COVID-19, а сейчас – и события на Украине.

Также важно подчеркнуть, что в Стратегии есть конкретные предложения по необходимости проработки и принятия

управленческих решений по отдельным мероприятиям и направлениям развития общественного производства, впервые озвученные в официальных документах в Приднестровье, например:

– необходимость решения вопроса продовольственной самообеспеченности республики;

– повышение доходов населения и урегулирование межотраслевых различий в заработной плате, повышение уровня заработной платы в сельском хозяйстве и социально-культурных отраслях бюджетной сферы;

– повышение производительности труда и эффективности хозяйствования во всех отраслях и секторах экономики и др.

Одной из вершин, ожидаемых управленческих решений для общественного производства, также может стать требование Стратегии о том, что высшие учебные заведения должны стать центрами инноваций. Именно в вузах Приднестровской Молдавской Республики предстоит создать условия для проведения исследований и разработок, соответствующих современным принципам организации научной, научно-технической и инновационной деятельности и лучшим (международным) практикам.

Надо надеяться, что до завершения срока действия Стратегии эти и другие вопросы будут разрешены, по крайней мере, будут в стадии разработки или завершения.

В настоящее время в сфере общественного производства в Приднестровье накопилось достаточно проблем, требующих своего разрешения, что может

существенно повлиять на его реальное развитие. Общеизвестно, что основное богатство страны – это человеческий капитал. Цена труда постоянно растет. Персонал превращается в решающий, ключевой фактор развития любой организации. Возрастает значимость института социального партнерства, обеспечения баланса интересов всех сторон социального партнерства, как основы повышения качества жизни трудящихся и эффективности деятельности предприятий. Однако процесс социального партнерства в Республике протекает достаточно инертно. Так называемые генеральные соглашения между социальными партнерами (профсоюзами в лице Федерации профсоюзов Приднестровья, Правительством и предпринимателями в лице СПАП) последние годы носят больше декларативный характер в том смысле, что исполнение и контроль исполнения взаимных договоренностей и обязательств характеризуются формальностью. При этом, следует отметить, что текст генерального соглашения, действующего в 2020–2022 годах [4], достаточно полно и содержательно охватывает все стороны общественного производства в Республике, его можно рассматривать в качестве программного документа в сфере социально-трудовых отношений и экономики в целом в Республике и на ближайший период. Названия разделов генерального соглашения, такие как «Экономическая политика», «Доходы, заработная плата и уровень жизни населения», «Развитие рынка труда и содействие занятости населения», «Социальная защита, социальные гарантии, социальное страхование

и охрана здоровья», «Защита трудовых прав, охрана труда, промышленная и экологическая безопасность», «Развитие социального партнерства» изложены очень конкретно и соответствуют потребностям настоящего периода.

Другое дело, что у сторон соглашения могут быть (и должны быть) разные позиции в процессе исполнения и контроля взятых обязательств, но это платформа для разрешения именно проблемных вопросов и недопущения их повторения в будущем. Выявление и донесение до руководства предприятий и государственных органов власти и управления пожеланий, недовольства трудящихся должно способствовать улучшению как производственных отношений, так и интересов работников, т. е. в целом выгодно государству.

Данное направление взаимодействия социальных партнеров требует вывода его на новый уровень, рациональный и результативный. Речь, в первую очередь, идет об усилении деятельности по повышению эффективности производства, обеспечению максимальной занятости населения, повышению уровня заработной платы в соответствии с ростом уровня инфляции, улучшению условий труда, повышению социальных гарантий работников, в том числе в области здравоохранения.

В условиях автоматизации производственных процессов, сферы услуг и других подобных мер резко возрастает производительность труда и соответственно снижается занятость на предприятиях. Не все уволенные могут сразу найти другую работу, значит, падают доходы семей уволенных. Совместными усилиями со-

циальных партнеров этот вопрос должен разрешаться в пользу безработных граждан: новым, быстрым трудоустройством с возможной переподготовкой или переквалификацией, так как на установленное пособие по безработице реально содержать себя и иждивенцев до момента трудоустройства гражданина невозможно (для сведения: средний размер ежемесячного пособия по безработице в Приднестровье за 2022 год составил 410,42 руб.; численность безработных, получивших пособие по безработице составила 1 496 человек) [5].

Что касается вопроса повышения социальных гарантий в области охраны здоровья, то надо обратить внимание на следующие обстоятельства: в период временной нетрудоспособности работника размер выплачиваемого пособия ограничен до двух размеров, законодательно установленного и минимального размера оплаты труда. То есть в период заболевания доходы работников, получающих зарплату выше указанного, уменьшаются, хотя расходы в этот период возрастают ровно на долю, требуемую для приобретения лекарств и проведения лечебных процедур и исследований. Сделано, наверное, это не просто так, так как затруднительно государству обеспечивать бесплатное медицинское обслуживание всех граждан. В этом контексте, а также в контексте того, что здравоохранение все больше становится на рельсы самоокупаемости, коммерциализируется, в том числе в государственных медицинских учреждениях, возникает вопрос, а как сохранять и поддерживать здоровье работников? Частная медицина

дорогая, многим недоступна, надо существенно поднимать уровень доходов – зарплат, пенсий. Государственного финансирования недостаточно, экономика еще не может его обеспечить, при этом, есть и другие статьи расходов у государства, требующие постоянного финансирования (правопорядок, образование и др.). Обязательного медицинского страхования нет. А ведь у этого вида страхования есть явные преимущества – во-первых, ОМС заставляет человека следить за своим здоровьем, во-вторых, покрывает расходы при заболеваниях. Пациент может получить и дорогое лечение, есть и другие преимущества.

Данный вопрос требует тщательного рассмотрения и принятия решения по усилению охраны здоровья трудовых ресурсов в Приднестровье.

Есть у общественного производства еще один сильный противник – диспаритет цен в сфере торговли и реализации услуг. Пока этот феномен будет существовать, ждать фронтального развития общественного производства не приходится. В настоящее время сфера предоставления услуг в сложившемся инфраструктурном формате, пользуясь тем, что есть спрос на их услуги, диктует условия при их реализации. Срабатывает известный рыночный принцип – спрос определяет максимальную цену товара, которую способен уплатить потребитель. И эти цены устанавливаются сейчас в частной медицине, на станциях технического обслуживания автомобилей, не отстает и сфера бытового обслуживания.

Минимальная цена, по которой производитель согласен реализовать свой то-

вар, называется ценой предложения. И эти цены тоже присутствуют на приднестровском рынке – по ним реализуют свою продукцию те предприниматели и предприятия, у которых есть реальная конкуренция, они конкурируют между собой, а еще больше – с завозимой продукцией. Почти полностью работают в таких условиях представители сельскохозяйственной отрасли, перерабатывающей промышленности. Поэтому в настоящее время требует значительной активизации государственная антимонопольная деятельность.

Противодействие монополистической деятельности и недобросовестной конкуренции, обеспечение условий для развития конкуренции это важное условие создания и эффективного функционирования товарных рынков и рынков услуг. Это не только ценовая доступность оказываемых услуг и реализуемых товаров и продуктов питания для населения, это и обеспечение потребностей предпринимательского сообщества, реального сектора экономики для дальнейшего производства и развития.

Итак, в качестве основного вывода проведенного исследования можно выделить следующее: требуется переход на механизмы функционирования концептуальной парадигмы новой воспроизводственной среды, которые бы обеспечивали повышение эффективности общественного воспроизводства, учитывая, что общественное воспроизводство позволяет обществу существовать. Другими словами, необходимо поддерживать такой уровень экономической системы страны, чтобы в ней воспроизводились все основные эле-

менты производства – средства производства, первичные ресурсы, рабочая сила, или в рамках кооперации можно было необходимое приобретать, при этом развивая и превращая их в экономические отношения со значительной долей социальной направленности. Субъектами этих отношений выступают органы государственной власти и бизнес в целом или отдельная его часть.

Также надо понимать, что в рыночных условиях хозяйствования, в чистых хозрасчетных отношениях, воспроизводство возможно при условии, когда вся продукция и услуги будут реализованы, а все средства производства и другие производственные и потребительские расходы возмещены. Поэтому так важны управленческие умения сбалансированного народнохозяйственного развития, так как, с одной стороны, необходимо поддерживать покупательную способность в обществе, в том числе достаточность пополнения государственного бюджета, с другой – создавать условия прибыльной деятельности субъектов общественного производства.

Конечно, перечень проблем, стоящих перед органами государственной власти и управления, перед предпринимательским сообществом Приднестровья гораздо шире. Это высокая степень открытости экономики, ограниченный размер внутреннего рынка, необходимость адаптации к постоянно меняющимся внешним условиям и многие другие. Это притом, что постоянно принимаются меры по реформированию экономики, созданию условий для более эффективного ее функционирования: совершенствуется нормативная база для

функционирования экономики на рыночных принципах, в большей степени завершен процесс приватизации, стабилизирован курс приднестровского рубля.

Для того, чтобы обеспечить выход из непростой экономической ситуации, для ощутимого повышения уровня жизни населения требуется еще немало усилий, преобразований, знаний. Также трансформация экономических отношений в Приднестровской Молдавской Республике, возможно, будет определяться изменением внешних для региона факторов и обстоятельств.

Цитированная литература

1. Румянцева, З. П. Наука управления: к обновлению концепции / З. П. Румянцева. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 1991. – № 3. – С. 24.

2. Слинкова, О. К. Анализ научных подходов к определению сущности целеполагания и его роль в процессе управления / О. К. Слинкова, Р. А. Скачков. – Текст : электронный. // Известия УрГЭУ. – 2015. – № 3(59). – С. 66. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-nauchnyh-podhodov-k-opredeleniyu-suschnosti-tselepolaganiya-i-ego-rol-v-protssesse-upravleniya/viewer>.

3. Указ Президента Приднестровской Молдавской Республики № 460 от 12.12.2018 «Об утверждении Стратегии развития Приднестровской Молдавской Республики на 2019–2026 годы» (САЗ 18-50). – URL: <https://ulpmr.ru/ul/show/ZNBCL8gaJ6Jt19miyIKjxnMmF6Jk wfYWoH58> (дата обращения : 08.05.2023). – Текст : электронный.

4. Официальный сайт ЕГФСС ПМР. Генеральное соглашение между Правительством Приднестровской Молдавской Республики, Федерацией профсоюзов Приднестровья и Союзом промышленников, аграриев и предприни-

мателей Приднестровья на 2020–2022 годы. – URL: <https://ef-pmr.org/otchetyi-egfss> (дата обращения : 10.05.2023). – Текст : электронный.

5. Официальный сайт ЕГФСС ПМР. Информация по основным показателям дея-

тельности Единого государственного фонда социального страхования Приднестровской Молдавской Республики за 2022 год. – URL: <https://ef-pmr.org/otchetyi-egfss> (дата обращения : 10.05.2023). – Текст : электронный.

УДК 339.137.22

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. Н. Мироненко, Е. В. Павлин

Рассматривается системный подход к оценке уровня конкурентоспособности предприятий, основанный на результатах сравнительного мониторинга продукции конкурентов, анализа продукции предприятия и конкурентов. Автор определяет сильные и слабые стороны продукции предприятия. Этот подход был направлен на достижение высокого уровня конкурентного преимущества в определенном сегменте потребительского рынка. Это помогло достичь высокого уровня эффективности маркетинговой деятельности в условиях конкретной рыночной ситуации.

Ключевые слова: конкурентоспособность предприятия, конкурентные преимущества, маркетинговая деятельность, стратегия «цена-качество».

COMPETITIVENESS AND QUALITY OF ENTERPRISE PRODUCTS

E. N. Mironenko, E. V. Pavlin

The article considers a systematic approach to the level of competitiveness of enterprises, based on the results of comparative monitoring of competitors' products, analysis of enterprise products and competitors. The author determines the strengths and weaknesses of the products of the enterprise. This approach had aimed at achieving a high level of competitive advantage in a certain segment of the consumer market. This helped to achieve a high level of effectiveness of marketing activities in the conditions of a specific market situation.

Keywords: competitiveness of the enterprise, competitive advantages, marketing activity, "price-quality" strategy.

Конкурентоспособность продукции – это комплексная характеристика, учитывающая большое количество взаимосвязанных факторов. Оценка конкурентоспособности должна включать потребительскую привлекательность и интересы производителей в производстве и продаже этих продуктов. Экономические

факторы определяют конкурентоспособность товаров, отражая интересы потребителей и производителей. Более того, конкурентные факторы отражают не только параметры аналогичных товаров, но и характеризуют потребности потенциальных покупателей.

Конкурентоспособность продукции часто является сложным, материально-

трудоемким и наукоемким явлением. Не всегда легко продавать продукцию в рыночных условиях, потому что необходимо соблюдать баланс между затратами производителя и стоимостью продукции и удовлетворять потребности потребителей. Однако только в этом случае производители выигрывают тендер.

Компания требует постоянного повышения конкурентоспособности продукции, увеличения объемов продаж в сегменте рынка за счет улучшения качества существующих или выпуска новых продуктов, которые отвечают требованиям потребителей на более высоком конкурентном уровне.

В рыночных условиях конкуренция – это естественное, объективно существующее явление. Это закон товарной экономики. Основной целью производителей является повышение производительности своей компании, расширение масштабов производства и внедрение инноваций, новых форм производства и управления заработной платой и т. д.

Положительная роль конкуренции в рыночной экономике проявляется в ряде функций, которые она выполняет. Это напрямую влияет на эффективность производства, повышает его технический уровень, обеспечивает улучшение качества и расширение ассортимента продукции [1, с. 51].

Потребители на предмет соответствия его требованиям сравнивают конкурирующие продукты на рынке. Категория «конкурентоспособный продукт» основана на выполнении определенных условий, которые позволяют классифицировать характеристики потребительских товаров. Продукция

может удовлетворить потребность как на массовом рынке, так и в сфере личного потребления, необходимо, чтобы параметры продукции соответствовали потребностям потребителя. Маркетинговая деятельность предприятия должна основываться на изучении технико-экономических показателей, которые обычно дают количественные характеристики продукции. Эти показатели широко используются при оценке конкурентоспособности продукции. Производители должны принимать управленческие решения, которые укрепят конкурентные преимущества их продукции на рынках. В этом случае производителю необходимо оценить конкурентоспособность продукции в конкретной ситуации на рынке.

Конкурентоспособность продукции – это комплексная характеристика, учитывающая большое количество взаимосвязанных факторов. Оценка конкурентоспособности должна включать потребительскую привлекательность и интересы производителей в производстве и продаже этих продуктов. Экономические факторы определяют оценку конкурентоспособности товаров, которые отражают интересы потребителей и производителей. Более того, конкурентные факторы отражают не только параметры аналогичных товаров, но и характеризуют потребности потенциальных покупателей.

