

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

«НАУКА. ОБОРОНА. БЕЗОПАСНОСТЬ-2018»

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор экономических наук, член-корреспондент РАН, РАН,
заместитель директора по кадровым вопросам
ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», Новосибирск
В. Г. Эдвабник

Доктор экономических наук, директор Института оптики
и оптических технологий СГУГиТ, г. Новосибирск
А. В. Шабурова

Доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой специальных устройств, инноватики
и метрологии СГУГиТ, Новосибирск
В. С. Айрапетян

Доктор технических наук, заведующий кафедрой автономных информационных
и управляющих систем факультета летательных аппаратов НГТУ, г. Новосибирск
В. Н. Легкий

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопас-
ность-2018» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 306 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса «Ин-
терэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции «Нау-
ка. Оборона. Безопасность-2018».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 614.18

© СГУГиТ, 2018

ВАРИАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИМИТАТОРОВ-АНАЛИЗАТОРОВ УСИЛИТЕЛЕЙ И АВТОГЕНЕРАТОРОВ СВЧ

Сергей Викторович Савелькаев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: sergei.savelkaev@yandex.ru

Владимир Анатольевич Литовченко

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, начальник учебной лаборатории кафедры разведки (и воздушно-десантной подготовки), тел. (383)332-50-45; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры метрологии и технологии оптического производства, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru

Рассмотрена вариационная методика оценки суммарной погрешности измерения имитаторов-анализаторов усилителей и автогенераторов СВЧ. Методика базируется на вариации инструментальных погрешностей анализатора по их доверительным интервалам, при условии того, что измеряемая и измеренная анализатором величины связаны между собой его математической моделью.

Ключевые слова: имитатор-анализатор, математическая модель, калибровка, суммарная погрешность измерения.

VARIATIONAL METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE TOTAL MERCHANT OF MEASUREMENT SIMULATOR-ANALYZER OF MICROWAVE AMPLIFIERS AND AUTO-GENERATORS

Sergei V. Savel'kayev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: sergei.savelkaev@yandex.ru

Vladimir A. Litovchenko

Novosibirsk Higher Military Command School, 49, Ivanova St., Novosibirsk, 630117, Russia, Head of the Laboratory, Department of Educational Intelligence (and Airborne Training), phone: (383)332-50-45; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Metrology and Optical Production Technology, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru

A variational methodology for estimating the total error in the measurement of simulators-analyzers of amplifiers and microwave self-oscillators is considered. The technique is based on the variation of instrumental errors of the analyzer according to their confidence intervals, provided that the values measured and measured by the analyzer are related to each other by its mathematical model.

Key words: simulator-analyzer, mathematical model, calibration, total measurement error.

Суть проблемы. Для оценки суммарной погрешности имитаторов-анализаторов усилителей и автогенераторов СВЧ (ИА) [1, 2] традиционно используют ряд Тейлора [3]. Основным недостатком такой оценки является громоздкость ее коэффициентов влияния, что существенно сказывается при большой неопределенности ИА по инструментальным погрешностям и нелинейности его математической модели, требующей учета коэффициентов влияния порядка выше второго, а также коэффициентов корреляции. Кроме того, ряд Тейлора не обеспечивает отдельную оценку среднеквадратического отклонения (СКО) и систематической погрешности (СП), вызванной нелинейностью математической модели ИА. Все это ограничивает применение такой оценки в инженерной практике.

В статье для оценки суммарной погрешности измерения АЦ использована вариационная методика [4]. В ее основу положена вариация инструментальных погрешностей ИА по их доверительным интервалам, при условии того, что измеряемая и измеренная ИА величины связаны между собой его математической моделью. Методика применима к ИА с нелинейной математической моделью и обеспечивает оценку как СКО, так и СП.

Математическая модель ИА.

Упрощенная структурная схема одного из измерительных каналов ИА приведена на рис. 1.

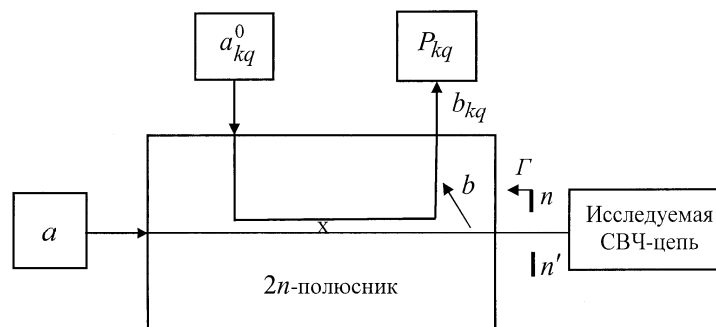


Рис. 1. Структурная схема ИА

Уравнение физического преобразования измеряемого комплексного коэффициента отражения (ККО) Γ в регистрируемые мощности P_{kq} имеет вид [1, 2]

$$P_{kq} = \frac{1}{2} |b_{kq}|^2 = E_q [1 + |\rho_q|^2 + 2|\rho_q| \cos(\varphi_p + \varphi_k)], \quad (1)$$

где $q = 1, 2, \dots, N$ и $k = 1, 2, 3$ – индексы состояний амплитуды $|a_q^0|$ и фазы φ_k^0 опорного сигнала a_{kq}^0 ; φ_k – сдвиг фазы φ_k^0 опорного сигнала a_{kq}^0 относительно фазы φ зондирующего сигнала a , который может быть выражен через его дискретное приращение θ_k

$$\varphi_k = \pm \sum_k \theta_k ; \quad (2)$$

$|\rho_q|$ и φ_q – модуль и фаза эквивалентного ККО

$$\rho_q = C_1 \frac{1+C_2\Gamma}{1+C_3\Gamma} \mu_q \quad (3)$$

измеряемого ККО Γ ; $C_1 = A_1 / A_2$, $C_2 = B_1 / A_1$ и $C_3 = B_2 / A_2$ – приведенные комплексные константы $2n$ -полюсника ИА; μ_q – относительная амплитуда

$$\mu_q = |a / a_q^0| = |a / a^0| 10^{\alpha_q / 20} \quad (4)$$

зондирующего a и опорного a_{kq}^0 сигналов; $|a / a^0|$ и α_q – начальное отношение амплитуд зондирующего a и опорного a_{kq}^0 сигналов и ослабление амплитуды $|a_q^0|$ опорного сигнала a_{kq}^0 , выбираемое при измерении ККО Γ ; E_q – амплитудный коэффициент, зависящий от мощности $P_q = |a_q^0|^2 / 2$ опорного сигнала a_{kq}^0 .

Согласно (4), (3) и (1) выбор ослабления α_q позволяет управлять динамическим диапазоном

$$\Delta = 10 \lg \frac{1+|\rho_q|^2 + 2|\rho_q|}{1+|\rho_q|^2 - 2|\rho_q|} = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (5)$$

стоячей волны на выходном плече $2n$ -полюсника ИА с ее минимумом и максимумом $P_{\min, \max}$ при измерении ККО Γ , тогда как согласно (2) и (1) выбор θ_k позволяет управлять дискретным приращением ее фазового сдвига φ_k .

В работе [3] показано, что ослабление α_q (4) на q -м поддиапазоне измерения должно быть выбрано так, чтобы для меры с модулем ККО $|W_q| = (|\Gamma_{\min q}| + |\Gamma_{\max q}|) / 2 \in \{1; 0,7; 0,5; 0,33; 0,18\}$ динамический диапазон Δ (5) составлял $\Delta \cong \Delta_0 = 10 \partial B$, где $|\Gamma_{\min q, \max q}| = \{[1; 0,8], [0,8; 0,6], [0,6; 0,4], [0,4; 0,25], [0,25; 0,13]\}$ – граничные значения, разбивающие модуль $0 < |\Gamma| \leq 1$ измеряемого ККО Γ на $N = 5$ поддиапазонов измерения.

Граничные значения $|\Gamma_{\min q, \max q}|$ должны быть выбраны так, чтобы для них на каждом из $q = 1, 2, \dots, N$ поддиапазонов измерения динамический диапазон Δ (5) составлял $\Delta \cong \Delta_{\min, \max} = 6; 14 \partial B$.

Выполнение двухстороннего амплитудного ограничения $6 \leq \Delta \leq 14 \partial B$ по динамическому диапазону Δ (5) стоячей волны, а также фазового условия

$\theta_{2,3} = \pm 2\pi/3$ по дискретному приращению θ_k ее фазового сдвига φ_k (2) при $k = 2, 3$ обеспечивает минимальную погрешность $\Delta_{\Gamma}^p = \min \Delta_{\Gamma}^p$ измерения ККО Γ .

В случае детектирования мощности P_{kq} (1) должны быть преобразованы в регистрируемые напряжения

$$U_{kq} = f(b_r, U_{kq}) \sqrt{2P_{kq}}, \quad (6)$$

где b_r и $r = 0, 1, 2, \dots$ – члены ряда $f(b_r, U_{kq}) = \sum_r b_r U_{kq}^r$ детектирования и их текущий индекс.

Обратное решение (1) относительно эквивалентного ККО ρ_q позволяет получить систему измерительных уравнений ИА [3]

$$x_1 + a_{k2}x_2 + a_{k3}x_3 = U_{kq}; k=1, 2, 3, \quad (7)$$

где $a_{k2} = 2 \cos \varphi_k, a_{k3} = -2 \sin \varphi_k$.