В современной экономике оценка конкурентоспособности продукции является областью анализа. Результаты такого анализа могут быть применены в следующих областях:

– в качестве информационной основы для принятия маркетинговых решений

при планировании инновационной, технической и маркетинговой политики предприятия;

- в определении резервов для освоения новых рынков;
- в формировании механизма регулирования конкурентоспособности продукции с целью повышения конкурентоспособности продукции в определенном сегменте рынка [2, с. 112].

Однако только системный подход к определению конкурентоспособности компании может дать шанс добиться высоких показателей.

Результаты исследования свидетельствуют о большом количестве классификаций факторов конкурентоспособности продукции. Уровень конкурентоспособности предприятия зависит от определенных факторов. Поэтому мы должны использовать комплексный подход к классификации факторов. Важно подчеркнуть:

- направленность их влияния на конкурентоспособность продукции;
- область происхождения, в зависимости от того, является ли это конкурентным преимуществом перед конкурентами. Это создает элементы привлекательности среди аналогичных продуктов на рынке.

В целом факторы конкурентоспособности предприятий можно разделить на две группы, в зависимости от факторов, на которые мы можем влиять, и тех факторов, которые не подлежат контролю компании.

Факторы, контролируемые компанией, включают следующие элементы:

- характерные особенности продукта (уровень его качества, включая соответствие международным и национальным

стандартам, эстетический и экологический уровень, статус безопасности, патентоспособность продукта и т. д.);

- уровень качества предпродажного и послепродажного обслуживания;
- условия, обеспечивающие наличие запасных частей и необходимой технической документации в течение гарантийного и послепродажного обслуживания, гарантийного срока, наличия сервисных центров, качества и полноты обслуживания;
- условия оплаты товаров (возможность получения кредита, отсрочка платежей, предоставление привлекательных скидок для посредников);
- высококвалифицированный персонал компании, рациональность организационных и производственных структур;
- научный уровень системы управления;
- имидж компании;
- участие в ярмарках и выставках.

Факторы конкурентоспособности продукции, которые не контролируются предприятиями – это макроэкономические факторы, учитывающие маркетинговую политику, направленную на повышение комплексного показателя конкурентоспособности продукции. К таким факторам относятся следующие: уровень конкурентоспособности страны, отраслей и предприятий; уровень организации производства, труда и управления посредниками и потребителями товаров; количество предприятий, конкурирующих в отрасли, уровень конкуренции среди поставщиков сырья, материалов и других ресурсов; появление новых потребностей на рынке и т. д.

Приоритетом маркетинговой политики каждого предприятия является снижение себестоимости продукции из-за низкого уровня платежеспособности потребителей. Самым большим конкурентным преимуществом отечественной продукции является низкий уровень цен. Конкуренция повышает качество продукции, уровень сервиса и инвестиций за счет увеличения уставного капитала в акционерных обществах с ведущими иностранными компаниями, экспорта и конкурентоспособности отечественной экономики [3, с. 16].

Высокий уровень конкурентоспособности продукции предприятий должен быть увязан с общей системой мер, направленных на укрепление экономической стабильности национальной экономики. Это эффективная государственная политика, а именно: принятие эффективных законодательных актов и их фактическое внедрение в практику управления, а также анализ влияния внешних и внутренних факторов на конкурентоспособность продукции и изучение основных групп показателей конкурентоспособности продукции.

Уровень конкурентоспособности продукции предприятий во многом зависит от внутренней среды, поэтому оценка внутренних возможностей компании, наряду с анализом внешней среды, имеет более высокую степень важности. Факторы окружающей среды могут быть приняты во внимание для принятия более эффективных решений при выборе конкурентной стратегии для повышения конкурентоспособности продукции и завоевания доли

рынка. В конкретных рыночных условиях первым уровнем конкурентоспособности может быть качество продукта, цена, стоимость потребления, качество обслуживания и маркетинговые мероприятия по продвижению продукции на рынок.

Определение конкурентоспособности продукции зависит от уровня удовлетворения потребностей производителей и потребителей продукции. Производитель считает, что конкурентоспособность – это способность увеличивать свой доход так же быстро, как это делают конкуренты, и обеспечение необходимого уровня инвестиций для поддержания этой тенденции в будущем.

С другой стороны, за конкурентные преимущества производителей продукции необходимо увеличить сумму расходов за счет доходов предприятия. Следовательно, для условий производства конкурентоспособной продукции отношение общей выручки от продаж к валовому производству, затраты на транспортировку и обслуживание оцениваются в практическом выражении.

С точки зрения потребителя, конкурентоспособность находится выше, по сравнению с конкурентами, соотношение качественных характеристик продукта и затрат на его использование или потребление. Критерии оценки конкурентоспособности продукции должны быть взаимосвязаны как составные части единой системы «производитель/потребитель».

Противоречия между требованиями производителей и потребителей продукции должны соответствовать рыночному механизму, так что процесс производства

и продажи этих продуктов является взаимовыгодным. Взаимосвязь между производителями и потребителями возможна только тогда, когда решение некоторых проблем вызвано противоречием.

Во-первых, это эффективный уровень цены продукта, приемлемый для всех участников процесса производства и продаж.

Во-вторых, производство продукции должно соответствовать требованиям научно-технического прогресса.

В-третьих, проблема создания инфраструктуры, удовлетворяющей потребности покупателя, но малоинтересной с точки зрения получения максимальной прибыли для производителя.

Одной из важнейших составляющих конкурентоспособности является уровень качества продукции. Однако улучшение его качества имеет один недостаток. С улучшением качества себестоимость производства и цена продукта увеличиваются. Это невыгодно потребителю. Существует оптимальный баланс между этими компонентами конкурентного механизма, который удовлетворит их обоих и позволит продуктам быть конкурентоспособными, а предприятию – прибыльным.

Оптимизация должна осуществляться на всех этапах повышения конкурентоспособности продукции. Следовательно, производители должны определить целевой рынок. Отдел маркетинга и дизайна активизирует работу в этом направлении. Это позволяет быстро реагировать на все изменения, происходящие на рынке, и удовлетворять потребности и требования потребителей в каждом сегменте рынка.

В соответствии с рыночной экономикой и показателями конкурентоспособности качества продукции, наиболее важной проблемой является поддержка используемых продуктов. Следовательно, аргументом в пользу выбора продуктов является спектр предоставляемых услуг, наличие гарантийного и послегарантийного обслуживания.

Следовательно, рынок товаров и услуг должен основываться на этих принципах, нормах и правилах, которым следуют производители. Этот тип рынка должен быть усовершенствован с учетом потребностей и пожеланий потребителей. В дополнение, предприятиям необходимо определить целевой рынок. На предприятиях должен быть отдел маркетинга и дизайна, который способен быстро реагировать на меняющиеся рыночные условия.

Существуют противоречия, основанные на взаимозависимости между показателями конкурентоспособности продукции: с одной стороны, повышение технической производительности и, как результат, повышение уровня качества продукции обеспечивает повышение ее конкурентоспособности; с другой стороны, более высокий уровень качества приводит к увеличению как затрат, так и цен.

Основой для надлежащего уровня качества продукции является разрешение следующих противоречий: с одной стороны, повышение конкурентоспособности за счет повышения производительности и надежности требует увеличения производственных затрат, а также отпускных цен, более низкие затраты на использование, техническое обслуживание и ремонт про-

дукции за счет повышения ее надежности, с другой стороны, повышение производительности, энергоэффективность приводит к увеличению производственных затрат, а также отпускных цен.

Наиболее приемлемое качество продукта достигается тогда, когда производитель получает желаемую прибыль, и потребитель удовлетворяет свои потребности. Эта стратегия может быть реализована за счет снижения технологических затрат на производство, внедрения технологий для энергосберегающего производства, повышения качества оборудования, сокращение времени простоя.

Эти меры позволяют, с одной стороны, повысить качество продукта, а с другой – снизить непроизводительные затраты, что приводит к снижению цен на потребительские товары.

Существуют основные стратегии развития, направленные на улучшение и поддержание конкурентных преимуществ продукции, в зависимости от требований каждого сегмента рынка:

- стратегия «цена-качество»;
- стратегия повышения уровня «дополнительных конкурентных преимуществ»;
- стратегия, основанная на сочетании стратегии «цена-качество» и стратегии повышения уровня «дополнительных конкурентных преимуществ».

Стратегия «цена-качество» направлена на обеспечение наиболее эффективного соотношения между качеством и ценой продукции.

Стратегия «дополнительных конкурентных преимуществ» в практической

деятельности направлена на повышение производительности обслуживания продукции и продвижение продукции на рынок. Производителям следует повышать качество корпоративных услуг, информировать о свойствах продуктов, осуществлять качественную коммерческую работу с клиентами, проводить лизинговые операции, уведомлять об участии в ярмарках и выставках, создавать положительный имидж производителя и т. д.

Выбор подхода, основанного на стратегии «цена-качество» и стратегии «дополнительные конкурентные преимущества», следует рассматривать как сферу его назначения и реализации. Это зависит от конкретной ситуации на рынке. Машиностроительные предприятия должны использовать комбинированную стратегию для повышения конкурентоспособности продукции.

При детальном изучении анализируемой проблемы, касающейся достоверности рекомендаций по повышению конкурентоспособности предприятий обрабатывающей промышленности при расчете уровня конкурентоспособности продукции в конкретном сегменте рынка, необходимо учитывать результаты исследования потребительских товаров для этого сегмента.

Маркетинговая деятельность компании на конкурентном рынке требует постоянного внимания к повышению качества продукции в условиях растущих потребностей и запросов потребителей. Изучение учета в цене потребительских характеристик продукции позволит компании с более объективных позиций подойти к проблеме определения уровня цен,

который при определенном качестве продукции повышает спрос.

Выбор наиболее сильной позиции предприятия на рынке с учетом сравнения рейтингов конкурентоспособности и их рыночной власти является основой для эффективного распределения ресурсов. Таким образом, компания может получить более высокую отдачу от инвестиций в бизнес, который имеет сильные позиции в умеренно привлекательной отрасли, чем инвестиции в бизнес со слабыми позициями в наиболее привлекательных секторах экономики. Соответственно, компания в условиях диверсификации может сконцентрировать свои ресурсы в тех секторах, где она может стать лидером, или покинуть сферы деятельности, где у нее нет шансов занять прочные позиции среди своих конкурентов. Для этого необходимо оценить уровень конкурентоспособности продукции [4, с. 188].

Необходимость выбора целевых сегментов бытовой техники обусловлена тем, что каждый сегмент рынка определяется собственными характеристиками развития (существующей конкуренцией, состоянием платежеспособности потребителей, степенью развития рыночной инфраструктуры, размером существующего спроса на продукцию и т. д.), которые влияют на уровень требований потребителей к показателям конкурентоспособности продукции. Поэтому следует отметить, что конкурентоспособность продукции предприятия будет отличаться для разных сегментов потребительского рынка [5, с. 195].

Правильный выбор соответствующих сегментов обеспечивает рациональную ос-

нову для дальнейшей оценки конкурентоспособности продукта, поскольку проблема явно ориентирована на определенную группу потребителей. Основными критериями для определения сегмента рынка являются схожесть взглядов основных представителей потребителей, величина конкурентных эффектов, объем и структура сегмента. Основные сегменты покупателей можно определить при обработке статистической информации и экспертном опросе дилеров, специализирующихся на продаже отечественной продукции в целевых регионах.

Методический подход к созданию предлагаемого составного показателя конкурентоспособности продукции предприятия может быть использован на всех этапах жизненного цикла продукта и адресован любой задаче и оценке.

Преимущества предлагаемого способа:

- учет практически всех особенностей анализа конкурентоспособности продукта;
- более точная процедура оценки конкурентоспособности предприятий;
- детальный анализ групповых и индивидуальных производственных показателей;
- учет сегментации рынка потребителями при анализе конкурентоспособности продукции;
- расчет весовых коэффициентов показателей конкурентоспособности с точки зрения как потребителей, так и профессиональных экспертов;
- создание инструментов для моделирования конкурентоспособности большинства продуктов на конкурентных рынках.

Таким образом, методы оценки уровня конкурентоспособности продукции, разработанные отечественными и зарубежными авторами, позволяют систематизировать их в соответствии с определенными классификационными критериями. Напротив, предлагаемый методологический подход позволяет получить структурированный набор характеристик, которые четко описывают такую «конкурентоспособность предприятий» в различных сегментах рынка.

Таким образом, обеспечение конкурентоспособности продукции компании является довольно сложной маркетинговой задачей. Ее решению должна быть подчинена деятельность всех структурных подразделений производителя. Системный подход к процессу формирования уровня конкурентоспособности продукции позволяет достичь высокого уровня конкурентного преимущества в определенном сегменте потребительского рынка.

Процесс формирования уровня конкурентоспособности продукции предприятия определяется увеличением стоимости уровня комплексного показателя конкурентоспособности продукции. Значительное конкурентное преимущество может быть достигнуто за счет рационального качества продукции и устойчивых допол-

нительных конкурентных преимуществ. Основным направлением маркетинговой деятельности является увеличение производства новых продуктов, пользующихся спросом, цена которых значительно ниже, чем у конкурента, а показатели качества значительно выше.

Цитированная литература

1. **Куприянова, Л. М.** Бухгалтерский баланс – важнейший источник информации для оценки развития бизнеса / Л. М. Куприянова, И. В. Осипова. – Текст : непосредственный // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – С. 45–59.
2. **Куприянова, Л. М.** Экономический анализ : учебное пособие / Л. М. Куприянова. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – С. 212–221. – Текст : непосредственный
3. **Вдовин, С. М.** Система менеджмента качества организации : учебное пособие / С. М. Вдовин. – Москва : ИНФРА-М, 2012. – С. 15–19. – Текст : непосредственный.
4. **Джанджугазова, Е. А.** Маркетинг в индустрии гостеприимства / Е. А. Джанджугазова. – Москва : Академия, 2017. – С. 285. – Текст : непосредственный.
5. **Папирян, Г. А.** Менеджмент в индустрии гостеприимства / Г. А. Папирян. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – С. 312. – Текст : непосредственный.