Решение системы уравнений (7) относительно переменных x_k для $k = 1, 2, 3$ регистрируемых напряжений U_{kq} (6) при $q = \text{const}$ позволяет определить модуль $|\rho_q|$ и фазу φ_ρ эквивалентного ККО ρ_q (3) как:

$$|\rho_q| = 1/2\beta \pm \sqrt{1/4\beta^2 - 1}, \quad \varphi_\rho = \arctg(x_3/x_2), \quad (8)$$

$$\beta = \sqrt{(x_2/x_1)^2 + (x_3/x_1)^2}.$$

По эквивалентному ККО ρ_q (8) измеренный ККО Γ^* можно определить из (3) в виде

$$\Gamma^* = \frac{G_1 \tilde{\mu}_q - \tilde{\rho}_q}{G_3 \tilde{\rho}_q - G_2 \tilde{\mu}_q}, \quad (9)$$

где $\tilde{\rho}_q = \rho_q / \rho_{14}$ и ρ_{14} – нормированный эквивалентный ККО измеряемого ККО Γ и нормирующий эквивалентный ККО, измеряемый при калибровке АЦ короткозамкнутой коаксиальной мерой с ККО $W_4 = -1$ на $q = 1$ поддиапазоне измерения; $\tilde{\mu}_q$ – нормированная относительная амплитуда

$$\tilde{\mu}_q = \mu_q / \mu_1 = 10^{(\alpha_q - \alpha_1)/20} \quad (10)$$

на q -м поддиапазоне измерения; μ_1 и α_1 – относительная амплитуда (4) и начальное ослабление амплитуды $|a_q^0|$ опорного сигнала a_{kq}^0 на $q = 1$ поддиапазоне измерения; $G_1 = (1 - C_3)/(1 - C_2)$, $G_2 = C_2(1 - C_3)/(1 - C_2)$ и $G_3 = C_3$ – нормиро-

ванные комплексные константы $2n$ -полюсника ИА, подлежащие определению при его калибровке.

Уравнения и выражения (1), (2), (6) – (10) образуют математическую модель ИА.

Калибровка ИА.

Так как на $q = 1$ поддиапазоне измерения нормированная относительная амплитуда $\tilde{\mu}_q = 1$ (10), то выражение (9) при $\Gamma = W_m$ было преобразовано в систему уравнений калибровки вида [1, 2]

$$G_1 + a_{m2}G_2 + a_{m3}G_3 = a_{m4}, m=1, 2, 3, \quad (11)$$

где $a_{m2} = -W_m$; $a_{m3} = -\tilde{\rho}_{1m}W_m$; $a_{m4} = \tilde{\rho}_{1m}$ и $\tilde{\rho}_{1m} = \rho_{1m} / \rho_{14}$ и ρ_{14} – нормированный эквивалентный ККО измеряемого ККО W_m подвижной короткозамкнутой меры для $m = 1, 2, 3$ состояний ее фазы

$$\varphi_m = 2\beta l_m \pm \pi, \quad (12)$$

и нормирующий эквивалентный ККО измеряемого ККО $W_4 = -1$ этой меры при $m = 4$; $\beta = 2\pi / \lambda$ и $l_m \leq \lambda / 4$ – фазовая постоянная и фазовая переменная шкалы этой меры; λ – длина стоячей волны.

Решение системы уравнений (11) позволяет определить комплексные константы G_1 , G_2 и G_3 $2n$ -полюсника ИА.

Уравнения и выражения (1), (2), (6) – (8), (11) образуют математическую модель калибровки ИА.

Методика оценки суммарной погрешности измерения ИА.

Для оценки Δ_{Γ}^p суммарной погрешности $\Delta\Gamma = \Gamma^* - \Gamma$ измерения ККО Γ на основе вариации инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}] = \{\Delta A_i, \Delta B_i, \Delta C, \Delta\theta_k, \Delta\alpha_q, \Delta b_r; i=1,2; k=1,2,3; q=1,2,...,5; r=0,1,2\}$ уравнения физического преобразования (1) – (4), (6), также инструментальных погрешностей $[\Delta\chi_{\kappa}] = \{U_{kqm}; k=1,2,3; q=1,2,...,5; m=1,2,3,4\}$ и $[\Delta\chi_{\Pi}] = \{\Delta U_{kq}; k=1,2,3; q=1,2,...,5\}$ измерителя напряжений $U_{kqm,kq}$ (6) при калибровке ИА и измерении ККО Γ была принята оценка вида [4 – 18]

$$\Delta_{\Gamma}^p = \Delta_{\kappa}^p + \Delta_{\Pi}^p, \quad (13)$$

где $p = p_1 p_2 \dots p_n$ – ее доверительная вероятность в виде произведения $p_1 p_2 \dots p_n$ доверительных вероятностей инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$, $[\Delta\chi_{\kappa}]$ и $[\Delta\chi_{\Pi}]$; Δ_{κ}^p и Δ_{Π}^p – составляющие:

$$\Delta_{\kappa}^p = \max_{g=1,2,...,n_{\kappa}} (\Gamma_{\kappa}^{*g} - \Gamma), \Delta_{\Pi}^p = \max_{g=1,2,...,n_{\Pi}} (\Gamma_{\Pi}^{*g} - \Gamma), \quad (14)$$

первая из которых представляет собой погрешность измерения ККО Γ , обусловленную погрешностями $[\Delta\zeta_k] = \{\Delta G_j; j=1,2,3\}$ калибровки ИА (11) из-за инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_k]$ при его калибровке, а вторая – погрешность измерения ККО Γ , обусловленная инструментальными погрешностями $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_{\Pi}]$ при измерении ККО Γ , как показано на рис. 2.

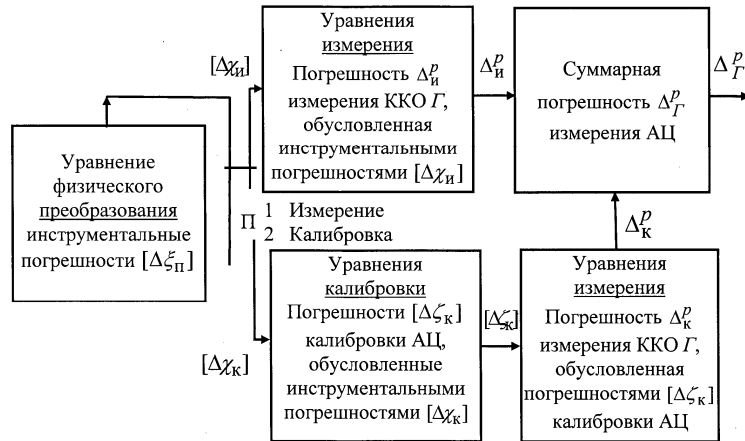


Рис. 2. Суммарная погрешность $\Delta \Gamma^P$ измерения ККО Γ

Измеренные ККО Γ_k^{*g} (14) были определены посредством моделирования процедуры измерения (1), (2), (6) – (10) известного измеряемого ККО Γ с модулем $0 < |\Gamma| \leq 1$. При моделировании этой процедуры случайным инструментальным факторам $[\xi_{\Pi}]$ и $[\chi_{\Pi}]$ присваивались номинальные значения $[\xi_{\Pi}] = [\xi_{\Pi}^0]$ и $[\chi_{\Pi}] = [\chi_{\Pi}^0]$, тогда как при математическом моделировании процедуры калибровки ИА (1), (2), (6) – (8), (11) для каждого из $g = 1, 2, \dots, n_B$ измеряемого ККО Γ осуществлялась их вариация:

$$[\xi_{\Pi}] = [\xi_{\Pi}^0] + [\Delta\xi_{\Pi}]_v, [\chi_k] = [\chi_k^0] + [\Delta\chi_k]_v \quad (15)$$

относительно их номинальных значений $[\xi_{\Pi}^0]$ и $[\chi_k^0]$ по симметричному допуску $[\Delta\xi_{\Pi}]_v = \{-[\Delta\xi_{\Pi}]/2; 0; +[\Delta\xi_{\Pi}]/2\}$ и $[\Delta\chi_k]_v = \{-[\Delta\chi_k]/2; 0; +[\Delta\chi_k]/2\}$, $v = 1, 2, 3$ доверительных интервалов инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_k]$.

И наоборот, при определении измеренных ККО Γ_{Π}^{*g} (14) случайные инструментальные факторы $[\xi_{\Pi}]$ и $[\chi_{\Pi}]$ варьировались

$$[\xi_{\Pi}] = [\xi_{\Pi}^0] + [\Delta\xi_{\Pi}]_v, [\chi_{\Pi}] = [\chi_{\Pi}^0] + [\Delta\chi_{\Pi}]_v \quad (16)$$

относительно их номинальных значений $[\xi_{\Pi}^0]$ и $[\chi_{\Pi}^0]$ по симметричному допуску $[\Delta\xi_{\Pi}]_V = \{-[\Delta\xi_{\Pi}]/2; 0; +[\Delta\xi_{\Pi}]/2\}$ и $[\Delta\chi_{\Pi}]_V = \{-[\Delta\chi_{\Pi}]/2; 0; +[\Delta\chi_{\Pi}]/2\}$, $V = 1, 2, 3$ доверительных интервалов инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_{\Pi}]$, тогда как при математическом моделировании процедуры калибровки АЦ им присваивались номинальные значения $[\xi_{\Pi}] = [\xi_{\Pi}^0]$ и $[\chi_{\Pi}] = [\chi_{\Pi}^0]$.

При необходимости также можно исследовать зависимость составляющей Δ_K^P суммарной погрешности Δ_{Γ}^P (13) измерения ККО Γ от погрешности аттестации калибровочных мер с ККО W_m . Для этого необходимо осуществить вариацию погрешностей аттестации по их доверительным интервалам.

Общее число n_B вариаций (15) и (16) случайных инструментальных факторов $[\xi_{\Pi}]$ и $[\chi_{\Pi}]$ на q -м поддиапазоне измерения определялось по формуле

$$n_B = n_K + n_{\Pi}, \quad (17)$$

где n_K и n_{Π} – количество вариаций при калибровке АЦ и измерении ККО Γ

$$n_K = C_1 n_1, \quad n_{\Pi} = C_1 C_2 n_1; \quad (18)$$

$n_1 = 3^{n_{\Phi}}$ и $n_{\Phi} = 21$ – число вариаций случайных инструментальных факторов $[\Delta\xi_{\Pi}] = \{\Delta A_i, \Delta B_i, \Delta C, \Delta\theta_k, \Delta\alpha_q, \Delta b_r; i=1,2; k=1,2,3; q=1,2,\dots,5; r=0,1,2\}$ и общее количество этих факторов, за исключением случайных инструментальных факторов $[\chi_{\Pi}]$ измерителя напряжений, вариация которого учтена в (18) множителем $C_1 = 3$; $C_2 = 4$ – общее количество измеряемых ККО W_m при калибровке АЦ (11).

Оценка среднеквадратического отклонения (СКО) $\sigma_{K,\Pi}^P$ и систематической погрешности (СП) $h_{K,\Pi}^P$ осуществлялась по формулам:

$$\sigma_{K,\Pi}^P = \sqrt{\sum_{g=1}^{n_B} (\Gamma_{K,\Pi}^{*g} - \bar{\Gamma})^2}, \quad h_{K,\Pi}^P = \bar{\Gamma} - \Gamma, \quad \bar{\Gamma} = \frac{1}{n_B} \sum_{g=1}^{n_B} \Gamma_{K,\Pi}^{*g}. \quad (18)$$

В случае, когда в качестве инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_{\Pi}]$ принимаются их предельные отклонения оценки Δ_{Γ}^P (13) и $\sigma_{K,\Pi}^P$, $h_{K,\Pi}^P$ (18) переходят в предельные.

Вариация (15) и (16) случайных инструментальных факторов $[\xi_{\Pi}]$ и $[\chi_{\Pi}]$ может быть осуществлена методом Монте-Карло.

Графики оцененной предельной суммарной погрешности Δ_{Γ}^1 измерения ККО Γ коаксиальных нагрузок с модулем $0 < |\Gamma| \leq 1$ в диапазоне частот 4 – 18

$\Gamma\Gamma\zeta$ представлены на рис. 3, *a* и *б*: I – без адаптации ИА $0 \leq \Delta \leq \infty$, II – при адаптации ИА сверху $0 \leq \Delta \leq 14$ дБ и III – при безусловной адаптации ИА $6 \leq \Delta \leq 14$ дБ.

Уровень инструментальных погрешностей $[\Delta\xi_{\Pi}]$ и $[\Delta\chi_{\kappa,и}]$ по предельным отклонениям их доверительных интервалов составлял 1% по модулю и 1^0 по фазе для комплексных величин и 1% для скалярных.

Общее количество $n_{\text{в}}$ (17) вариаций случайных инструментальных факторов $[\xi_{\Pi}]$ и $[\chi_{\kappa,и}]$ составило $n_{\text{в}} = 15 \times 3^{21}$.

Согласно графикам приведенным на рис. 3, *a* и *б* важным свойством АЦ при его безусловной адаптации $6 \leq \Delta \leq 14$ дБ является то, что на всех $q = 1, 2, \dots, 5$ поддиапазонах измерения он обеспечивает предельную суммарную погрешность Δ_{Γ}^1 измерения ККО Γ нагрузок с модулем $0,13 \leq |\Gamma| \leq 1$ не превышающую $|\Delta_{\Gamma}^1| \leq 0,07 |\Gamma|$ по модулю и $\Delta\phi_{\Gamma}^1 \leq 4^0$ по фазе.

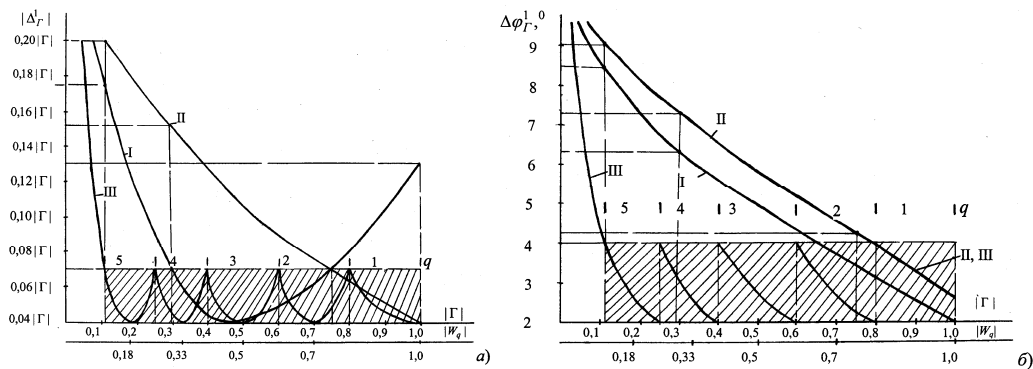


Рис. 3. Модуль $|\Delta_{\Gamma}^1|$ (*a*) и фаза $\Delta\phi_{\Gamma}^1$ (*б*) предельной суммарной погрешности Δ_{Γ}^1 измерения ККО Γ

Для повышения точности измерения ККО нагрузок с модулем $|\Gamma| \leq 0,13$ необходимо увеличение количества N поддиапазонов измерения.

Сличение результатов оценки предельной суммарной погрешности Δ_{Γ}^1 измерения ККО Γ предложенной методикой с результатами ее экспериментальной оценки было осуществлено на основе измерения ККО Γ коаксиальных нагрузок с модулем $0 < |\Gamma| \leq 1$ в диапазоне частот 4–18 ГГц. Нагрузки были аттестованы ФГУП СНИИМ с погрешностью $|\Delta_{\Gamma}| \leq 0,024 |\Gamma|$ по модулю и $\Delta\phi_{\Gamma} \leq 1^0$ по фазе. Расхождение оценок составило не более $|\Delta_{\Gamma}^1| \leq 0,05 |\Gamma|$ по модулю и $\Delta\phi_{\Gamma}^1 \leq 5^0$ по фазе, тогда как на основе ряда Тейлора с членами порядка не выше второго оно составляло $|\Delta_{\Gamma}^1| \leq 0,15 |\Gamma|$ и $\Delta\phi_{\Gamma}^1 \leq 15^0$.

Заключение

Таким образом, рассмотрена вариационная методика оценки суммарной погрешности ИА, которая позволяет эффективно оценить эту погрешность при любой неопределенности математической модели ИА по инструментальным погрешностям и любом характере ее нелинейности. Методика позволяет оценить суммарную погрешность измерения ИА как по СКО, так и СП и может найти широкое применение при разработке ИА, а именно при оптимизации процедуры измерения ККО Γ и калибровки ИА, а также при выборе его метрологических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савелькаев С. В. Теоретические основы построения имитатора-анализатора активных СВЧ-цепей [Текст] / С. В. Савелькаев, С. В. Ромасько, В. А. Литовченко, Н. В. Заржецкая // М.: Изд. Радиотехника. Успехи современной радиотехники. – 2017. – № 2. – С. 50 – 61.
2. Савелькаев С. В. Теоретические основы построения имитатора-анализатора усилителей и автогенераторов СВЧ [Текст] / С. В. Савелькаев, С. В. Ромасько, В. А. Литовченко, Н. В. Заржецкая // Л.: Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2017. – Вып. 1. – С. 63 – 73.
3. Петров В. П., Рясный Ю. В. О некоторых статистических свойствах и их применения к оценке точности функционирования радиоустройств и систем // Труды третьей международной НТК. – Новосибирск, 1996. – Т.9. – С. 17 – 20.
4. Савелькаев С. В. Вариационная методика оценки суммарной погрешности измерения анализаторов СВЧ-цепей / Измерительная техника. – 2008. – № 12. – С. 43 – 46.
5. Теоретические основы построения имитатора-анализатора активных СВЧ-цепей / С. В. Савелькаев, С. В. Ромасько, В. А. Литовченко, Н. В. Заржецкая // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 175–188.
6. Савелькаев С. В., Заржецкая Н. В. Расчет и проектирование автогенераторов СВЧ в пространстве S - параметров // Известия высших заведений России. Радиоэлектроника. – 2016. – Вып. 1. – С. 41–53.
7. Полупроводниковые входные устройства СВЧ / Под редакцией В. С. Эткина. – М.: Сов. Радио, 1975, Т. 1. – 344 с.
8. Савелькаев С. В., Ромасько С. В., Литовченко В. А. Математическая модель имитатора-анализатора усилителей и автогенераторов СВЧ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 131–137.
9. Савелькаев С. В., Айрапетян В. С., Литовченко В. А. Методика расчета автогенератора СВЧ в пространстве S-параметров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 164–171.
10. Литовченко В. А. Методы анализа устойчивости активных СВЧ - цепей и измерения их S-параметров // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (20). – С. 90–100.
11. Савелькаев С. В., Айрапетян В.С., Литовченко В. А. Трехсекционная дрейфово-диффузионная математическая модель полевого транзистора с барьером шоттки // Вестник НГУ. Серия: Физика твердого тела, полупроводников наноструктур. – 2015. – Том 10, № 1. – С. 57–62.
12. Савелькаев С. В., Литовченко В. А. Способ калибровки полоскового контактного устройства // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 37–41.