УДК: 657

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ СУЖДЕНИЕ БУХГАЛТЕРА КАК ИНСТРУМЕНТ ВЫБОРА УЧЕТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОКАЗАНИИ КОНСАЛТИНГОВЫХ УСЛУГ

Н. В. Зеленин

В условиях повышения требований к качеству финансовой отчетности и расширения оказания консалтинговых услуг по вопросам бухгалтерского учета в повседневной практике консалтинга все более распространенным становится применение профессионального суждения бухгалтера, направленного на повышение качества и достоверности бухгалтерской отчетности для удовлетворения интересов внешних и внутренних пользователей. Рассмотрены основные проблемы консалтинговой деятельности, связанной с применением этого инструмента учета. Автором проводится систематизация порядка формирования и области применения профессионального суждения, описан алгоритм его создания, разработаны рекомендации по устранению проблем, препятствующих формированию качественного и объективного суждения, связанных с уровнем подготовки кадров и информационным обеспечением процесса выработки суждения.

Ключевые слова: профессиональное суждение бухгалтера, учетная политика организации, бухгалтерская отчетность, процесс формирования профессионального суждения, области применения профессионального суждения.

PROFESSIONAL JUDGMENT OF AN ACCOUNTANT AS A TOOL FOR CHOOSING ACCOUNTING DECISIONS WHEN PROVIDING CONSULTING SERVICES

N. V. Zelenin

In the context of increasing requirements for the quality of financial reporting and expanding the provision of consulting services on accounting issues, in the daily practice of consulting, the use of professional judgment of an accountant is becoming more common, aimed at improving the quality and reliability of financial statements to meet the interests of external and internal users. The article deals with the main problems of consulting activities related to the use of this accounting tool. The author systematizes the procedure for the formation and scope of professional judgment, describes the algorithm for its formation, develops recommendations for eliminating problems that impede the formation of a qualitative and objective judgment related to the level of training and information support for the process of developing a judgment.

Keywords: professional judgment of an accountant, accounting policy of an organization, financial statements, the process of formation of professional judgment, areas of application of professional judgment.

У специалистов предприятий различных форм собственности в процессе отражения в бухгалтерском учете фактов хозяйственной жизни и составления фи-

нансовой отчетности периодически возникает необходимость обратиться к услугам консалтинговых организаций. Расширение сферы применения методической базы МСФО и возрастание в повседневной

учетной работе количества фактов хозяйственной жизни, требующих признания в бухгалтерском учете, создает в Приднестровье условия хозяйствования, вызывающие рост числа методов учета объектов и их оценки. Возникающие новые условия учетной деятельности оказывают влияние на содержание процедур бухгалтерского учета и приводят к ситуациям, решение которых во многих случаях не прописано в нормативных документах. Подобные элементы новизны вытекают из того, что бухгалтеру при выполнении учетных операций нормативными документами, регламентирующими ведение бухгалтерского учета, предоставляется определенная свобода выбора методов учета, а это, соответственно, вызывает качественные и количественные сдвиги в достоверности информации, содержащейся в финансовой отчетности [1, с. 3,4]. Вместе с тем качественная финансовая отчетность необходима пользователям для принятия ими выверенных экономических управленческих решений. Поэтому в случаях, когда специалисту предоставляется возможность выбора вариантов учета, периодически возникают ситуации, затрудняющие возможность составления достоверной финансовой отчетности без вынесения профессионального суждения [2, с. 53]. Исходя из этих предпосылок, нормативная база МСФО во многом основывается на применении в учетной работе такого важного инструмента бухгалтерского учета, как профессиональное суждение бухгалтера. Именно поэтому у специалистов периодически возникает потребность обращения к услугам консалтинговых организаций.

Данная тема актуальна, и вопросы, связанные с формированием и применением профессионального суждения, нашли отражение в исследованиях и научных статьях российских и приднестровских ученых-экономистов: Т. Ю. Дружиловской, Т. П. Стасюк, А. А. Цуркан, Е. А. Шевелевой, С. В. Пономаревой, Я. В. Соколова и др. Вместе с тем некоторые вопросы, раскрывающие область применения профессионального суждения бухгалтера, порядок его формирования при оказании консультационных услуг требуют дополнительного рассмотрения и систематизации.

Дефиниция термина «профессиональное суждение» и процедуры, связанной с ее формированием в приднестровских законодательно-нормативных актах по бухгалтерскому учету, не приводится. Вместе с тем термин «профессиональное суждение бухгалтера» в нормативных и инструктивно-методических документах раскрывается как правомерное суждение специалиста по вопросам бухгалтерского учета, обладающего соответствующим образованием и уполномоченным по должностному положению принимать решения по вопросам, ответ на которые основывается на требованиях национального и международного законодательства [3, с. 7]. При этом немаловажное значение имеет наличие у специалиста специальных знаний, опыта и соблюдение им принципов профессиональной этики» [4, с. 38]. Этические принципы формирования суждения базируются, прежде всего, на профессиональной компетентности и поведении специалиста, честности,

объективности и конфиденциальности. Соблюдение этих принципов, особенно при оказании бухгалтерских консультационных услуг, изначально предполагает порядочность и правдивость, беспристрастность, сохранение и неразглашение конфиденциальной информации, полученной в результате служебной деятельности, и на этой основе перманентное совершенствование профессиональных знаний и умений [5, с. 218].

Профессиональное суждение бухгалтера в учетной работе является важным и наиболее эффективным инструментом, периодически используемым как при составлении финансовой отчетности предприятия, так и в случаях, когда применение суждения является единственным способом объективной и полной идентификации объекта, его признания, оценки и достоверного отражения в отчетных документах субъекта хозяйственной деятельности [6, с. 173]. С переходом бухгалтерского учета Приднестровья в 2011 году на стандарты МСФО количество учетных ситуаций, требующих разрешения разных видов неопределенностей, растет. Нередки случаи появления неопределенностей, когда обнаруживаются противоречия в законодательных актах, при этом действующие нормативные документы, как правило, не содержат необходимых указаний или пояснений, способствующих приемлемому решению возникшей учетной проблемы. В подобном случае нормативные источники рекомендуют специалисту применить порядок мышления, предполагающий рассмотрение других нормативно-правовых актов, осуществить поиск толкований и

разъяснений в Международных стандартах финансовой отчетности, последовательно изучить рекомендации и методические указания, изданные министерством экономического развития и другими ведомствами республики. При необходимости бухгалтер может рассмотреть возможность применения по возникшей проблеме опыта учетных решений прошлых лет, либо руководствоваться практикой решения подобных ситуаций родственными предприятиями, которые производят аналогичные виды продукции. В условиях неопределенности законодательства или в случае необходимости выбора варианта учета из нескольких предлагаемых нормативными документами, бухгалтеру предписывается использовать накопленные знания, опыт и на их основе выработать собственное профессиональное суждение по рассматриваемому вопросу [7].

Практика ведения учетных операций в Приднестровье показывает, что формирование профессионального суждения бухгалтера во многих случаях осуществляется по причине отсутствия нормативного регулирования отдельных фактов хозяйственной жизни организации. Всеохватывающее обеспечение разнообразия фактов хозяйственной жизни предприятия учетными правовыми нормами в условиях повседневной производственной деятельности на практике не представляется возможным, так как такой подход неизбежно приведет к необходимости создания немыслимого количества инструкций для каждой отдельно взятой учетной операции. Невозможность создания и применения унифицированного шаблона для

регулирования финансово-хозяйственной деятельности не только предприятий, но и организаций в целом, вытекает из того, что они различаются по формам собственности, видам, условиям и масштабам деятельности.

Бухгалтер при наличии профессионального опыта и знаний самостоятельно выбирает наиболее эффективные, с его точки зрения, для определенной ситуации методы ведения учета, которые затем обязательно находят свое документально-правовое отражение в учетной политике предприятия [8, с. 143]. При возникновении затруднений в области учета специалист имеет возможность обратиться за получением методической помощи в консалтинговую организацию. Необходимость консультаций по вопросу формирования профессионального суждения у работников организации может возникнуть и в ситуациях, когда стандарт бухгалтерского учета прописывает возможность выбора одного способа учета из нескольких предлагаемых стандартом вариантов организации учета по конкретному вопросу. Например, учет оценки запасов СБУ № 2 ПМР «Запасы». В случае, если по конкретному вопросу способы ведения бухгалтерского учета не определены, а предприятие применяет упрощенные способы ведения учета, правовой регулятор не исключает возможности выработки собственного способа учета, под руководством требований рациональности, прописанных в СБУ № 8 ПМР «Учетная политика изменения в расчетных бухгалтерских оценках и ошибки». В процессе создания учетной политики и порядка

ее последующего применения бухгалтер обязан предусматривать возможность, при необходимости, в последующей учетной работе формировать профессиональное суждение для обоснования тех или иных методов учета [9].

Отдельно следует рассмотреть ситуацию, когда у пользователей возникает потребность отражения в отчетности полезной для них финансовой информации. Содержание нормативных документов МСФО определяет, что финансовая отчетность, составленная в соответствии с правилами, установленными нормативными актами по бухгалтерскому учету, является достоверной и полной. Однако безоговорочное и неукоснительное соблюдение норм законодательства не всегда, как показывает практика, гарантирует достоверность финансовой отчетности. Для современного бухгалтера такой навык, как умение оценивать влияние избираемых способов учета на финансовые показатели отчетности и, как следствие, учитывать это влияние на управленческие решения, принимаемые пользователями, является важным профессиональным качеством. А эту компетенцию невозможно реализовать без применения в ходе создания финансовой отчетности профессионального суждения бухгалтера. Для предоставления органам власти достоверной информации, бухгалтерская отчетность должна соответствовать качественным характеристикам. Международные стандарты выделяют такие основные качественные характеристики полезной информации финансовой отчетности как уместность и правдивость представления. Профессиональное

суждение бухгалтера, сформированное в соответствии с требованиями МСФО, представляется одним из основополагающих инструментов формирования финансовой отчетности, поскольку подробные инструкции для каждого конкретного факта хозяйственной жизни или указания по ведению первичной документации, не всегда детально прописаны. На практике у бухгалтеров, особенно при отсутствии многолетнего опыта и должной квалификации, формирование профессионального суждения может вызывать затруднения. Отсутствие установленных законом правил по периодически возникающим фактам хозяйственной жизни, подлежащих признанию и учету, вызывает у некоторых специалистов, ведущих учет на предприятии, необходимость получения квалифицированных консультационных услуг при создании и применении суждения в различных областях деятельности. Это, прежде всего, проявляется при выполнении операций по учетной работе, связанной с идентификацией экономического содержания хозяйственной операции, подтверждением наличия или отсутствия связи между осуществленными затратами и получением дохода, признанием актива, оценкой надежности первичных источников информации о фактах хозяйственной жизни и соответствии выявленной ошибки рассчитанному уровню существенности. Потребность в формировании профессионального суждения может возникнуть и в процессе написания учетной политики предприятия, когда появляется необходимость выбора одного варианта ведения бухгалтерского учета из нескольких пред-

лагаемых нормативными документами способов [10, с. 47]. В случае отсутствия в стандартах применимого для рассматриваемой ситуации возможного варианта учета специалисту предписывается самостоятельно выработать способ ведения бухгалтерского учета. Суждение целесообразно применять и для определения границ допустимого отступления от общего порядка формирования учетной политики, при оценке объекта, а также признании или списании объекта бухгалтерского учета. В процессе классификации объекта бухгалтерского учета, оценке вероятности наступления или не наступления будущих событий, а также при оценке возможных количественных параметров будущих событий и выборе оценочных методик, как правило, бухгалтером формируется суждение. В отношении информации, которую организация раскрывает в бухгалтерской отчетности, суждение применяется для определения уместного уровня детализации статей различного рода отчетов, оценки существенности содержащейся в них информации и выражения достаточности объема раскрываемой в отчетности информации [8, 163, 164]. Бухгалтер применяет профессиональное суждение на различных этапах учетного процесса, результатом которого является информация, способная оказать существенное влияние на качественное и количественное содержание показателей финансовой отчетности организации, представляемой органам государственного управления. Отсюда вытекает, что сформированное профессиональное суждение, независимо от сферы его применения, должно быть

обоснованным и рациональным, поскольку любое его использование оказывает определенное влияние как на финансовый результат, так и на качество бухгалтерской отчетности.

Выполняя консультационные услуги по формированию суждения, специалист консалтинговой фирмы первоначально определяет и обосновывает необходимость применения профессионального суждения по конкретно рассматриваемой учетной ситуации. Только после принятия решения о целесообразности формирования суждения специалист, следуя прописанному в СБУ № 8 ПМР и нормативных документах МСФО порядку мышления, последовательно выполняет этапы формирования профессионального суждения. На первом этапе специалист обозначает и закрепляет документально факт хозяйственной жизни, требующий применения профессионального суждения, определяет в какой мере, полностью или частично, отражен порядок учета рассматриваемой ситуации в нормативных документах, и способствует ли существующий порядок учета достоверному отражению. После всестороннего изучения обстоятельств, затрагиваемых учетной операцией, специалистом делается однозначный вывод о необходимости формирования суждения. На этой стадии рассмотрения изучается и проводится всесторонний анализ содержания нормативных документов, регулирующих конкретную операцию по учету. Второй этап включает действия по сбору, анализу и обработке информации, требующейся для создания профессионального суждения. Последующий шаг направлен

на формирование непосредственно самого суждения, отражения его содержания и процесса нормативного закрепления в документах предприятия. По завершении формирования суждения специалистами проводится проверка объективности и достоверности разработанного профессионального суждения, правомочности его применения. Правомочность применения суждения заключается в том, что сформированный порядок учета не нарушает принципы и требования бухгалтерского учета, содержание действующих нормативных документов, регламентирующих отражение рассматриваемых фактов хозяйственной жизни. Документационное оформление процесса формирования профессионального суждения отражено, как правило, в бухгалтерской справке, написанной в свободной форме. Правовое закрепление осуществляется приказом руководителя с описанием содержания суждения и обоснованием решения о необходимости внесения разработанной процедуры в учетную политику организации. С практической точки зрения допустимо отражение порядка формирования суждения и в первичном документе, которым оформляется хозяйственная операция, или в отдельном документе, прилагаемом к первичному. В этих целях наиболее часто применяется бухгалтерская справка. Если выясняется, что ситуация, требующая применения суждения типична и периодичность ее возникновения не может рассматриваться в практике повседневной работы как единичный случай, то сформированное суждение необходимо, кроме закрепления в учетной политике, еще и

прописать в соответствующих внутренних документах организации.