13. Савелькаев С. В., Литовченко В. А. Методика расчета автогенератора СВЧ, в пространстве S-параметров // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2016. – № 8. – С. 36–46.
14. Метод анализа устойчивости активных СВЧ-цепей / С. В. Савелькаев, С. В. Ромасько, В. А. Литовченко, Н. В. Заржецкая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2016» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 224–228.
15. Анализ высокоточных методов измерения параметров отражения в коаксиальных трактах / С. В. Владимирова, Ю. А. Пальчун [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 856–862.
16. Владимирова С. В., Пальчун Ю. А., Колпаков А. В. Использование интерполирующих и экстраполирующих функций для определения межповерочного интервала коаксиальных мер // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 5, ч. 2. – С. 127–129.
17. Владимирова С. В., Пальчун Ю. А. Алгоритмические методы определения функции поправки по модулю при измерении параметров отражения // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 5, ч. 2. – С. 261–263.
18. Ромасько С. В. Методика определения коэффициентов интерполяции и экстраполяции СВЧ мер ослабления по модулю коэффициента отражения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 50–52.

© С. В. Савелькаев, В. А. Литовченко, 2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ТРИНИТРОТОЛУОЛА

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: V.S.Ayrapetyan@ssga.ru

Татьяна Валерьевна Маганакова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, тел. (913)795-71-01, e-mail: Maganakova88@mail.ru

Смоделирован спектр высокого разрешения и получены информационные интенсивности спектральных полос спектра поглощения тринитротолуола (TNT). Проведен сравнительный анализ тринитротолуола с молекулой воды. Рассмотрен метод дифференциального поглощения и рассеяния для дистанционного определения тринитротолуола.

Ключевые слова: тринитротолуол, дифференциальное поглощение и рассеяние, спектр поглощения, спектр высокого разрешения.

MODELING OF SPECTRUM OF HIGH-RESOLUTION AND RECEIVING OF INFORMATION INTENSITY OF VIBRATIONAL-ROTATIONAL ABSORPTION SPECTRUM OF TRINITROTOLUENE

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: V.S.Ayrapetyan@ssga.ru

Tatyana V. Maganacova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, phone: (913)795-71-01, e-mail: Maganakova88@mail.ru

A high-resolution spectrum was modeled and information intensities of the spectral bands of the absorption spectrum of trinitrotoluene (TNT) were obtained. A comparative analysis of trinitrotoluene with a water molecule was carried out. A method of differential absorption and scattering for the remote determination of trinitrotoluene is considered.

Key words: trinitrotoluene, differential absorption and scattering, absorption spectrum, high-resolution spectrum.

Дистанционный контроль состояния атмосферы и детектирование опасных техногенных составляющих, взрывчатых, наркотических и отравляющих веществ в настоящее время является весьма актуальным. Опасные отравляющие, наркотические и взрывчатые вещества, попадая в окружающую среду, могут создавать угрозу массового поражения людей или наносить ущерб природе. Для их идентификации разрабатываются и создаются различные лидарные сис-

темы с применением спектроскопических методов для дистанционного лазерного зондирования [1-10].

Наибольший интерес к ИК-диапазону, именно в нем находятся основные окна прозрачности атмосферы. В УФ и видимом диапазонах спектры поглощения характеризуются наличием широких полос без каких-либо характерных особенностей. В то же время в средней и ближней ИК области, от 2500 см^{-1} (2,5 мкм) до 1100 см^{-1} (5,7 мкм), колебательно-вращательные спектры поглощения молекул обладают высокой специфичностью, определяемой их симметрией и химическим составом, что позволяет с достаточной точностью относить отдельные спектральные линии к вполне определенному химическому соединению. Именно в этой области спектра находятся фундаментальные колебательно-вращательные переходы молекул, идентификация которых возможна с помощью разработанной ИК-параметрической лазерной системы с плавной перестройкой частоты излучения [1-10, 14-16].

Цель работы состоит в получении информативных спектральных линий колебательно-вращательного спектра поглощения тринитротолуола для идентификации их в открытой атмосфере.

Тринитротолуол (тротил, TNT) – известное бризантное взрывчатое вещество. В работе [2] был проведен спектроскопический анализ и квантово-химический расчет гибридными функционалами B3LYP и базисным набором 3-21G в компьютерной программе GaussView. Был получен спектр поглощения и значения частот и интенсивностей колебательно-вращательных переходов молекулы. Спектр поглощения показал, что в диапазоне от 1250 до 1500 см^{-1} молекула TNT обладает высокой специфичностью.

Для поиска информативных спектральных линий для тринитротолуола был получен и смоделирован спектр высокого разрешения молекулы воды с заданными параметрами и получена функция поглощения в информационной системе «Спектроскопия атмосферных газов» (SPECTRA) [10], которая использует HITRAN и GEISA. Для моделирования молекулы воды (H_2O) в диапазоне волновых чисел от 1000 до 2000 см^{-1} были выбраны следующие параметры: температура $T = 296\text{ К}$, давление $p = 1\text{ атм.}$, шаг вычислений 1 см^{-1} .

Пары воды в открытой атмосфере в ИК-диапазоне обладают высоким поглощением и перекрывают большинство спектральных линий поглощения других веществ. Для поиска информативных спектральных линий тринитротолуола были построены графики двух функций поглощения, которые приведены ниже, на рис. 1.

На рис. 1 приведены смоделированные спектры поглощения молекулы воды (рис. 1, б) и тринитротолуола (TNT) (рис. 1, а). Максимум интенсивности молекулы TNT совпадает с молекулой воды и скорее всего, будет невозможна для идентификации в атмосфере. Остальные же спектральные линии более информативны в диапазоне от 4 до 5 мкм. Отличаются колебания NO группы молекулы, также характерные колебания C-H связей и кольца, включая целый набор колебаний (изгибное, маятниковое, ножничное и др.).

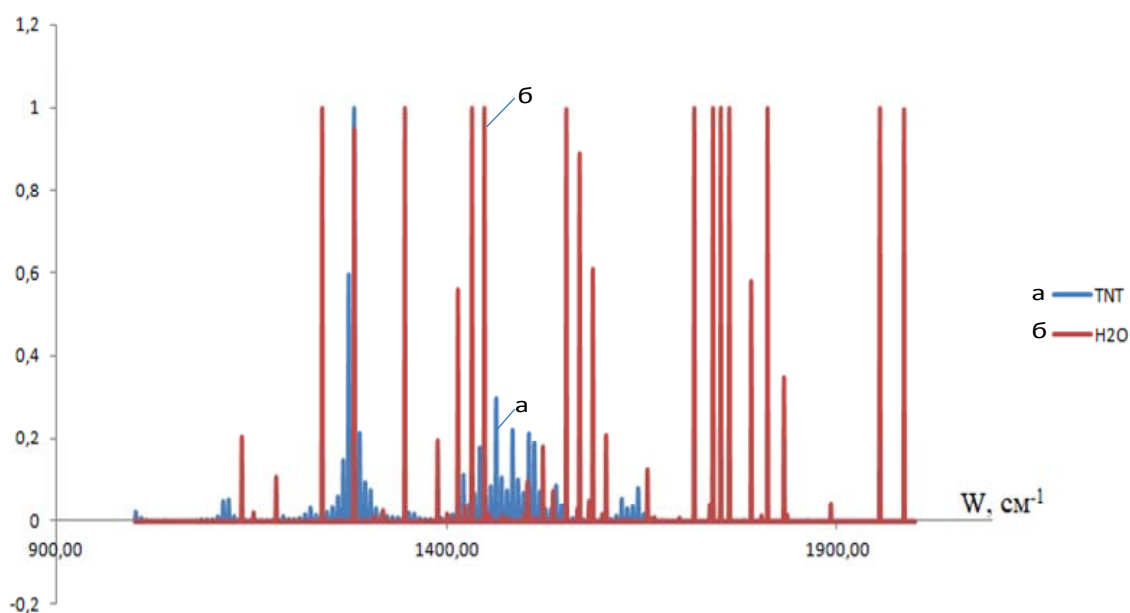


Рис. 1. Графики функции поглощения молекул TNT и H₂O

Для идентификации молекулы необходима установка с плавной перестройкой частоты излучения с параметрическим генератором света (ПГС) и использованием нелинейного кристалла в нужном диапазоне.

В работе [6] показано применение ПГС на основе нелинейного кристалла HGS (тиогаллата ртути) и обеспечение плавной перестройки длины волны в спектральном диапазоне от 4,2 до 10,8 мкм. В 2016 году были проведены эксперименты и получены спектры поглощения газовых смесей муравьиной кислоты с азотом и аммиака с азотом. Изучение и исследования нелинейного кристалла HGS продолжаются, но применение его в диапазоне длин волн от 4,2 до 10,8 мкм для идентификации веществ вполне возможно.

Метод дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР) обладает наилучшей чувствительностью при зондировании определенных составляющих с больших расстояний [1-3, 7-9, 15,16].

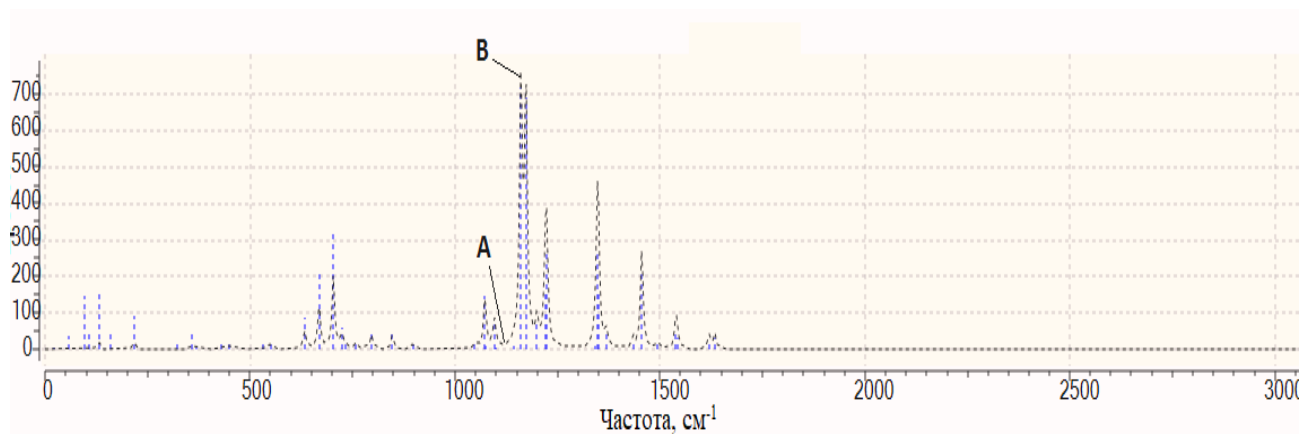


Рис. 2. Теоретический ИК-спектр TNT в диапазоне от 500 до 3000 см⁻¹

Метод ДПР при зондировании в атмосфере заключается в использовании двух длин волн. Посредством плавной перестройки длины волны, лазерный импульс, проходя через вещество, устанавливается на максимуме линии поглощения в точке В, затем, в крыле этой линии в точке А (Рис.2). Отношение сигналов на двух длинах волн позволяет определить состав и идентифицировать вещества в открытой атмосфере.

Сравнительный график рисунка 1 показывает, что молекула TNT обладает высокой специфичностью в диапазоне от 1250 до 1500 см⁻¹, что в свою очередь для обнаружения и детектирования применяется метод дифференциального поглощения и рассеяния, на основе параметрического лазерного комплекса с плавной перестройкой частоты излучения [1-3, 7-9, 15,16].

Проведенный анализ показывает возможность идентификации и дистанционного детектирования опасных техногенных составляющих, взрывчатых, наркотических и отравляющих веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Дистанционное измерение параметров взрывчатых веществ методом лазерной спектроскопии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 88–93.
2. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Спектрохимические особенности тринитротолуола в широкой области частот // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 63–67.
3. Спектрохимические особенности некоторых бризантных взрывчатых веществ в парообразном состоянии / Набиев Ш.Ш., Ставровский Д.Б., Палкина Л.А., Збарский В.Л., Юдин Н.В., Голубева Е.Н., Вакс В.Л., Домрачева Е.Г., Собакинская Е.А., Черняева М.Б. // Оптика атмосферы и океана, 2013, 26 №4 – С. 273-285.
4. Скворцов Л.А. Лазерные методы обнаружения следов взрывчатых веществ на поверхностях удаленных объектов (обзор) // Квантовая электроника, 42, №1, 2012 – Москва. – 1 – 11 С.
5. Скворцов Л.А. Дистанционное (Standoff) обнаружение скрытых взрывчатых веществ, холодного и огнестрельного оружия с помощью методов импульсной терагерцовой спектроскопии и активного формирования спектральных изображений (обзор) // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 18, №5 (сентябрь-октябрь 2014). – Москва. – 653-678С.
6. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Костюкова Н.Ю., Бойко А.А., Зенов К.Г., Пустовалова Р.В. Комбинированный параметрический генератор света с непрерывной перестройкой частоты излучения в спектральном диапазоне 2,5-10,8 мкм, Квантовая электроника, 47:1 (2017), 14–19.
7. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Обнаружение и измерение параметров наркотических веществ с помощью перестраиваемого ИК-лазера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 199–204.
8. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Лазерное зондирование в задаче обнаружения и измерения параметров наркотических веществ // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 40–46.

9. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Расчет концентрации наркотических веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 141–147.
10. Бобровников С.М., Матвиенко Г.Г., Романовский О.А., Сериков И.Б., Суханов А.Я. Лидарный спектроскопический газоанализ атмосферы. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. – 508 с.
11. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование атмосферы. - М.: Мир, 1987. – 548 с.
12. Ахманов, С.А. Физическая оптика [Текст]: учебник 2-е издание / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин – М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 656с.
13. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. - М.: Физматгиз, 1962. – 892 с.
14. Кабанов М.В., Андреев Ю.М., Гейко П.П. Мониторинг эмиссии антропогенного и природного метана. Докл. II Международной конференции по сокращению эмиссии метана, Новосибирск, 2000. – 800 с.
15. Ayrapetian V.S. IRLidarbased on OPO/ A.V. Hakobyan, G.M. Apresyan, E.M. Poghosyan, A.H. Sahakyan, K.A. Sargsyan, T.K. Sargsyan // SPIE. 2006. v.6160, pp.708 – 713
16. Айрапетян В.С. Вне резонаторная параметрическая генерация с плавной и (или) дискретной перестройкой частоты излучения// Вестник НГУ сер. Физика.- 2009, №3.-С.20 – 24.
17. Rothman L.S., Gamache R.R., Tipping R.N. e.a. The HITRAN Molecular Database: edition of 1991 and 1992, JQSRT. 1992. v.48, pp.469 – 507.

© В. С. Айрапетян, Т. В. Маганакова, 2018

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Ярослав Васильевич Тюрин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент кафедры специальное машиностроение, тел. (922)173-10-43, e-mail: mr.trojan@mail.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Татьяна Евгеньевна Заводова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, аспирант, зав. лабораторией кафедры специального машиностроения, тел. (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

Софья Федоровна Дубинина

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Марина Юрьевна Семашко

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, ул. Ленина, 76, директор НОЦ аэрокосмические технологии, тел. (351) 267-99-00, e-mail: info@susu.ru

Разработан и проанализирован ряд вариантов конструкций радиопрозрачных боеприпасов (БП) с заменой материалов корпуса на композитные материалы. Проанализированы прочностные характеристики радиопрозрачных боеприпасов на основе решения задач внутренней и внешней баллистики в двумерной и пространственной постановке.

Ключевые слова: радиопрозрачные боеприпасы, композитные материалы.

DEVELOPMENT OF ADVANCED DESIGNS OF RADIO TRANSPARENT AMMUNITION

Yaroslav V. Tyurin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Student, Department of Special engineering, phone: (922)173-10-43, e-mail: mr.trojan@mail.ru

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special Engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Tatiana E. Zavodova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D. Student, Head of Laboratory of Department of Special Engineering, phone: (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

Sofia F. Dubinina

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, phone: (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Maria Yu. Semashko

South Ural State University, 76, Lenina St., Chelyabinsk, 454080, Russia, Director of the Scientific and Educational Center of Aerospace Technologies, phone: (351)267-99-00, e-mail: info@susu.ru

A number of variants of designs of radio-transparent ammunition were developed and analyzed with replacement of the shell materials with composite materials. Strength characteristics of radio-transparent ammunition are analyzed by setting up two-dimensional and three-dimensional problems of internal and external ballistics.

Key words: radio-transparent ammunition, polymeric materials.

Обеспечение военной безопасности всегда было и остается важной задачей любого государства. Ее решение в современных условиях все больше зависит от научно-технического уровня и качества вооружений, требует непрерывного совершенствования техники и технологии. Открытия и технологические прорывы, совершенные в военно-технической отрасли, привели к созданию самых разнообразных видов вооружения, средств поражения и защиты, как для вооруженных сил, так и для других силовых структур.

Рассмотрим подробнее одну из систем активной защиты Iron Curtain (Железный занавес) - система активной защиты (APS), на основе - взрывчатого реакционного материала направленного действия (Dense Inert Metal Explosive DIME), содержащего вольфрамовые частицы, имеющего относительно небольшой, но эффективный радиус взрыва (рис. 1). Система защиты, состоит из модулей, разнесенных вокруг машины, каждый модуль имеет собственную радиолокационную станцию (РЛС) обнаружения и устройства взрывного противодействия, способных противостоять многим из наиболее сложных угроз бронированной машине.



Рис. 1. Система активной защиты Iron Curtain

Согласно анализа современных средств защиты, было выявлено, что существующие боеприпасы, на данный момент никак не защищены от комплексов РЛС. С целью защиты от комплексов РЛС контрбатарейной борьбы ведутся исследования, направленные на создание и оценку конструкций радиопрозрачных боеприпасов нового поколения, содержащих готовые поражающие элементы (ГПЭ).