Приведенный в настоящей статье порядок действий систематизирует последовательность действий специалиста консультанта при возникновении нестандартных ситуаций и определении необходимости формирования суждения. Следование представленной процедуре позволит избежать создания в составе профессионального суждения элементов, оказывающих негативное влияние на достоверность создаваемой финансовой отчетности и возникновение нежелательных вопросов от пользователей относительно ее качества. Придерживаясь порядка мышления, прописанного в алгоритме действий по формированию суждения, закрепленного в нормативном документе, можно ощутимо расширить информационное обеспечение учетной работы бухгалтера, принимая во внимание как внешние, так и внутренние факторы, влияющие на качество финансовой отчетности. Подобный подход к решению возникшей проблемы будет способствовать совершенствованию процесса внутреннего контроля в организации, обеспечит полноту и достоверность создаваемой информации и создаст благоприятные условия для функционирования механизма проверки данных, на основании которых формируется профессиональное суждение. В учетной политике организации желательно прописать условия, при которых бухгалтер может обратиться в специализированную организацию для получения консультационных услуг как по формированию суждения, так и других аспектов учетной работы, которые у бухгалтера вы-

зывают затруднения и вызывают необходимость привлечения специалистов узкого профиля, то есть консультантов, оценщиков, аналитиков, технических экспертов. Применение в практике учетной работы этих рекомендаций будет способствовать заметному снижению степени недоверности используемой информации, что, в свою очередь, позволит сформировать профессиональное суждение наиболее качественно и обоснованно.

Одной из наиболее существенных проблем при решении вопроса об обращении к консультантам является кадровое обеспечение. Формирование суждения периодически вызывает у учетных работников объективные трудности, когда специалисты предприятия не обладают достаточной квалификацией, необходимым уровнем образования и опытом работы. Вместе с тем нельзя исключать вероятность использования суждения в целях мошенничества или усиления субъективности суждения. Решить эту насущную проблему возможно только путем организации регулярного обучения, периодического повышения квалификации, проведения научных семинаров и других мероприятий, повышающих уровень подготовки специалистов в сфере бухгалтерского учета. Для проверки объективности профессионального суждения бухгалтера следует также привлекать сторонних специалистов из консалтинговых организаций, которые способны провести независимую оценку, а также аудиторов и экспертов.

В условиях рыночных отношений тема, связанная с формированием профессионального суждения бухгалтера

особенно актуальна, так как переход приднестровского бухгалтерского учета на международные стандарты финансовой отчетности сопровождается неуклонным ростом количества нерегламентируемых законодательством ситуаций, которые порождают неопределенности в учете и требуют квалифицированного мнения и суждения бухгалтера. Профессиональное суждение оказывает заметное влияние на качество отчетности, достоверность, правдивость и существенность содержащейся в ней информации. Проблема практического применения профессионального суждения в Приднестровье заключается в преодолении недостаточной степени закреплённости данного инструмента бухгалтерского учета на уровне учетных регулятивов предприятий, отсутствии в них приемлемо прописанного порядка мышления при его формировании, недостаточного уровня квалификации специалистов и, соответственно, вытекающей из этого неполной обеспеченности информацией, необходимой для формирования суждения.

В настоящей работе систематизированы области применения профессионального суждения, рассмотрена процедура его формирования, которая охватывает все основные этапы, направленные на выявление ситуаций, требующих формирования суждения, сбор и последующий анализ необходимой информации, обоснование суждения и его документально-нормативное оформление, проверку объективности суждения и установление правил порядка отражения исследуемого факта хозяйственной жизни. Показана необходимость создания механизмов

проверки поступающей хозяйствующему субъекту информации, которая используется при формировании профессионального суждения и организации обучения учетных специалистов, направленного на повышение квалификации действующих сотрудников. Предложено привлекать в качестве консультантов сторонних специалистов узкого профиля в случаях, когда бухгалтер оказывается недостаточно компетентным в возникающих вопросах, или когда требуется проверка объективности уже сформированного профессионального суждения.

Применение перечисленных рекомендаций позволит существенно повысить легитимность и обоснованность сформированного профессионального суждения бухгалтера, снизит трудоемкость его формирования и, как следствие, повысит качество учетной и отчетной информации, ее объективность для удовлетворения интересов внешних пользователей.

Цитированная литература

1. **Демина, И. Д.** Профессиональное суждение бухгалтера и его влияние на формирование учетной политики организации / И. Д. Демина. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет в бюджетных и некоммерческих организациях. – 2018. – № 12. – С. 2–9.
2. **Дружиловская, Т. Ю.** Модернизация финансовой отчетности организаций в условиях цифровой экономики / Т. Ю. Дружиловская, Э. С. Дружиловская. – Текст : непосредственный // Учет. Анализ. Аудит. – 2019. – № 6. – С. 50–61.
3. **Дружиловская, Т. Ю.** Методика формирования учетной политики на осно-

ве профессионального суждения бухгалтера / Т. Ю. Дружиловская, Т. Н. Коршунова. – Текст : непосредственный // Международный бухгалтерский учет. – 2014. – № 24 (318). – С. 2–15.

4. **Зеленин, Н. В.** Аутсорсинг и финансовый консалтинг эффективные инструменты обеспечения финансирования и качества бухгалтерского учета малых предприятий. / Н. В. Зеленин. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы экономической науки. – Выпуск 1. Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава экономического факультета по итогам научно-исследовательской работы в 2018 году. – С. 37–42.

5. **Зеленин, Н. В.** Профессиональное суждение бухгалтера, условия его формирования и применения в Приднестровской Молдавской Республике // Н. В. Зеленин. – Текст : электронный // Вестник Приднестровского университета Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3(63) С. 215–220. – URL: spsu.ru/science/nauchno-izdatelskaya-deyatelnost/vestnik-pgu (дата обращения : 10.04.2023).

6. **Мэтьюс, М. Р.** Теория бухгалтерского учета // М. Р. Мэтьюс, М. Х. Б. Перера. Текст : непосредственный // Перевод с англ.; под ред. Я. В. Соколова, И. А. Смирновой. – Москва: Аудит, ЮНИТИ, 1999. – С. 663.

7. Стандарт бухгалтерского учета № 1 «Представление финансовой отчетности» // Приказ Министерства финансов ПМР №76 от 26 апреля 2010 г. Текст : непосредственный.

8. Основы бухгалтерского учета / Т. П. Стасюк, Н. Н. Смоленский, Е. Л. Жигарева [и др.]. – Тирасполь: Ликрис, 2019. – С. 184. – Текст: непосредственный

9. Рекомендация Р-96/2018-КпР «Профессиональное суждение» // Бухгалтерский методологический центр: [сайт]. – URL: http://bmcenter.ru/Files/R-KpR-Prof Sugdeniye_buhgaltera (дата обращения : 20.10.2022). – Текст : электронный.

10. **Соколов, Я. В.** Профессиональное суждение – новый инструментарий современной бухгалтерии / Я. В. Соколов. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет. – 2005. – № 21. – С. 45–48.

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

Е. В. Павлин, Е. Н. Мироненко

В статье рассматриваются основные понятия цифровизации и ее роль в процессах управления проектами. Выявлена актуальность перевода компаний на процессы цифровизации и управление ими. Сформулированы общие выводы о необходимости изучения цифровизации для будущего успеха компании.

Ключевые слова: *цифровизация, управление, проекты, бизнес-процессы, цифровые технологии, цифровая трансформация.*

IMPACT OF DIGITALIZATION ON PROJECT MANAGEMENT

E. V. Pavlin, E. N. Mironenko

The article discusses the basic concepts of digitalization and its role in project management processes. The relevance of transferring companies to digitalization processes and their management is revealed. General conclusions are formulated about the need to study of digitalization for the future success of the company.

Keywords: *digitalization, management, projects, business processes, digital technologies, digital transformation.*

Интерес к управлению проектами возрастает с каждым годом во всех сферах деятельности. Если обратиться к истории, то можно вспомнить множество потрясающих воображение проектов: Великая Китайская стена, египетские пирамиды, Тадж-Махал, Колизей и многие другие [1, с. 11]. Данные проекты были настолько успешны, что и сегодня, сотни лет спустя, являются яркими примерами проектного менеджмента. Управление проектами как наука и прикладная методология совершенствовалось на протяжении столетий. Оно представляет собой использование знаний, методов, навыков и инструментов для работы над проектом, в ходе которой планируют и затем выполняют проектные требования, учитывающие такие факто-

ры, как содержание, качество, расписание, бюджет, ресурсы и риски [2, с. 5]. Развитие данной дисциплины связывают с работами таких классиков традиционного менеджмента, как Г. Гантт, А. Файоль, Ф. Тейлор [1, с. 12].

Деловой мир переходит в онлайн. Менеджеры проектов постепенно забывают об управлении своими задачами и процессами с помощью ручки и бумаги, физических досок с заметками и многофункциональных офисных стендов.

Все больше и больше людей, занимающихся управлением проектами и другими сферами бизнеса, используют интернет и смартфоны для получения доступа к цифровым продуктам и выполнения всех задач.

Руководители проектов стремятся перевести свои команды и процессы в

онлайн-режим, чтобы предоставлять продукты и услуги быстрее и эффективнее и не отставать от конкурентов. Все это тесно связано с концепцией цифровизации, которая произвела революцию в методах ведения бизнеса и изменила восприятие людьми продуктов и услуг. Онлайн-инструменты управления проектами, облачные системы и инновационные технологии повышают эффективность работы.

Менеджеры цифровых проектов – это новые лица современного менеджмента, и они точно знают, как использовать цифровизацию, чтобы помочь своим компаниям и клиентам.

Цифровизация – это распространенный термин, означающий цифровую трансформацию общества и экономики. Эта концепция посвящена переходу от индустриальной эпохи с аналоговыми технологиями к эпохе знаний и творчества с различными цифровыми бизнес-инновациями.

Цифровизация в управлении проектами позволяет участникам команды быть более продуктивными, позволяя им общаться с клиентами и членами команды онлайн и офлайн.

Многие люди часто путают термины «цифровизация», «цифровая трансформация» и «оцифровка».

Оцифровка – это более узкое понятие, означающее преобразование информации в цифровой формат. Фактически отсканированный бумажный документ сохраняется как цифровой документ (например, PDF). Другими словами, мы преобразуем что-то нецифровое, осязаемое, в цифровой (неосязаемый) артефакт.

Оцифровка обеспечивает основу для бизнес-кейсов, в которых используются данные, т. е. является средством создания ценности для бизнеса.

Цифровая трансформация означает тотальную трансформацию бизнес-моделей, видов деятельности и компетенций, направленную на максимально эффективное использование возможностей цифровых технологий. В некоторых случаях этот термин можно считать синонимом цифровизации.

Среди различных преимуществ цифровизации можно выделить следующие: автоматизация, оптимизация, автономность процессов, повышенная гибкость, индивидуальность продуктов и услуг.

Управление цифровым проектом начинается с концепции и заканчивается полным завершением проекта в рамках определенного бюджета и с использованием определенного количества ресурсов. Обычно выделяют такие этапы, как планирование, отслеживание, анализ, делегирование полномочий и оценка результатов. Типы проектов могут варьироваться от мероприятий до проектов с цифровым контентом.

Цифровые проекты могут включать в себя работу с мобильными приложениями, веб-сайтами, решениями для электронной коммерции, видеоконтентом, играми, мероприятиями, социальными сетями, рекламой и т. д.

Для эффективного управления проектами используются различные цифровые инструменты и технологии, например:

– системы управления проектами (Project Management Systems), которые

позволяют управлять всеми аспектами проекта (включая назначение задач, установление сроков, распределение ресурсов, контроль бюджета и т. д.), а также отслеживать прогресс проекта и реагировать на изменения в процессе его выполнения;

– онлайн-коллаборативные платформы (Online Collaborative Platforms), которые позволяют участникам проекта работать вместе в реальном времени независимо от расположения и предоставляют возможности для обмена файлами и комментирования документов;

– программное обеспечение для управления ресурсами проекта (Resource Management Software), включая финансовые и человеческие ресурсы. Это удобно для контроля бюджета и распределения ресурсов между участниками;

– инструменты управления временем (Time Management Tools), позволяющие участникам проекта эффективно планировать свое время и сроки выполнения задач. Они могут включать в себя такие функции, как таймеры, напоминания и пр.;

– Backlog является универсальным инструментом управления проектами с мобильными приложениями, разработанными и созданными для команд разработчиков и межфункциональных команд. Позволяет управлять проектами и обновлять их с мобильного устройства в любом месте [3, с. 4750];

– Nive осуществляет управление проектами, поддерживает несколько макетов проектов. Функционал для планирования времени команды на текущие и будущие проекты, возможность отправлять сообщения группам или лицам, автоматизировать

рабочие процессы, отследить время и карточки действия. Имеет функции обмена файлами, их можно загружать непосредственно в задание, проект или сообщение;

– Oracle NetSuite – позволяет руководителям и членам команды сотрудничать над проектами и постоянно отслеживать текущее состояние проекта, предоставляя возможность менеджерам заранее выявлять и решать потенциальные проблемы с каждой задачей;

– Trello – гибкое, простое в использовании web-решение для управления проектами, идеально подходит для любой компании любого размера команды. Его можно использовать на ПК и в мобильных телефонах, поддерживает браузеры Chrome, Firefox, IE и Safari. В Trello используется парадигма управления проектами, известная как канбан [4, с. 35].

Примером цифровизации может быть Apple Watch. Этот пример цифровизации демонстрирует, как технология взяла обычные часы и внедрила в них некоторые технологические инновации с помощью телефона, обмена сообщениями и возможностей интернета.

Другой пример связан непосредственно с цифровизацией в управлении проектами: компания решает избавиться от многих своих картотечных шкафов, бумажных карточек и кропотливой регистрации, выбирая умные онлайн-канбан-доски или другие функциональные возможности современного инструмента управления задачами. Компьютерная система позволяет перевести в цифровую форму все записи компании, и сотрудники значительно облегчают себе жизнь.

Руководители проектов, а также другие специалисты в различных отраслях и сферах признают, что в будущем цифровые технологии будут приобретать все большее значение для производственных процессов. Логично предположить, что со временем эти процессы во всем мире станут более технологичными и капиталоемкими. Эта растущая интенсивность окажет влияние на международную конкурентоспособность продукции.

Многие компании располагают личными данными о своих клиентах. Другим организациям, таким как страховые компании, необходимо проверять такого рода информацию для ведения бизнеса. В зависимости от этих данных компания предоставляет продукт проверки для других организаций, которые хотят проверить личную информацию.

Цифровизация определяет такое понятие, как цифровое рабочее пространство.

Цифровое рабочее пространство помогает компаниям управлять всей деловой деятельностью, техническими и кадровыми процессами и преследует главную цель – повысить эффективность работы команд в целом.