При разработке требований к конструкции боеприпаса следует понимать, что его корпус, поражающие элементы и взрывчатое вещество должны обладать максимальными радиопрозрачными свойствами. Для обеспечения радиопрозрачности боеприпасов необходимо использование композиционных материалов. Подходящие композиционные материалы: базальтовое волокно, стекловолокно, углеродное волокно. Исходя из анализа трех видов композиционных материалов (табл. 1), лучшим по качествам является базальтовое волокно, так как оно имеет наибольшую температуру плавления и прочность. Так же производство базальтового непрерывного волокна значительно дешевле других рассматриваемых материалов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика волокон

Характеристики	Углеволокно	Стекловолокно	БНВ
Предел прочности при растяжении, ГПа	3,5	4,6	5,5
Модуль упругости при растяжении, ГПа	400	86	200
Плотность, 103·кг/м ³	1,9	2,5	2,66
Температуростойкость, °С	600-700	500	800

«Южно-Уральским государственным университетом» был предложен вариант конструкции БП. Конструкция состоит из корпуса, изготовленного из стекловолокна или базальтового непрерывного волокна или углеволокна.

В корпус вкладывается рубашка, состоящая из шариков, изготовленных из алюмооксидной нанокерамики с наполнением компаундной смолы и стандартного взрывателя, выполненного в металлической оболочке.

Анализ положения ЦМ такой конструкции показывает его смещение в сторону ГЧ за счет наличия в ней взрывателя в металлической оболочке, что может существенно повлиять на стабилизацию снаряда на полете. Поэтому в качестве первого шага модернизации, разработанной конструкции было предложено применить радиовзрыватель модернизированной конструкции, с заменой металлического корпуса на пластиковый. Но при этом все его элементы разместить в пластиковом корпусе. В этом случае, расстояние между ЦМ и ЦД увеличится, ЦМ сместится ближе к зоне ВП, что должно сказаться на улучшении стабилизации подобного БП (рис. 2).

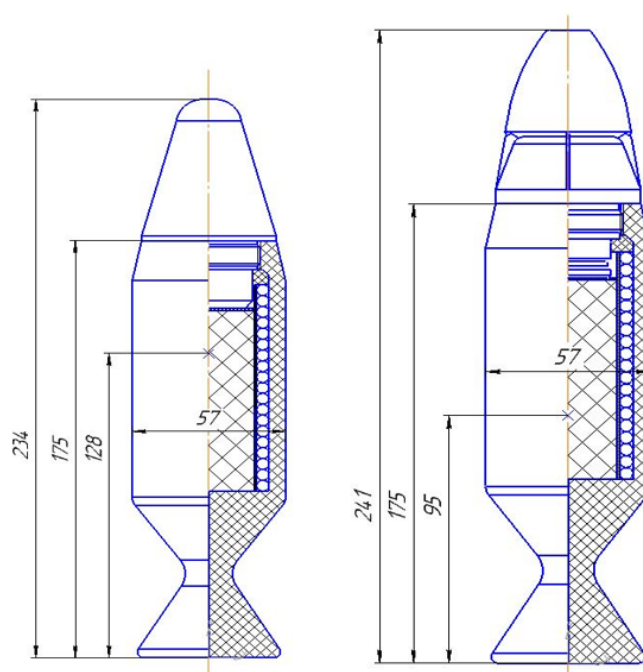


Рис. 2. Конструкция радиопрозрачного боеприпаса до и после замены взрывателя

У предложенной первоначально конструкции радиопрозрачного БП есть ряд недостатков:

- 1) Отсутствие ведущего устройства, необходимого для нарезной системы;
- 2) Невозможность унитарного заряжания, характерного для конструкций выстрелов малых калибров.

Следующим этапом работы была проведена разработка конструкций БП в полимерном корпусе, на основе штатных 57-мм снарядов. Толщина стенок корпуса выбиралась при эскизном проектировании ориентировочно, так как нужно сохранить возможность размещения в корпусе готовых поражающих элементов, залитых в компаунде. Наличие в конструкции внутренней осколочной ру-

башки способствует повышению прочности корпуса, испытывающего нагрузки, возникающие при движении боеприпаса по каналу ствола. При этом необходимо сохранить могущество боеприпаса для получения заданного поражающего осколочного действия.

В качестве рассматриваемых расчетных моделей был предложен ряд вариантов:

Первый вариант: классическая компоновка с утолщённым дном, ГПЭ и ведущим устройством из материала корпуса (рис. 3, а).

Второй вариант: отличается от предыдущего лишь гребенчатой формой ведущего устройства (рис. 3, б).

Третий вариант: предложена конструкция с запрессованным ведущим пояском из поликарбоната. Отличается от 1 и 2 вариантов более толстым дном, во избежание разрушения корпуса под ведущим устройством (рис. 3, в).

Четвёртый вариант: ведущее устройство гребенчатой формы выполнено в виде лейнера по всему корпусу (рис. 3, г).

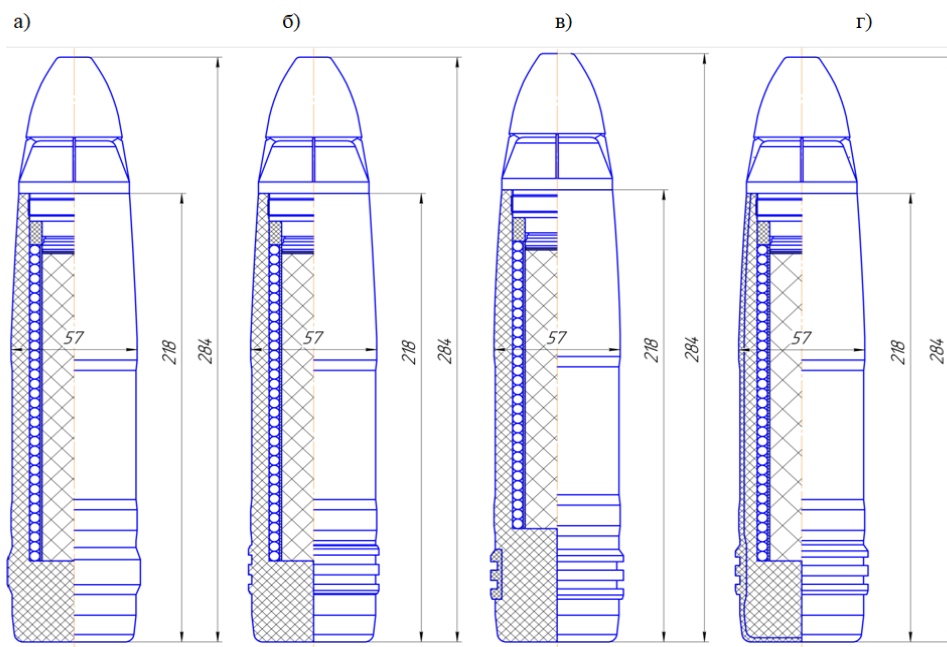


Рис. 3. Предлагаемые варианты конструкций радиопрозрачного боеприпаса

Поскольку в процессе проектирования был существенно изменен вес и конструкция БП, необходимо провести расчеты внутренней баллистики для предлагаемых вариантов конструкций радиопрозрачного БП. Основная задача, которая решалась на этом этапе - подбор навески пороха для получения заданной дульной скорости. Предварительный расчет внутрибаллистических характеристик на основе термодинамического подхода проводился в программе OZVB разработанной на кафедре Специального машиностроения (СМ). Результаты расчетов для некоторых видов порохов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов внутрибаллистических характеристик

Порох	Масса пороха, кг	Скорость, м/с	Давление, кгс/см ²
СФ033	0,6	1027,9	2097
	0,7	1119,2	2681,9
	0,8	1205,1	3340,8
ВТ	0,6	1032	2501,9
	0,7	1119,4	3206,8
	0,8	1201,5	4012,1
4/1	0,4	773	745,9
	0,5	886,6	1181,9
	0,6	987,8	1721,5
	0,7	1080,4	2349,8
	0,8	1166,6	3073,9
5/1	0,4	801,6	1002,8
	0,5	910,5	1519,3
	0,6	1008	2117
	0,7	1108,1	3211,2
	0,8	1182,7	3578,9

Предварительный результат расчета, представленный в таблице 2 показывает, что из ряда рассмотренных порохов могут подойти:

СФ033 навеской 600 грамм;

ВТ навеской 600 грамм;

4/1 навеской 600 грамм;

5/1 навеской 500 и 600 грамм.

Но для более глубокого понимания процесса развития давления в заснарядном пространстве был проведен расчет с более современным газодинамическим подходом к решению основной задачи внутренней баллистики. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета внутрибаллистических характеристик для пороха марки 6/7

Порох: 6/7 гр.		
Навеска, гр.	Скорость, м/с	Давление на пике, МПа
400	1000	380
500	1198	400
600	1258	418
700	1521	437

Результаты расчета показывают, что порох навесками 500, 600, 700 грамм, не удовлетворяют требования артиллерийской системы по максимальному давлению в канале ствола. Полученные данные из расчета кривых давления давления были заложены в программу «Прочность», разработанную на кафедре СМ на основе уравнений механики сплошных сред.

Анализ напряженного деформированного состояния корпуса предложенного «Южно-Уральским государственным университетом» конструкции показывает, что в результате воздействия давления, максимальные напряжения возникающие в хвостовой части превышают предел текучести материала корпуса, и приводят к разрушению по тарированному сечению (рис. 4).