Хорошо структурированное цифровое рабочее место предоставляет командным игрокам интеллектуальные инструменты для управления повседневными процессами, задачами, проектами и для эффективной совместной работы.

Безопасное и унифицированное цифровое рабочее место с интеллектуальной функциональностью обычно включает виртуализацию настольных компьютеров и приложений, централизованное управле-

ние конечными точками, общий доступ к файлам, безопасный просмотр, автоматизированные рабочие процессы с помощью машинного обучения, единый вход и т. д. Это выглядит как виртуальное дополнение к физическому офисному помещению с полезным программным обеспечением и устройствами для эффективной работы команд.

Руководители проектов и члены команды, которые стремятся интенсифицировать цифровизацию внутри своей компании, могут инициировать следующие мероприятия:

- внедрение эффективного управления ежедневными задачами, отчетности, учета рабочего времени, составления дорожных карт и других полезных инструментов;
- замена бумажных процессов цифровыми рабочими процессами;
- использование возможностей видеоконференцсвязи;
- применение онлайн-календарей, расписаний и временных рамок;
- применение решений для онлайн-записи;
- добавление онлайн-бронирования номеров;
- внедрение системы мгновенного обмена сообщениями и т. д.

Развитие цифровых технологий, растущий спектр применения решений на основе искусственного интеллекта и автоматизация будут влиять на управление организациями. Управление проектами в таких новых, меняющихся условиях останется в центре внимания на ближайшие годы. Цифровизация позволяет отдельным командным игрокам и целым

компаниям достигать успеха, процветать и выделяться – и все это благодаря совместной работе.

Цитированная литература

1. **Аньшин, В. М.** Управление проектами: фундаментальный курс: учебник / В. М. Аньшин, А. В. Алешин, К. А. Багратиони; под ред. В. М. Аньшин, О. М. Ильина. – Москва: Высшая школа экономики, 2013. – 624 с. – Текст : непосредственный.

2. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК®).

– Москва, 2018. – 590 с. – Текст : непосредственный.

3. **Калязина, Е. Г.** Цифровой менеджмент в управлении проектами / Е. Г. Калязина. – Текст : электронный // Креативная экономика. – 2021. – Том 15. – № 12. – С. 4747–4766. – URL: <https://creativeconomy.ru/journals/ce/archive/113731/> (дата обращения : 15.05.2023).

4. **Кузнецов, Н. В.** Управление проектами цифровизации: методологический, организационный и финансовый аспекты / Н. В. Кузнецов, В. В. Лизяева. – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 2. – С. 32–37. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42681/> (дата обращения : 15.05.2023).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
зарегистрированных в Министерстве юстиции
Приднестровской Молдавской Республики

ИЗОБРЕТЕНИЯ

(71)(73) Государственное образовательное учреждение «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128 и

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I», Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1

(11) 555

(21) 23100609

(51) A01C 7/00

(22) 15.05.2023

(72) Ф.Ю. Бурменко, А.В. Димогло, В.С. Михайлов, В.Г. Козлов и Е.В. Козлова

(56) Патент RU №188553 U1, A01C 7/00, 2019

(54) Стенд для исследования пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева, содержащий исследуемый высевающий аппарат с высевающим диском и семяпроводом, ленточный транспортер с липкой поверхностью, приводной механизм высевающего диска и ленточного транспортера с управляющим блоком, воздухоприготовительную систему с вакуумной установкой и пневмомагистралями, средства контроля и фиксации процесса высева материала с комплектом датчиков, микроконтроллерный измерительный блок и пульт управления работой стенда *отличающийся* тем, что с целью повышения точности результатов исследований, приводной механизм выполнен отдельным с двумя независимыми приводами, каждый из которых оснащен автономным шаговым двигателем, при этом вал первого привода соединен с высевающим аппаратом, а вал второго – с ленточным транспортером, шаговые двигатели оснащены дистанционными драйверами, связанными с управляющим блоком приводного механизма.

2. Стенд для исследования пневматических высевающих аппаратов сеялок **точного высева** по п. 1, *отличающийся* тем, что семяпровод выполнен сменным и имеет криволинейную форму, изогнутую по дуге в направлении движения ленточного транспортера с возможностью его подбора с разными радиусами кривизны поверхностей.

3. Стенд для исследования пневматических высевающих аппаратов сеялок **точного высева** по п. 1, *отличающийся* тем, что информация от средства кон-

троля и фиксации процесса высева материала с комплектом датчиков и микроконтроллерного измерительного блока интегрируется и вводится в программно-аппаратный комплекс на базе «Arduino UNO».

(76) Бучацкий Александр Иванович,

Григориопольский район, п. Карманово, пр. Молодежи, д. 9, кв. 4

(11) 556

(21) 20100610

(51) G09B 9/04, G05G 1/34, B62D 1/22

(22) 19.07.2023

(15) 28.09.2023

(56) Патент RU № 216973 U1, G09B 9/04; B62D 1/22; B60K 26/02; G05G 1/34, 2023

(54) Устройство дублирующей педали транспортного средства, содержащее штатную педаль, кинематически связанную с соответствующей дублирующей педалью посредством троса, *отличающаяся* тем, что с целью упрощения кинематики, повышения надежности дополнительно содержит рычаг, прикрепленный к дублирующей педали, и скобу, жестко закрепленную на штатной педали, при этом трос одним концом закреплен на рычаге дублирующей педали, другой его конец через оплетку, расположенную в моторном отсеке, и направляющие втулки соединен со штатной педалью при помощи скобы.

2. **Устройство дублирующей педали транспортного средства** по п. 1, *отличающаяся* тем, что направляющие втулки установлены на переднем щитке транспортного средства.

СЕЛЕКЦИОННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 169

(21) 21400171

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) М.И. Питюл, Е.Ю. Спиваков и Н.И. Василиогло

(54) Гибрид F₁ томата Внучок (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе среднеранних гибридов, период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 110–115 дней (стандарт – сорт Лагуна). Отличается от стандарта среднеспелым сроком созревания, крупноплодностью и урожайностью.

Растение детерминантного типа, хорошо облиственное, компактное с простой кистью, в которой формируется 5–6 плодов кубовидной формы. Плод ярко-красный, плотный, массой 90–100 г, место прикрепления плода к плодоножке глубокое, без зеленого пятна у плодоножки и с коленчатым сочленением с плодоножкой. Стандартность плодов 90 %. Характеризуется высокой завязываемостью плодов.

Содержание сухих веществ в плодах 5,5 %, общего сахара – 3,2 %, аскорбиновой кислоты – 25,3 мг %, общая кислотность – 0,39 %. Предназначен для употребления в свежем виде, цельноплодного консервирования и переработки на томатопродукты. Плоды вкусные, дегустационная оценка томатного сока 4,7–4,8 балла.

Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 550–600 ц/га (стандарта – 291 ц/га). В открытом грунте выращивается через посев семян и через рассаду. Устойчив к грибным и бактериальным болезням и засухе.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 170

(21) 21400172

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) М.И. Питюл, Е.Ю. Спиваков и Н.И. Василиогло

(54) Гибрид F₁ томата Флуераш (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе ранних гибридов, период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 90 дней (стандарт – сорт Риогранде). Отличается от стандарта раннеспелостью, дружным созреванием, выравненностью плодов по форме и размеру, плотностью и более высокой урожайностью.

Растение детерминантного типа, среднеоблиственное. Плоды цилиндрические, гладкие, в технической спелости без зеленого пятна у плодоножки, в биологической – красные, плотные, массой 80 г, с очень маленьким размером цветочного рубца и с колечкатым сочленением с плодоножкой.

Содержание сухих веществ в плодах 5,5 %, общего сахара – 3,5 %, аскорбиновой кислоты – 25,7 мг %, общая кислотность – 0,39 %. Предназначен для употребления в свежем виде, цельноплодного консервирования и переработки на томатопродукты. Плоды вкусные, дегустационная оценка высокая.

Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 550–600 ц/га (стандарта – 380 ц/га). В открытом грунте выращивается через рассаду. Устойчив к вертициллезу и вирусу желтой листовой карликовости томатов.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 171

(21) 21400173

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) М.И. Питюл, Е.Ю. Спиваков и Т.М. Александрова

(54) Гибрид F₁ томата Кумир (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе среднеранних гибридов, период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 114–117 дней (стандарт – гибрид F₁ Джокер). Отличается от стандарта среднеспелым сроком созревания, повышенным содержанием ликопина и более высокой урожайностью.

Растение детерминантного типа, хорошо облиственное, с простой кистью, в которой формируется 5–6 плодов округлой формы. Плоды в технической спелости с маленьким зеленым пятном у основания, в биологической темно-красные, плотные, с коленчатым сочленением с плодоножкой, массой 170–190 г.

Содержание сухих веществ в плодах 5,5 %, общего сахара – 3,9 %, аскорбиновой кислоты – 26,8 мг %, общая кислотность – 0,40 %, ликопина – 6,2 мг %. Предназначен для употребления в свежем виде, цельноплодного консервирования и переработки на тоματοпродукты. Плоды вкусные, дегустационная оценка плодов и томатного сока 4,9 балла.

Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 550–650 ц/га (стандарта – 335 ц/га). В открытом грунте выращивается через рассаду. Устойчив к грибным и бактериальным болезням и засухе.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 172

(21) 21400174

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) И.В. Узун, Т.П. Блинова, А.Д. Томайлы и Т.М. Александрова

(54) Гибрид F₁ томата Юнона (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе среднеранних гибридов: период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 105 дней (стандарт – сорт Розовый титан). Гибрид F₁ томата Юнона отличается от стандарта более ранним сроком созревания (на 10 дней).

Растение детерминантного типа. Плоды плоско-округлые (индекс формы 0,7), розового цвета, крупные, массой 125 г, с коленчатым сочленением плодоножки, без зеленого пятна у плодоножки. Плоды выравнены по форме и массе. Плоды содержат: сухих веществ – 4,8 %, общего сахара – 3,34 %, аскорбиновой кислоты – 22,04 мг/100 г. Общая кислотность – 0,56 % сахарокислотный индекс 6,6. Дегустационная оценка томатного сока 4,6 балла.

Предназначен для свежего потребления. Выращивается через рассаду в открытом грунте при многосборовой уборке урожая. Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 402,7 ц/га (стандарта – 400 ц/га). Растения отзывчивы на удобрение и орошение, устойчивы к засухе. Гибрид F₁ томата Юнона среднеустойчив к альтернариозу (2,0 балла). На устойчивость к другим болезням и вредителям не испытывался.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 173

(21) 21400175

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) И.В. Узун, Т.П. Блинова и А.Д. Томайлы

(54) Гибрид F₁ томата Бархатный (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе среднеранних гибридов: период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 100 дней (стандарт – гибрид F₁ Дебют). Гибрид F₁ томата Бархатный отличается от стандарта наличием на стебле и листьях трихом с повышенной плотностью расположения на 1 см², что препятствует прикреплению и питанию тли на кустах, поэтому плотность заселения тлей низкая и составляет 0,7 шт. на растение.

Растение детерминантного типа. Плоды округлые (индекс формы 0,9), красного цвета, массой 100–110 г, с коленчатым сочленением плодоножки и без зеленого пятна у ее основания. Куст с плодами имеет необычный внешний вид из-за повышенного опушения, выполняющего защитную функцию от имаго тли (взрослых насекомых), которые являются переносчиками эпифитотий.

Плоды содержат: сухих веществ – 6,0 %, общего сахара – 3,9 %, аскорбиновой кислоты – 19,9 мг/100 г. Общая кислотность – 0,8 %. Предназначены для свежего потребления и изготовления томатного сока. Дегустационная оценка томатного сока 4,8 балла.

Выращивается через рассаду в открытом грунте при многосборовой уборке урожая. Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 400,6 ц/га (стандарта – 330,8 ц/га).

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 174

(21) 21400176

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) И.В. Узун и Т.П. Блинова

(54) Гибрид F₁ томата Седой граф (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе ранних гибридов: период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 93–95 дней (стандарт – гибрид F₁ Меркурий). Гибрид F₁ томата Седой граф отличается от стандарта большей устойчивостью к альтернариозу, наличием на стебле и листьях густого опушения, – трихом с повышенной плотностью расположения на 1 см², превышением по массе плода на 35 г.

Растение детерминантного типа. Плоды вкусные, округлые (индекс формы 0,8), красного цвета, массой 115 г, с наличием отдельного слоя у плодоножки и без зеле-

ного пятна у ее основания. Куст (листья и стебли) имеет необычный внешний вид из-за повышенного опушения, которое выполняет защитную функцию от имаго тли (взрослых насекомых), которые являются переносчиками эпифитотий.

Плоды содержат: сухих веществ – 4,80 %, общего сахара – 3,2 %, аскорбиновой кислоты – 21,53 мг/100 г, общая кислотность – 0,40 %. Сахарокислотный индекс – 6,8 ед. Предназначены для свежего потребления. Выращивается в защищенном грунте в весенне-летнем культурообороте при многосборовой уборке урожая.

Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла 10,4 кг/м² (стандарта – 9,7 кг/м²). Растения отзывчивы на удобрение и орошение, устойчивы к засухе.

Гибрид F₁ томата Седой граф среднеустойчив к альтернариозу (1,0 балла). На устойчивость к другим болезням и вредителям не испытывался.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 175

(21) 21400177

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) И.В. Узун, Т.П. Блинова, Н.И. Василиогло и Т.М. Александрова

(54) Гибрид F₁ томата Мулатка (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. et Farw.) относится к группе ранних гибридов: период от появления массовых всходов до начала плодоношения составляет 93 – 95 дней (стандарт – гибрид F₁ Амаретто, гибрид F₁ Черная жемчужинка). Гибрид F₁ томата Мулатка отличается от стандарта гибрида F₁ Амаретто превышением общей урожайности на 90 %, превышением массы плода на 20 г; от гибрида F₁ Черная жемчужинка – овальной формой плода, превышением его массы на 7 г и устойчивостью к кладоспориозу.

Растение индетерминантного типа. Плоды коричневого цвета, овальной формы, массой 40 г, не склонные к растрескиванию при перезревании, с отделительным слоем у цветоножки, с зеленым пятном у ее основания.

Плоды содержат: сухих веществ – 5,8 %, общего сахара – 3,8 %, аскорбиновой кислоты – 17,46 мг/100 г. Общая кислотность – 0,5 %. Сахарокислотный индекс – 7,7 ед. Предназначены для свежего потребления, цельноплодного консервирования. Плоды выравнены по форме и массе, дружно созревают и не растрескиваются. Дегустационная оценка маринованных плодов 4,9 балла. Выращивается в открытом грунте и в защищенном грунте через рассаду при многосборовой уборке урожая.