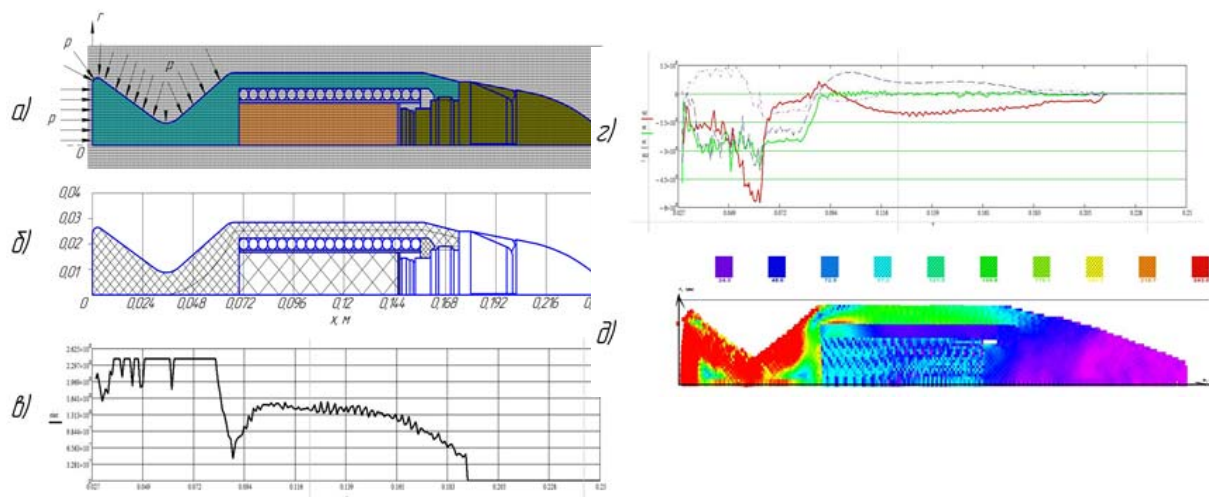


Рис. 4. Расчет прочности конструкции БП, предложенной «Южно-Уральским государственным университетом»:

а) разбиение на ячейки пространственной сетки; б) габаритные размеры БП; в) напряжения срединной поверхности; г) sz – осевые напряжения (красная линия), sr – радиальные напряжения (зелёная линия), st – тангенциальные напряжения (синяя пунктирная линия), srz – сдвиговые напряжения (фиолетовая штрих пунктирная линия); д) график интенсивности напряжений для всего боеприпаса

Также в программе «Прочность» были рассчитаны прочностные характеристики четырех предлагаемых конструкций боеприпаса на основе кривых давлений, полученных при расчете внутрибаллистических характеристик, для навесок пороха 5/1 массой 500 грамм. По результатам расчета было установлено, что второй и четвертый вариант конструкции не выдерживают максимальных давлений, что приводит к разрушению ВУ и донной части боеприпасов, а первый и третий варианты конструкции удовлетворяют требованиям прочности – правильно формируются нарезы, напряжения не достигают пределов текучести, за исключением отдельных мест в зоне окончания ВУ. Однако величина этих, напряжений не приводит к существенным пластическим деформациям запясковой части (рис. 5).

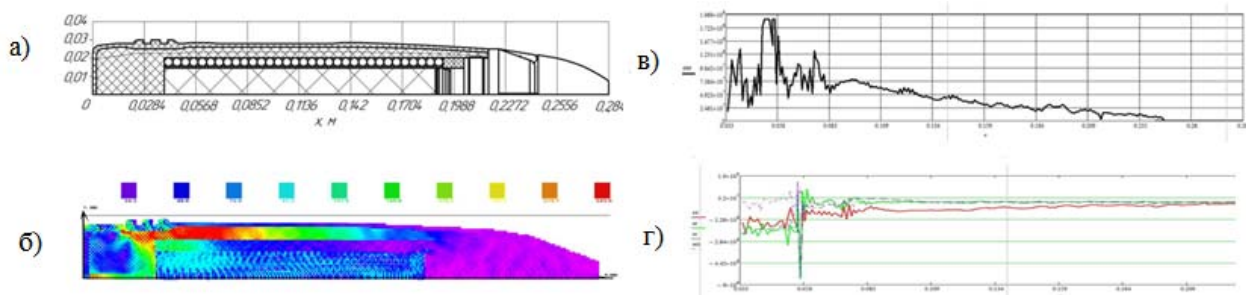


Рис. 5. Расчет прочности конструкции БП:

а) габаритные размеры БП; б) график интенсивности напряжений для всего боеприпаса; в) напряжения срединной поверхности; г) sz – осевые напряжения (красная линия), sr – радиальные напряжения (зелёная линия), st – тангенциальные напряжения (синяя пунктирная линия), szg – сдвиговые напряжения (фиолетовая штрих пунктирная линия).

Следующей задачей, которую необходимо решить на этапе проектирования – оценить устойчивость поведения снаряда на траектории. Для варианта конструкции «Южно-Уральского государственного университета» был проведен расчет внешнебаллистических характеристик для двух крайних случаев, когда коэффициент деривации минимален (0,1): радиопрозрачный БП на дальности 3 000 метров принимает боковое отклонение больше 50 метров (рис. 5); и когда коэффициент деривации максимален (1): БП достигая максимальной высоты получает критический режим полета штопор, снижается по крутой нисходящей спирали с одновременным вращением относительно всех трех его осей (рис. 6).

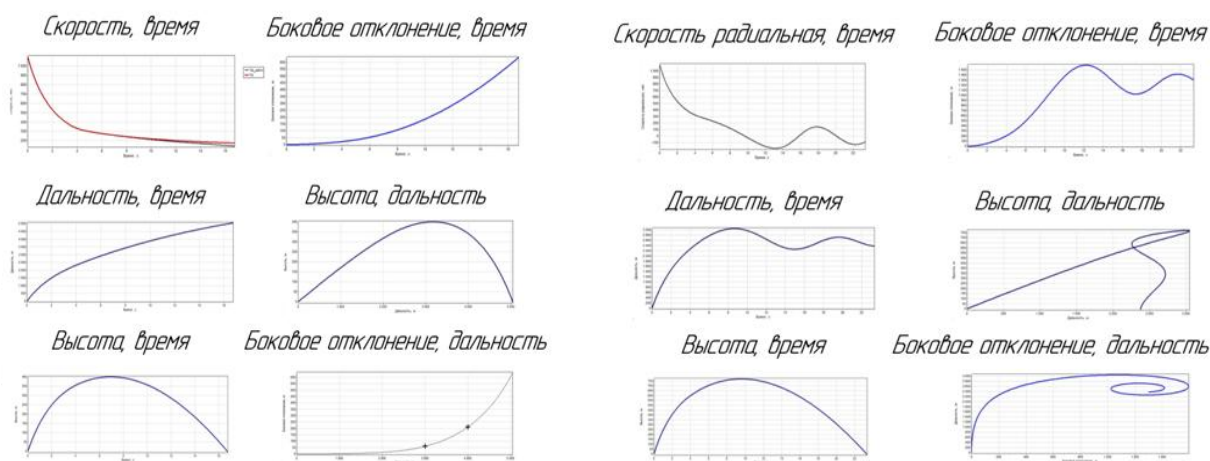


Рис. 5. Решение задачи внешней баллистики для коэффициента деривации 0,1

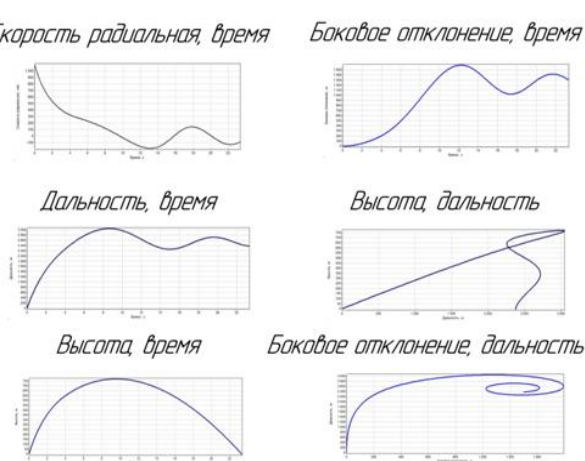


Рис. 6. Решение задачи внешней баллистики для коэффициента деривации 1

Для первого варианта конструкции предлагаемого БП также был проведен расчет внешнебаллистических характеристик. На дальности 4 000 метров будет иметь боковое отклонение 1,5 метром, а при предполагаемой прицельной дальности 6000 метров снаряд имеет боковое отклонение не более 4 метров (рис. 7).