Средняя урожайность за 2019–2020 годы составляла в защищенном грунте весенне-летнего культурооборота 8 кг/м² (стандарта Черная жемчужинка – 8,1 кг/м²).

Растения отзывчивы на удобрение и орошение, устойчивы к жаре и засухе.

Гибрид F₁ томата Мулатка устойчив к кладоспориозу и вынослив к альтернариозу.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 176

(21) 21400179

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) В.И. Казаку, Л.В. Коломейчук, Е.В. Ишимова и Л.П. Репида

(54) Сорт дыни Кокетка (*Cucumis melo* L., *cucurbitaceae*) относится к среднеранним сортам: период от массовых всходов до первого сбора урожая составляет 74–76 дней (стандарт – сорт дыни Приднестровская). От стандарта новый сорт отличается более высокой урожайностью, большей массой плода и меньшей поражаемостью бактериозом.

Растение среднеплетистое, лист сердцевидной формы с сильно выемчатой рассеченностью. Плод округло-овальный с неярко выраженной сегментацией и элементами сетки. Семенная камера маленькая, мякоть белая, толстая, рассыпчатая, сочная, сладкая. Семена белые, удлинено-овальной формы, среднего размера.

Содержание сухих веществ в плодах – 11,5 %, общего сахара – 8,3 %. Транспортабельность хорошая, лежкость 6–8 дней, дегустационная оценка 4,8 балла. Средняя масса товарного плода 1,7 кг, максимальная – 3 кг.

Средняя урожайность за 2018–2020 годы – 21,1 т/га (стандарта – 16,5 т/га).

Отзывчивость на абиотические факторы средняя, на удобрение и орошение высокая. Предназначен для употребления в свежем виде, выращивания в открытом грунте и в теплицах. Сорт Кокетка среднеустойчив к бактериозу, ложной мучнистой росе и вирусу огуречной мозаики (поражаемость составляет 2 балла).

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 177

(21) 21400180

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) В.И. Казаку, М.В. Палкин, Е.В. Ишимова и Л.П. Репида

(54) Сорт арбуза Мулен Руж (*Citrullus lanatus* (Thund) Matsum et Nakaine *Cucurbitaceol*) относится к группе среднеранних сортов, период от всходов до начала плодоношения составляет 82 дня (стандарт – сорт Кримсон Свит).

Отличается от стандарта повышенными урожайностью, содержанием сухих веществ и общего сахара.

Растение средней мощности, длинноплетистое, с длинными междоузлиями, широкими среднерассеченными листьями сине-зеленой окраски.

Плод шаровидной формы, с гладкой поверхностью, массой 3,0–3,5 кг. Поверхность плода гладкая, светло-зеленая с широкими темными шиповидными полосами. Кора средней толщины (1–1,5 см), плотная. Мякоть красная, зернистая, сладкая. Средняя масса товарного плода 2,7 кг (2,0–6, 2 кг). Семена средние, крапчатые. Плод содержит сухого вещества 9,0 %, общего сахара – 8,5 %. Вкусовые качества – 4,5 балла.

Лежкость при хранении хорошая. Транспортабельность плодов хорошая, переносит перевозку по железной дороге в течение 3-х суток и подвозку на расстояние свыше 20 км.

Средняя урожайность Мулен Руж по наблюдениям в 2018–2020 годах составляет 12,7 т/га (стандарта 9,4 т/га). Предполагаемый экономический эффект – 4800–5200 руб./га.

Сорт арбуза Мулен Руж предназначен для производственной технологии возделывания, механизированной уборки. Употребляется в свежем виде.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 178

(21) 21400181

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) С.А. Секриер, О.А. Андриеш, Л.Н. Лунгул, А.И. Лысенко и Т.М. Александрова

(54) Гибрид F₁ кукурузы сахарной Алькор (*Zea mays* L. *Saccarata*) относится к группе поздних гибридов (стандарт – гибрид F₁ Порумбень 342). Число дней от полных всходов до технической спелости 86–88 дней. В отличие от стандарта созревает на 2 дня позже, урожайность стандартных початков в обертках на 43 % выше, без оберток на 53 % выше, более высокое содержание сахаров (на 0,6 %), декстринов (на 1,1 %), выровненность и одновременность созревания початков выше на 1–3 %.

Высота растений 180–200 см, высота прикрепления початка 60–70 см. Пасынкообразовательная способность низкая, количество пасынков 0–0,2. Масса початка 270–340 г, длина 20–22 см, диаметр 4,2–4,4 см. Зерно сахарного типа, желтое, консистенция нежная, длиной 9–10 см, содержит 4,6 % сахаров, 5,2 % декстринов, 9,9 % крахмала. Органолептическая оценка 4,6 балла. Выход початков без оберток – 78 %, выровненность 96 %, одновременность созревания 98 %. Урожайность початков без оберток 16,8 т/га.

Гибрид F₁ кукурузы сахарной Алькор предназначен для комбайновой уборки, промышленной переработки (консервирования и замораживания зерна и початков), а также реализации в свежем виде.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 179

(21) 21400182

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) С.А. Секриер, О.А. Андриеш, Л.Н. Лунгул, А.И. Лысенко и Т.М. Александрова

(54) Гибрид F₁ кукурузы сахарной Велга (*Zea mays* L. *Saccarata*) относится к группе ранних гибридов (стандарт – гибрид F₁ Порумбень 198). Число дней от полных всходов до технической спелости 70 – 72 дня. В отличие от стандарта созревает на 2 дня позже, урожайность стандартных початков в обертках на 36 % выше, без оберток на 37 % выше.

Высота растений 170 – 180 см, высота прикрепления початка 40 – 50 см, количество пасынков 0,3 – 0,5. Початок слабо конической формы, длиной 18 – 20 см, диаметром 4,0 – 4,1 см, с 12 – 14 рядами зерен. Зерно сахарного типа, желтое, длиной 10 – 11 мм. Масса початка 270 – 340 г. Зерно сахарного типа, желтое, содержит сухих веществ 26,1 %, сахаров 4,8 %, декстринов 3,3 %, крахмала 10 %. Консистенция зерна нежная, вкусовые качества высокие – 4,7 балла. Выход початков без оберток – 78 %, выровненность 96 %, одновременность созревания 98 %. Урожайность початков без оберток 11,4 т/га.

Гибрид F₁ кукурузы сахарной Велга предназначен для выращивания в очень ранней культуре (под укрытием агроволокном) для реализации початков в ранние сроки в свежотваренном виде в молочной спелости, а также замораживания целыми початками. Основные направления использования: торговля в свежем виде, любительское овощеводство, индустриальная переработка.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 180

(21) 21400183

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) С.А. Секриер, О.А. Андриеш, Л.Н. Лунгул, А.И. Лысенко и Н.И. Василиогло

(54) Гибрид F₁ кукурузы сахарной Алиот (*Zea mays* L. *Saccarata*) относится к группе среднеранних гибридов (стандарт – гибрид F1 Золотое руно). Число дней от полных всходов до технической спелости 73–75 дней. Превышает стандарт по содержанию сахаров (на 0,5 %), декстринов (на 0,7 %), органолептической оценкой (на 0,3 балла) и пониженным содержанием крахмала (на 1,2 %), превосходит стандарт по устойчивости к неблагоприятным условиям среды.

Высота растений 180–190 см, высота прикрепления початка 45–55 см, пасынкообразовательная способность очень низкая (0,0–0,1). Початок слабо конической формы, дли-

ной 19–21 см, диаметром 4,1–4,5 см, с 12–14 рядами зерен, массой 250–320 г. Зерно сахарного типа, желтое, длиной 9–10 мм, содержит сухих веществ 25,1 %, общего сахара 4,4 %, декстринов 4,8 %, крахмала 8,6 %. Консистенция зерна нежная, вкусовые качества высокие – 4,5 балла. Выход початков без оберток – 75 %, технически зрелого зерна – 69 %. Урожайность початков в обертках 17,2 т/га, початков без оберток – 13,0 т/га.

Гибрид F₁ кукурузы сахарной Алиот предназначен для комбайновой уборки, промышленной переработки (консервирования и замораживания зерна и початков), а также реализации в свежем виде.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 181

(21) 21400184

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) С.А. Секриер, О.А. Андриеш, В.Г. Матичук, Л.З. Гузун, Н.И. Василюгло, Н.Г. Ванькович, А.К. Мелека и С.И. Мистрец

(54) Гибрид F₁ кукурузы сахарной Лучафэр (Zea mays L. Saccarata) относится к группе среднепоздних гибридов (стандарт – гибрид F1 Harvest Gold). Число дней от полных всходов до технической спелости 80 – 82 дня. Превышает стандарт по содержанию сахара (на 0,1 %), декстринов (на 0,5 %), органолептической оценкой (на 0,3 балла) и пониженным содержанием крахмала (на 1,3 %). Превосходит стандарт по урожайности и вкусовым качествам, характеризуется более поздним созревaniem.

Высота растений 210 – 215 см, высота прикрепления початка 70 – 80 см, пасыннообразовательная способность очень низкая (0,0 – 0,1). Формируется в основном два початка, созревающих одновременно. Початок слабо конической формы, длиной 20 – 22 см, диаметром 4,5 см, с 16 – 18 рядами зерен, массой 270 – 360 г. Зерно сахарного типа, желтое, длиной 10 – 11 мм, содержит общего сахара 4,8 %, декстринов 4,5 %, крахмала 8,4 %. Консистенция зерна нежная, вкусовые качества высокие – 4,5 балла. Выход початков без оберток – 75 %, технически зрелого зерна – 69 %. Урожайность початков 17,7 т/га в обертках, без оберток – 13,3 т/га.

Гибрид F₁ кукурузы сахарной Лучафэр характеризуется высокой однородностью признаков, пригоден для комбайновой уборки в фазе технической спелости и промышленной переработки (консервирования и замораживания зерна и початков), а также реализации в свежем виде.

(71)(73) Государственное учреждение «Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,

г. Тирасполь, ул. Мира, 50

(11) 182

(21) 21400178

(22) 30.04.2021

(15) 10.11.2023

(72) Е.С. Демидов, А.А. Кушнарев, И.В. Кропивянская, П.Ю. Обручков, М.Н. Волкова, С.П. Николенко и И.А. Сорокатый

(54) Сорт перца сладкого Бастион (*Capsicum annuum* L.) относится к группе ран-неспелых сортов, количество дней от массовых всходов до технической спелости составляет 95 дней, биологической спелости – 125 дней (стандарт – сорт перца сладкого Подарок Молдовы). Растение детерминантного типа, высотой 55–60 см, хорошо облиственное.

Плоды кубовидной формы, светло-зеленой окраски в технической спелости и насыщенно-красные в биологической. Стенка перикарпия толстая (10 мм), средняя масса плода 160 г. Плоды кубовидной формы с пониклым расположением на кусте. В биологической спелости насыщенно-красного цвета. В них содержится сухого вещества – 6,6 %, общего сахара – 3,3 %, аскорбиновой кислоты – 134 мг/100 г.

Сорт Бастион превосходит стандарт по урожайности в открытом и закрытом грунте и по массе плода. Урожайность составляет по наблюдениям в 2018–2020 годах в открытом грунте через рассаду 500 ц/га (стандарта – 310 ц/га). Сорт предназначен для товарного производства, приусадебного и дачного использования. Выращивают как в открытом, так и в защищенном грунте в весенне-летнем культурообороте через рассаду. Сорт отзывчив на удобрение и орошение, устойчив к неблагоприятным факторам, слабо поражается вирусными и фитоплазменными инфекциями.

Предназначен для использования в свежем виде и для консервирования (маринования, фарширования, лечо).

ТОВАРНЫЕ ЗНАКИ

(730) Михайлик Ирина Владимировна,

г. Тирасполь, ул. Одесская, д. 88/2, кв. 62

(111) 2024

(210) 22202025

(220) 27.03.2023

(151) 06.04.2023

(180) 27.03.2033

(540)

СТРИКОСА

(511)

44 – услуги салонов красоты; парикмахерские; депиляция восковая; маникюр; терапия мануальная [хиропрактика]; массаж; татуирование, советы по вопросам здоровья, услуги по окрашиванию волос, услуги косметолога.

(730) Михайлик Ирина Владимировна,

г. Тирасполь, ул. Одесская, д. 88/2, кв. 62

(111) 2025

(210) 22202026

(220) 10.04.2023

(151) 27.04.2023

(180) 10.04.2023



(511)

44 – услуги салонов красоты; парикмахерские; депиляция восковая; маникюр; терапия мануальная [хиропрактика]; массаж; татуирование, советы по вопросам здоровья, услуги по окрашиванию волос, услуги косметолога.

(730) Мазаре Владислав Владиславович,

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 36

(111) 2026

(210) 23202028

(220) 13.04.2023

(151) 27.04.2023

(180) 13.04.2023

(540)**MERCADO**

(511)

35 – продвижение продаж для третьих лиц; реклама, продвижение и маркетинг; услуги по продвижению продаж; продвижение товаров в целях покупки или продажи (для третьих лиц); продвижение товаров и услуг для третьих лиц через интернет.

(730) Коротнян Александр Александрович,

г. Тирасполь, ул. Юности, д. 30, кв. 38

(111) 2027

(210) 23202027

(220) 12.04.2023

(151) 27.04.2023

(180) 12.04.2023

(540)**Emily Nails**

(591) малиновый, розовый, желтый.

(511)

35 – продвижение продаж для третьих лиц; реклама, продвижение и маркетинг; услуги по продвижению продаж; продвижение товаров в целях покупки или продажи (для третьих лиц); продвижение товаров и услуг для третьих лиц через интернет.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Шанстал»,

г. Тирасполь, п. Ново-Тираспольский, ул. Советская, д. 7

(111) 2028

(210) 23202031

(220) 22.06.2023

(151) 10.07.2023

(180) 22.06.2033

(540)

(591) синий.

(511)

6 – металлы обычные и их сплавы; материалы металлические строительные; конструкции и сооружения передвижные металлические; тросы и проволока металлические, неэлектрические; изделия мелкие металлические и скобяные.

36 – оценки финансовые, оценка драгоценностей, произведений искусства и недвижимости, оценка стоимости ремонта; услуги агентств недвижимости; управление недвижимостью, аренда квартир, взыскание арендной платы, посреднические услуги в операциях с недвижимостью.

37 – услуги по строительству и сносу зданий, а также услуги в области строительных работ, таких как работы по внешней и внутренней окраске, штукатурке, сантехнике, систем отопления и кровельных работ, различные услуги по ремонту мебели, приборов и инструментов; различные услуги по реставрации, например, реставрации зданий, мебели.

45 – услуги юридические.

(730) Акционерное общество «ПРОГРЕСС»,Российская Федерация, RU-398902, Липецкая обл.,
г. Липецк, ул. Ангарская, владение 2**(111) 2029**

(210) 23202029

(220) 24.05.2023

(151) 21.06.2023

(180) 24.05.2033

(540)

(591) – Зеленый, синий, желтый, оранжевый, светло-зеленый, голубой.

(511)

05 – все товары класса, в том числе, изделия фармацевтические, препараты медицинские и ветеринарные; изделия гигиенические для медицинских целей; питание диетическое и вещества для медицинских или ветеринарных целей, питание детское; добавки пищевые для человека и животных; пластыри, материалы перевязочные; материалы для пломбирования зубов и изготовления зубных слепков; средства дезинфицирующие; препараты для уничтожения вредных животных; фунгициды, гербициды.

(730) Акционерное общество «ПРОГРЕСС»,

Российская Федерация, RU-398902, Липецкая обл.,
г. Липецк, ул. Ангарская, владение 2

(111) 2030

(210) 23202030

(220) 24.05.2023

(151) 21.06.2023

(180) 24.05.2033

(540)

(591) – Зеленый, синий, желтый, оранжевый, светло-зеленый, голубой.

(511)

05 – все товары класса, в том числе, изделия фармацевтические, препараты медицинские и ветеринарные; изделия гигиенические для медицинских целей; питание диетическое и вещества для медицинских или ветеринарных целей, питание детское; добавки пищевые для человека и животных; пластыри, материалы перевязочные; материалы для пломбирования зубов и изготовления зубных слепков; средства дезинфицирующие; препараты для уничтожения вредных животных; фунгициды, гербициды.

(730) ST 1 АйПи Сарл (ST 1 IP Sàrl)

Авеню Ревердил 14, 1260 Ньон, Швейцария
(Avenue Reverdil 14, 1260 Nyon, Switzerland)

(111) 2031

(210) 23202033

(220) 10.07.2023

(151) 18.08.2023

(180) 10.07.2033

(540)



(511)

33 – водка; коктейли алкогольные; напитки алкогольные, за исключением пива; напитки спиртовые.

(730) СТ 1 АйПи Сарл (ST 1 IP Sàrl)

Авеню Ревердил 14, 1260 Ньон, Швейцария
(Avenue Reverdil 14, 1260 Nyon, Switzerland)

(111) 2032

(210) 23202033

(220) 10.07.2023

(151) 18.08.2023

(180) 10.07.2023

(540)

THE SPIRIT OF CHANGE

(511)

33 – водка; коктейли алкогольные; напитки алкогольные, за исключением пива; напитки спиртовые.

(730) СТ 1 АйПи Сарл (ST 1 IP Sàrl)

Авеню Ревердил 14, 1260 Ньон, Швейцария
(Avenue Reverdil 14, 1260 Nyon, Switzerland)

(111) 2033

(210) 23202034

(220) 10.07.2023

(151) 18.08.2023

(180) 10.07.2023

(540)



(591) – Красный, золотистый, черный, темно-серый, светло-серый.

(511)

33 – водка; коктейли алкогольные; напитки алкогольные, за исключением пива; напитки спиртовые.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Драйв-Авто»

г. Тирасполь, пер. Западный, д.15, к. 120

(111) 2034

(210) 23202037

(220) 31.07.2023

(151) 31.08.2023

(180) 31.07.2033

(540)

(591) черный, красный.

(511)

35 – продвижение продаж для третьих лиц (масла смазочные (авто), автозапчасти и аксессуары).

37 – ремонт и техническое обслуживание автомобилей.

(730) Общество с ограниченной ответственностью «Вотер»

г. Тирасполь, пер. Раевского, д. 2 А

(111) 2035

(210) 23202035

(220) 18.07.2023

(151) 31.08.2023

(180) 18.07.2033

(540)**ПРАВИЛЬНАЯ**

(511)

32 – воды [напитки]; воды минеральные [напитки]; воды столовые; пиво.

(730) Руденко Оксана Георгиевна,

г. Бендеры, ул. Коммунистическая, д. 1а, кв. 13

(111) 2036

(210) 23202036

(220) 31.07.2023

(151) 31.08.2023

(180) 31.07.2033

(540)

(591) зеленый, оранжевый.

(511)

20 – подушки.

24 – рукавицы и мочалки для мытья тела; изделия из джута.

25 – уборы головные (шапочки для бани), варежки для бани.

35 – презентация товаров на всех медиасредствах с целью розничной продажи; предоставление коммерческой информации и консультаций потребителям по вопросам выбора товаров и услуг; управление процессами обработки заказов товаров.

(730) Батынская Виктория Дмитриевна,

г. Тирасполь, пер. Партизанский, д. 43

(111) 2037

(210) 23202039

(220) 04.08.2023

(151) 31.08.2023

(180) 04.08.2033

(540)



(591) розовый, черный.

(511)

44 – салоны красоты; услуги маникюрного салона; услуги салона по уходу за кожей; услуги салона-парикмахерской для мужчин; услуги салона-парикмахерской для женщин; услуги здравоохранения и салоны красоты.

**(730) АКВА ЕН.ЕР.ДЖИ. ИНВЕСТМЕНТС ЛИМИТЕД
(AQUA NRG INVESTMENTS LIMITED),**

Лампоусас 1, П.С. 1095, Никосия, Кипр
(Lampousas 1, P.C.1095, Nicosia, Cyprus)

(111) 2038

(210) 23202038

(220) 01.08.2023

(151) 31.08.2023

(180) 01.08.2033

(540)



(511)

33 – алкогольные напитки (за исключением пива); продукты алкогольные для приготовления напитков.

ОБЪЕКТЫ АВТОРСКОГО ПРАВА

№ п/п	Наименование объекта	Ф.И.О. автора	Дата регистрации
1	2	3	4
317	Сборник технологических карт	А.М. Смирнова	12.09.2023
318	Альбом графических работ «Симфония Приднестровья»	Г.Н. Спицын	27.10.2023

Передача прав на использование объектов интеллектуальной собственности (договоры)

1. Договор № 148/1909 о предоставлении права на использование товарного знака по свидетельству № 1909 (заявка № 20201908) с приоритетом от 06 апреля 2020 года в отношении всех товаров и услуг, указанных в свидетельстве. Дата регистрации – 29 марта 2023 года. **Лицензиар** – Министерство экономического развития Приднестровской Молдавской Республики, адрес: 3300, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 100. **Лицензиат** – некоммерческое партнерство «Торгово-промышленная палата Приднестровской Молдавской Республики», адрес: 3300 г. Тирасполь, ул. Ленина, д. 48.

Территория действия договора – Приднестровская Молдавская Республика.

Срок действия договора – оставшийся срок действия свидетельства.

2. Сублицензионный договор № 149/1909 о предоставлении права на использование товарного знака по свидетельству № 1909 (заявка № 20201908) с приоритетом от 06 апреля 2020 года в отношении товаров 29, 30 классов МКТУ, указанных в свидетельстве. Дата регистрации – 10 мая 2023 года. **Лицензиат** – некоммерческое партнерство «Торгово-промышленная палата Приднестровской Молдавской Республика» адрес: 3300, г. Тирасполь, ул. Ленина, д. 48. **Сублицензиат** – общество с ограниченной ответственностью «Вкусняшки», адрес: 3200 г. Бендеры, ул. Лазо, д. 2а/1.

Территория действия договора – Приднестровская Молдавская Республика.

Срок действия договора – оставшийся срок действия свидетельства.

3. Договор № 150/1773 об отчуждении права на использование товарного знака по свидетельству № 1773 (заявка № 18201769) с приоритетом от 11 апреля 2018 года в отношении всех товаров, указанных в свидетельстве. Дата регистрации – 08 сентября 2023 года. **Правообладатель** – общество с ограниченной ответственностью «КОНТЕ», адрес: 4500, г. Дубоссары, ул. Ленина, д. 227. **Приобретатель** – общество с ограниченной ответственностью «Ост-групп», адрес: 4500, г. Дубоссары, ул. Ленина, д. 227.

Территория действия договора – Приднестровская Молдавская Республика.

Срок действия договора – оставшийся срок действия свидетельств.

ИЗВЕЩЕНИЯ

1. Срок действия свидетельства № **1414** (заявка № 13201397) с приоритетом от 04 марта 2013 года на товарный знак восстановлен и продлен 04 марта 2023 года на 10 лет.
2. Срок действия свидетельства **1479** (заявка № 13201460) с приоритетом от 24 сентября 2013 года на товарный знак продлен с 24 сентября 2023 года на 10 лет.
3. Срок действия свидетельства **1433** (заявка № 13201399) с приоритетом от 22 марта 2013 года на товарный знак восстановлен и продлен с 22 марта 2023 года на 10 лет.
4. 1. Срок действия свидетельства № **1474** (заявка № 13201436) с приоритетом от 22 июля 2013 года продлен с 22 июля 2023 на 10 лет.
5. Срок действия свидетельства № **1477** (заявка № 13201439) с приоритетом от 22 июля 2013 года продлен с 22 июля 2023 на 10 лет.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аксёнов Евгений Николаевич – старший преподаватель кафедры интегрированных компьютерных технологий и систем ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: evildesign@rambler.ru

Аншаков Владислав Сергеевич – студент II курса магистратуры кафедры электроэнергетики и электротехники ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: anshakov99@mail.ru

Баева Татьяна Юрьевна – старший преподаватель кафедры транспортно-технологических машин и комплексов Бендерского политехнического филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: baevatu@mail.ru

Балашова Юлия Владимировна – старший преподаватель кафедры интегрированных компьютерных технологий и систем ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: balashova_ju@mail.ru

Берил Степан Иорданович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой фундаментальной физики, электроники и систем связи, президент ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: president@spsu.ru

Бурменко Феликс Юрьевич – профессор кафедры машиноведения и техноло-

гического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: burmenco@mail.ru

Васильев Иван Васильевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного управления ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: ravi54@mail.ru

Васильева Ольга Федоровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко

Воронов Александр Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: avoronoff@mail.ru

Гайдей Кирилл Васильевич – студент магистратуры II курса ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: kergay22@mail.ru

Гарбузник Елена Сергеевна – старший преподаватель кафедры информатики и программной инженерии Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: goldfenix@mail.ru

Григорашук Артем Вячеславович – студент магистратуры II курса кафедры

электроэнергетики и электротехники ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: artemka1999grigorashuk@mail.ru

Григорьев Роман Сергеевич – студент магистратуры 2 курса кафедры электроэнергетики и электротехники ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: rs.grogoriev@mail.ru

Деткова Анна Васильевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры интегрированных компьютерных технологий и систем ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: det-anna@yandex.ru

Дидурик Наталия Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики и информатики, научный сотрудник НИЛ «Алгебра и ее приложения».

E-mail: natnikkr83@mail.ru.

Димогло Анатолий Владимирович – заведующий кафедрой технических систем и электрооборудования в АПК аграрно-технологического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: dimoglo@rambler.ru

Доскалов Вадим Александрович – студент магистратуры II курса ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: 10vadim100@mail.ru

Зайцев Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, Институт энергетики.

E-mail: zaiats@ie.asm.md

Звонкий Виталий Георгиевич – доцент кафедры автоматизированных тех-

нологий и промышленных комплексов ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: mr.zvonkiy@mail.ru

Зеленин Николай Валерьевич – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета и аудита ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: nikzelenin@mail.ru

Зинган Анна Петровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: zingan.anna@mail.ru

Зорин Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства и ремонта автомобилей и дорожных машин Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета.

E-mail: aleshka81@list.ru

Зуев Александр Анатольевич – старший преподаватель кафедры производства и эксплуатации технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: magic_z@mail.ru

Избаш Федор Алексеевич – старший преподаватель кафедры электротехнического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: Falekstir15@yandex.ru

Калошин Данила Николаевич – кандидат технических наук, доцент, директор физико-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: danila-nik2005@yandex.ru

Капшук Анастасия Андреевна – студентка II курса направления подготовки «Прикладная математика и информатика» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: kapshuk99@inbox.ru

Киорсак Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры электротехнического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: mkiorsak@mail.ru

Кирсанова Алла Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем и ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: avki@mail.ru

Клинк Григорий Валентинович – научный руководитель, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: klink.grigoriy2016@yandex.ru

Коровай Олеся Васильевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: olesya-korovai@mail.ru

Косаченко Сергей Юрьевич – преподаватель кафедры технических систем и электрооборудования в АПК ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: serera@mail.ru

Косюк Василий Васильевич – старший преподаватель кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: vcosiuc@mail.ru

Котомчин Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов Бендерского политехнического филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: aleshka81@list.ru

Ляхомская Ксения Даниловна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: ksedanna@yandex.ru

Малахова Мария Владимировна – старший преподаватель кафедры бизнес-информатики и информационных технологий ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: mmvpravda08@gmail.com

Малютина Надежда Николаевна – старший преподаватель кафедры высшей и прикладной математики и информатики, младший научный сотрудник НИЛ «Алгебра и ее приложения».

E-mail: 231004.bab.nadezhda@mail.ru

Минкин Владислав Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

Мироненко Екатерина Николаевна – старший преподаватель кафедры экономической теории и мировой экономики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: katya_mironenko_14@mail.ru

Надькин Леонид Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики и информатики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: nadkinlyu@gmail.com

Недоруб Александр Александрович – студент III курса физико-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: alex-metal-888@list.ru

Николаева Людмила Степановна – старший преподаватель кафедры высшей и прикладной математики и информатики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: lisnik.1910@mail.ru

Обеззенко Михаил Александрович – магистрант физико-математического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

Павлин Евгения Васильевна – старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: pav-evgeniya@mail.ru

Пономаренко Радуга Виорелович – магистрант физико-математического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

Радченко Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов Бендерского политехнического филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: radchenko_vn@mail.ru

Ставинский Анатолий Сергеевич – аспирант, старший преподаватель кафедры технических систем и электрооборудования в АПК ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: 28_03_91@list.ru

Стамов Иван Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: istamov51@mail.ru

Старчук Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: star-alex@idknet.com

Туртурика Наталья Николаевна – старший преподаватель кафедры электротехнического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: natalya_siti@mail.ru

Тягульская Людмила Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры информатики и программной инженерии Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: tla.ki@list.ru

Федорова Татьяна Анатольевна – старший преподаватель кафедры транспортно-технологических машин и комплексов Бендерского политехнического филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: katadim81@mail.ru

Фещенко Валерий Сергеевич – доктор технических наук, профессор базовой кафедры 146 Российского технологического университета МИРЭА.

E-mail: feshchenko@mail.ru

Чебан Валерий Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: cheban.valery2015@yandex.ru

Чукита Виталий Исакович – доцент кафедры фундаментальной физики, электроники и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: chykita@mail.ru

Щербаков Виктор Алексеевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник института математики и информатики Республики Молдова имени Владимира Андрунакиевича, заведующий НИЛ «Алгебра и ее приложения» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: scerb@math.md

Щербан Александр Николаевич – магистрант кафедры автоматизированных технологий и промышленных комплексов ПГУ им. Т. Г. Шевченко

E-mail: alexandr.shcherban@mail.ru

Юрченко Владимир Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ «Электро- и нанотехнологии» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

Юрченко Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафе-

дры машиноведения и технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: e.iurcenko@mail.ru

Юрченко Максим Константинович – студент II курса магистратуры направления подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Юрченко Ольга Егоровна – старший преподаватель кафедры машиноведения и технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: yestin05@gmail.com

Яковец Инна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных технологий и промышленных комплексов ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: inna_yakovets@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aksyonov Evgeniy Nikolaevich – Senior Lecturer at the Department of Integrated Computer Technologies and Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: evildesign@rambler.ru

Anshakov Vladislav Sergeevich – second year master's student of the Department of Electrical Power Engineering and Electrical Engineering of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: anshakov99@mail.ru

Baeva Tatyana Yuryevna – senior Lecturer of the Department of transport and technological machines and complexes of Bender Polytechnic Branch of Transnistrian State University by T.G. Shevchenko.

E-mail: baevatu@mail.ru

Balashova Yulia Vladimirovna – senior lecturer of the Department of integrated computer technologies and systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Beryl Stepan Iordanovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems, President of the Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: president@spsu.ru

Cheban Valeriy Nikolaevich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: cheban.valery2015@yandex.ru

Chukita Vitaly Isakovich – Associate Professor of the Department of Fundamental

Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: chykita@mail.ru

Detkova Anna Vasilievna – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Integrated Computer Technologies and Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: det-anna@yandex.ru

Didurik Natalia Nikolaevna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics and Computer Science, Research Assistant of the scientific research laboratory of Algebra and Its Applications.

E-mail: natnikkr83@mail.ru

Dimoglo Anatoly Vladimirovich – Head of the Department of Technical systems and electrical equipment in the agro-industrial complex of the Faculty of Agricultural Technology of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: dimoglo@rambler.ru

Doskalov Vadim Aleksandrovich – second-year master's student of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: 10vadim100@mail.ru

Fedorova Tatyana Anatolyevna – senior lecturer of the department of transport and technological machines and complexes of the Bendery Polytechnic Branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: katadim81@mail.ru

Felix Yurievich Burmenko – Professor of the Department of Mechanical Science

and Technological Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: burmenco@mail.ru

Feshchenko Valery Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the basic department 146 of the Russian Technological University MIREA.

E-mail: feshchenko@mail.ru

Gaidei Kirill Vasilievich – second-year master’s student of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: kergay22@mail.ru

Garbuznyak Elena Sergeevna – senior lecturer of the Department of Computer Science and Software Engineering, Rybnitsa branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Grigorashchuk Artem Vyacheslavovich – second-year master’s student of the Department of Electrical Power Engineering and Electrical Engineering of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: artemka1999grigorashuk@mail.ru

Grigoriev Roman Sergeevich – second-year master’s student of the Department of Electrical Power Engineering and Electrical Engineering of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: rs.grogoriev@mail.ru

Izbash Fedor Alekseevich – senior lecturer of the Department of Electrical Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: Falekstir15@yandex.ru

Kaloshin Danila Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor, director of the Institute of Physics and Tech-

nology of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: danila-nik2005@yandex.ru

Kapshuk Anastasia Andreevna – 2nd year student in the direction of training “Applied Mathematics and Informatics” of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: kapshuk99@inbox.ru

Kiorsak Mikhail Vasilievich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: mkiorsak@mail.ru

Kirsanova Alla Vladimirovna – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Software and Automated Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: avki@mail.ru

Klink Grigory Valentinovich – scientific supervisor, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of operation and repair of the machine and tractor fleet of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: klink.grigoriy2016@yandex.ru

Korovay Olesya Vasilievna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: olesya-korovai@mail.ru

Kosachenko Sergey Yurievich – teacher of the department of technical systems and electrical equipment in the agro-industrial complex of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: cepera@mail.ru

Kosyuk Vasily Vasilievich – senior lecturer at the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: vcosiuc@mail.ru

Kotomchin Aleksey Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes of the Bendery Polytechnic Branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: aleshka81@list.ru

Lyakhomskaya Ksenia Danilovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: ksedanna@yandex.ru

Malakhova Maria Vladimirovna – senior lecturer of the Department of Business Informatics and Information Technologies of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: mmvpravda08@gmail.com

Malyutina Nadezhda Nikolaevna – senior lecturer at the department of higher and applied mathematics and computer science, junior researcher at the Research Laboratory of Algebra and Its Applications.

E-mail: 231004.bab.nadezhda@mail.ru

Minkin Vladislav Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Mironenko Ekaterina Nikolaevna – senior lecturer of the Department of Economic

Theory and World Economy of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: katya_mironenko_14@mail.ru

Nadkin Leonid Yurievich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics and Informatics of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: nadkinlyu@gmail.com

Nedorub Alexander Aleksandrovich – third-year student of the Physics and Technology Institute of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: alex-metal-888@list.ru

Nikolaeva Lyudmila Stepanovna – senior lecturer of the department of higher and applied mathematics and computer science of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: lisnik.1910@mail.ru

Obevzenko Mikhail Aleksandrovich – master's student of the Faculty of Physics and Mathematics of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Pavlin Evgenia Vasilievna – senior lecturer of the Department of Economics and Management of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: pav-evgeniya@mail.ru

Ponomarenko Radu Viorelovich – master's student of the Faculty of Physics and Mathematics of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Radchenko Viktor Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes of

the Bendery Polytechnic Branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: radchenko_vn@mail.ru

Shcherbakov Viktor Alekseevich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher at the Institute of Mathematics and Informatics of the Republic of Moldova named after Vladimir Andrunakievich, Head of the Research Laboratory “Algebra and Its Applications” of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: scerb@math.md

Shcherban Alexander Nikolaevich – master’s student of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: alexandr.shcherban@mail.ru

Stamov Ivan Grigorievich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: istamov51@mail.ru

Starchuk Alexander Sergeevich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: star-alex@idknet.com

Stavinsky Anatoly Sergeevich – graduate student, senior lecturer of the department of technical systems and electrical equipment in the agro-industrial complex of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: 28_03_91@list.ru

Turturika Natalya Nikolaevna – senior lecturer of the Department of Electrical Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: natalya_siti@mail.ru

Tyagulskaya Lyudmila Anatolyevna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Software Engineering of the Rybnitsa branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: tla.ki@list.ru

Vasiliev Ivan Vasilievich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Public Administration of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: ravi54@mail.ru

Vasilyeva Olga Fedorovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Voronov Alexander Viktorovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: avoronoff@mail.ru

Yakovets Inna Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: inna_yakovets@mail.ru

Yurchenko Evgeniy Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate

Professor of the Department of Mechanical Science and Technological Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: e.iurcenko@mail.ru

Yurchenko Maxim Konstantinovich – a second-year master’s student in the field of study “Infocommunication technologies and communication systems.”

Yurchenko Olga Egorovna – senior lecturer of the Department of Mechanical Science and Technological Equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: yestin05@gmail.com

Yurchenko Vladimir Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, leading researcher at the Research Laboratory of Electrical and Nanotechnologies of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

Zaitsev Dmitry Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Institute of Energy.

E-mail: zaiats@ie.asm.md

Zelenin Nikolay Valerievich – senior lecturer of the Department of Accounting and Auditing of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: nikzelenin@mail.ru

Zingan Anna Petrovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: zingan.anna@mail.ru

Zorin Vladimir Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production and Repair of Automobiles and Road Machines of the Moscow Automobile and Highway State Technical University.

E-mail: aleshka81@list.ru

Zuev Alexander Anatolyevich – senior lecturer of the department of production and operation of technological equipment of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: magic_z@mail.ru

Zvonkiy Vitaly Georgievich – Associate Professor of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: mr.zvonkiy@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

- С. И. Берил, А. С. Старчук.* ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ. Часть I. ОБРАЗОВАНИЕ БИПОЛЯРОНОВ В КВАНТОВЫХ СЛОЯХ FeSe В СВЕРХСТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ 3
- С. И. Берил, А. С. Старчук.* ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ. Часть II. ОБРАЗОВАНИЕ МЕЖСЛОЕВЫХ БИПОЛЯРОННЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВЫХ СЛОЯХ FeSe, РАЗДЕЛЕННЫХ СЛОЯМИ SrTiO₃ В СВЕРХСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ SrTiO₃/FeSe/SrTiO₃ 17
- И. Г. Стамов.* ОБРАТНАЯ ВОДОРОДОПОДОБНАЯ СЕРИЯ В КРИСТАЛЛАХ: ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ 22
- К. Д. Ляхомская, М. К. Юрченко.* ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЯЗИ СВЕТОВОДОВ И КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В БЕСКОНЕЧНОМ МАССИВЕ СВЕТОВОДОВ 30
- Л. Ю. Надькин, К. Д. Ляхомская, О. В. Коровай.* ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ИМПУЛЬСА СВЕТА В СИСТЕМЕ ЭКСИТОНОВ В КВАНТОВЫХ ДОТАХ 41
- А. П. Зинган, О. Ф. Васильева, М. А. Обевзенко, Р. В. Пономаренко.* ДИНАМИКА СВЯЗЫВАНИЯ АТОМОВ ТРЕХ СОРТОВ БОЗЕ-КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ТОЧНОГО РЕЗОНАНСА 49
- В. И. Чукица, А. В. Воронов, В. С. Фещенко, В. Н. Чебан, В. В. Косюк.* ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ФОТОПРИЕМНИКА НА ОСНОВЕ СЛОЕВ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ 56

<i>Л. С. Николаева.</i> МНОГООБРАЗИЯ КОММУТАТИВНЫХ АЛГЕБР. СВОБОДНЫЕ АЛГЕБРЫ МНОГООБРАЗИЙ КОММУТАТИВНЫХ АЛГЕБР.....	63
<i>Н. Н. Дидурик, Н. Н. Малютина.</i> О КВАЗИГРУППАХ БОЛА И МУФАНГ	72
<i>Н. Н. Дидурик, Н. Н. Малютина, В. А. Щербаков.</i> КВАЗИГРУППЫ В КРИПТОЛОГИИ.....	79
<i>И. Г. Стамов.</i> АЛЕКСАНДР МОИСЕЕВИЧ ФРЕНК (к 95-летию со дня рождения)....	93

ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

<i>Г. В. Клинк, А. В. Димогло, А. С. Ставинский.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ТЕХНОЛОГИИ MZURI PRO-TIL	95
<i>А. С. Ставинский, Е. В. Юрченко, Г. В. Клинк, С. Ю. Косаченко.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ УПРОЧНЕННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА MZURI PRO-TIL 4T SELECT	103
<i>Е. В. Юрченко, О. Е. Юрченко.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ.....	110
<i>Е. В. Юрченко, В. И. Юрченко.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НИЗКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ.....	117
<i>А. Н. Котомчин, В. А. Зорин.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	126
<i>К. В. Гайдей, Д. А. Зайцев.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЭП ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕЙ СЕТИ МОЛДАВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ.....	135

<i>В. С. Анишаков, М. В. Киорсак.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	143
<i>Р. С. Григорьев, М. В. Киорсак, Н. Н. Туртурика.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ШЕСТИ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ДВУХЦЕПНОЙ ЛЭП	153
<i>В. А. Доскалов, Д. А. Зайцев.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОТРАНСФОРМАТОРНОГО ФАЗОРЕГУЛЯТОРА, ВЫПОЛНЕННОГО ПО СХЕМЕ «ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА» С РЕГУЛИРОВАНИЕМ В НЕЙТРАЛИ	159
<i>А. В. Григоращук, Д. Н. Калошин.</i> ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПЕРЕХОДА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–10 КВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 КВ	165
<i>В. Н. Радченко, Т. А. Федорова, Т. Ю. Баева.</i> СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В ПО УСЛОВИЯМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ	173
<i>Ф. А. Избаиш.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С СИСТЕМОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПИТАЕМОЙ ОТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБМОТКИ СТАТОРА	179
<i>А. Н. Щербан, И. В. Яковец, В. В. Минкин.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ЗАО «МОЛДАВСКАЯ ГРЭС»	185
<i>А. В. Кирсанова, А. А. Недоруб.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	194
<i>А. А. Капишук, Л. Ю. Надькин, М. В. Малахова.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-РЕСУРСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЗДАТЕЛЬСТВА ПГУ ИМ. Т. Г. ШЕВЧЕНКО	203
<i>Л. А. Тягульская, Е. С. Гарбузняк.</i> РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ОНЛАЙН-РАСПИСАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TELEGRAM-БОТА	210

<i>Ю. В. Балашова.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ: РОЛЬ SELENIUM В ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДАХ	217
<i>Е. Н. Аксенов, А. В. Деткова.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО КРУЖКА «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА» ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА	227
<i>А. А. Зув.</i> ВНЕДРЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭКЗАМЕНА	234
<i>В. Г. Звонкий, Ф. Ю. Бурменко.</i> КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ПРОДУКЦИИ АПК	242
<i>Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНОГО ПРОЦЕССА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАННОГО АГЕНТА	250

ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

<i>И. В. Васильев.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ СУЩНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	256
<i>Е. Н. Мироненко, Е. В. Павлин.</i> КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ	265
<i>Н. В. Зеленин.</i> ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ СУЖДЕНИЕ БУХГАЛТЕРА КАК ИНСТРУМЕНТ ВЫБОРА УЧЕТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОКАЗАНИИ КОНСАЛТИНГОВЫХ УСЛУГ	273
<i>Е. В. Павлин, Е. Н. Мироненко.</i> ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ	282

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ	287
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	306

Научно-методический журнал

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия: **Физико-математические и технические науки**

Редакторы: *Е. Ю. Кривошеева, В. В. Дабежа*
Компьютерная верстка *И. И. Головачук*
Переводчик *Н. А. Митиш*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.
Подписано в печать 20.12.2023. Формат 70×100/16.
Уч.-изд. л. 20. Усл. печ. л. 26,0. Заказ № 179.

Изд-во Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18.
Электронное издание