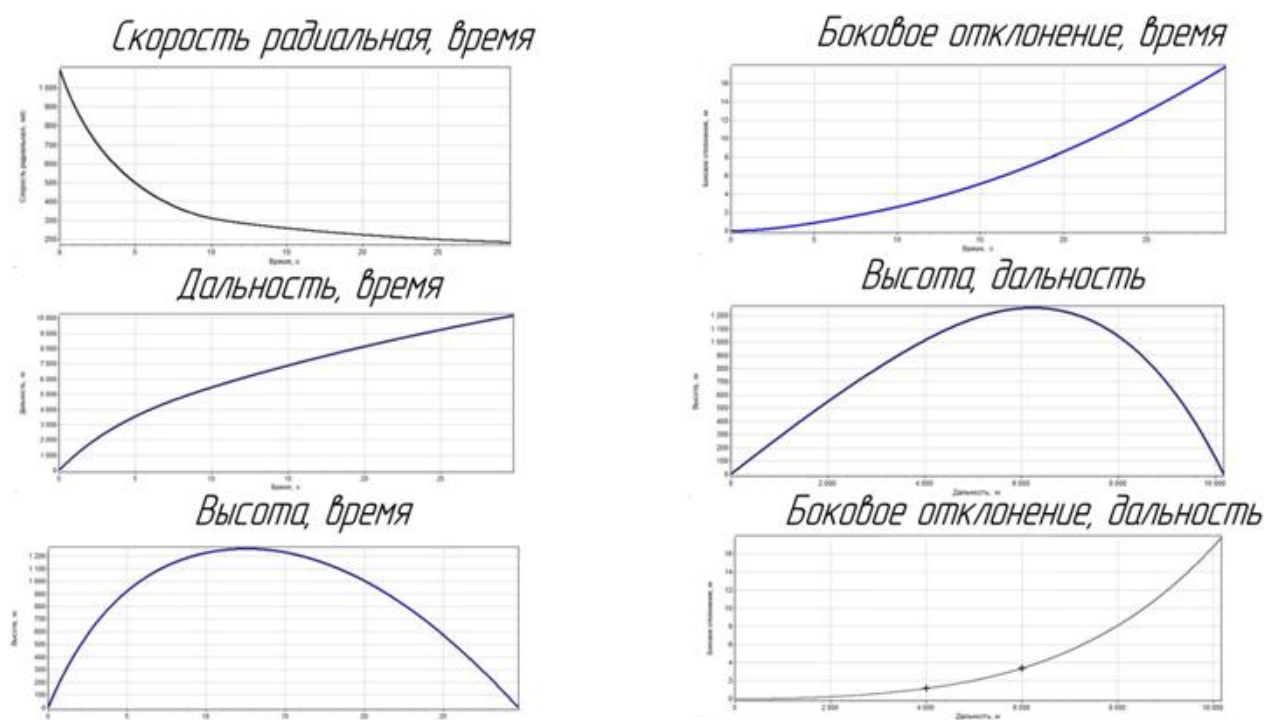


Рис. 7. Расчет внешнебаллистических характеристик первого варианта конструкции предлагаемого радиопрозрачного БП

Выводы

1. Рассмотрен вариант конструкции радиопрозрачного БП «Южно-Уральского государственного университета». Прочностные и внешне баллистические расчеты которого показывают, что конструкция не выдерживает расчета прочности и устойчивости на полете.

2. Из 4 предложенных вариантов конституций лучшим вариантом с точки зрения прочности корпуса является 1 вариант конструкции.

Представленная работа носит начальный характер и будет дальнейшее развитие в будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Л. Баранов, В.Л. Руденко, В.И. Фалалеев, А.Е. Чванов, С.А. Швецов. Защита танков: анализ, ретро- и перспектива. Монография. Нижний Тагил – Тула: Гриф и К, 2011. – 190 с.

2. М. С Хребтова, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. Новый тип ведущего пояска// Наука. Промышленность. Оборона: материалы XVII Всероссийской науч.-техн. конф., – Новосибирск: НГТУ, 2016. – С. 101-106.
3. Е.А. Хмельников, А.В. Стыров. Решение основной задачи внутренней баллистики: Учеб. пособие по курсу «основы баллистики и аэродинамики». Нижний Тагил: ФКП «НТИИМ», 2017. 122с.
4. Баллистика ствольных систем/ РАРАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М. Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
5. Суфиянов В.Г. «Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.01, 05.13.18; защищена: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», Ижевск, 2017. – 315 с.
6. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – 496с.

*© Я. В. Тюрин, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова,
К. В. Смагин, С. Ф. Дубинина, М. Ю. Семашко, 2018*

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ АНТЕНН

Валерий Иванович Ознобихин

АО «НИИЭП», г. Новосибирск, 630005, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Валерий Борисович Ромодин

АО «НИИЭП», г. Новосибирск, 630005, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры АИУС, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Приводится обзор методов оптимизации волноводно-щелевых антенн, в основе которых лежит генетический алгоритм поиска глобальных экстремумов.

Ключевые слова: оптимизация, волноводно-щелевая антенна, векторный синтез, генетический алгоритм.

METHODS OF OPTIMIZATION OF WAVEGUIDE-SLOT ANTENNAS

Valery I. Oznobihin

OJSC "Scientific Research Institute of Electronic Devices", 53, Pisareva St, Novosibirsk, 630005, Russia, Senior Researcher, phone: (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Valery B. Romodin

OJSC "Scientific Research Institute of Electronic Devices", 53, Pisareva St, Novosibirsk, 630005, Russia, Laboratory Chief; Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor of AICS Department, phone: (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

The review of methods of optimization of waveguide-slot antennas, which are based on a genetic algorithm for finding global extrema.

Key words: design, waveguide-slot antenna, the genetic algorithm.

При проектировании волноводно-щелевых антенн (ВЩА) важным этапом является оптимизация геометрических параметров (как правило, выбор размеров щелей и их расположение на стенке волновода) для получения требуемых диаграммных и энергетических характеристик.

Один из методов ее решения рассмотрен в статье [1]. Он состоит из трех этапов. Вначале синтезируется амплитудно-фазовое распределение (АФР) тока на щелях по заданным требованиям к ДН, затем по синтезированной АФР находят длины и смещения щелей с использованием приближенной модели ВЩА в виде каскадного соединения четырехполюсников. На конечном этапе происходит оптимизация целевой функции, составленной с учетом всех требований к характеристикам антенны, на основе строгой модели ВЩА [2]. Причем, в качестве на-

чального приближения берется решение, полученное из приближенной модели. Для оптимизации использовались как градиентные, так и прямые алгоритмы.

Заметим, что целевая функция, используемая при оптимизации, является нелинейной и, следовательно, многоэкстремальной. Поэтому, если брать произвольное начальное приближение, то наиболее вероятно происходит выход на локальный экстремум. Начальное же приближение, полученное на втором этапе, находится вблизи глобального экстремума. Но даже такое начальное приближение часто не приводит к нужному результату при использовании градиентных, или прямых методов минимизации [3].

В работе [3] рассмотрен прямой метод оптимизации на основе генетического алгоритма (ГА). Как известно, ГА является одним из стохастических эволюционных алгоритмов, применяемых для поиска глобальных экстремумов функции многих переменных [4]. Как показано в [3], с помощью ГА удастся получить приемлемые результаты при оптимизации ВЩА со случайных начальных приближений, минуя первые два этапа. Но, многочисленные расчеты показали, что требуемые решения достигаются за несколько тысяч итераций, что не столь существенно, если время расчета целевой функции достаточно небольшое. Если же анализ целевой функции длителен, например, как для ВЩА с диэлектрическим покрытием, то время оптимизации существенно возрастает.

В работе [4] предлагается использовать смешанный метод. В случайный набор решений ГА добавляется приближение, полученное на втором этапе, упомянутого выше метода. Тогда все случайные варианты будут концентрироваться вокруг него и вероятность выхода на глобальный экстремум возрастает, а время расчета, соответственно, уменьшается. При таком подходе удастся за несколько сот итераций получить приемлемые результаты.

Важнейшим этапом оптимизации является выбор соответствующей целевой функции (функционала). В антенных задачах наиболее часто используется целевая функция, составленная из необходимых требований к диаграмме направленности (ДН) [3]. Так же, возможен вариант целевой функции, в которой используется амплитудно-фазовое распределение (АФР), например, сумма амплитудных и фазовых ошибок, что сводится к нахождению требуемого АФР. В работе [6], с помощью ГА, подробно исследованы оба варианта и показано, что в случае, когда расчет целевой функции требует достаточно много времени, рационально использовать функцию, составленную по требованиям к ДН. Но она не дает оптимального решения и более чувствительна к случайным ошибкам. Для функции, составленной из суммы амплитудных и фазовых ошибок, характерна медленная сходимость (на два порядка ниже), но она приводит к оптимальному решению (заданному АФР). Сходимость можно увеличить на порядок, если к ошибкам добавить ширину главного максимума «по нулям», т.е., использовать «гибридную» функцию [6].

Рассмотренные выше методы позволяют найти какое-либо оптимальное решение. Но возможны случаи, когда из-за жестких требований на геометриче-

ские параметры (например, одинаковые длины щелей), оптимального решения нет, и эти методы не позволяют это доказать.

С помощью методов векторного синтеза [7] (с использованием ГА) можно определить область оптимальных решений, которая наглядно характеризует потенциальные возможности прибора.

Согласно этому методу все требования, предъявляемые к прибору, объединяются в многомерный вектор качества $\mathbf{K}(k_1, k_2, \dots)$, где k_1, k_2 и т.д. характеризуют соответствующие требования. Геометрические параметры прибора объединяются в многомерный параметрический вектор $\mathbf{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_1, x_2 и т.д. характеризуют геометрические размеры. Задача синтеза сводится к определению оптимального решения из области допустимых требований. Причем, оптимальные решения лежат на границе этой области и соответствуют минимальным значениям k_1, k_2 и т.д.

В статье [8] рассмотрено применение векторного синтеза при оптимизации ВЩА. Здесь, k_1 объединяет требования к ДН (угол наклона главного максимума, его ширина и уровень боковых лепестков), а k_2 – энергетические характеристики (мощности, идущая в нагрузку и отраженная от входа антенны). Таким образом, вектор качества $\mathbf{K}(k_1, k_2)$ является двухмерным. Тогда любому численному значению вектора $\mathbf{K}(k_1, k_2)$ на плоскости (в системе координат k_1 и k_2) соответствует точка с определенными значениями k_1 и k_2 , или вариант антенны со своим определенным параметрическим вектором $\mathbf{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Из смысла k_1 и k_2 ясно, что крайние точки этого множества являются «не худшими решениями», и они соответствуют левой нижней границе множества [1]. Задача сводится к нахождению (построению) этой границы. Для наглядности на рисунке 1 приведены область всех возможных решений и, соответствующая ей граница, для 12-ти щелевой антенны [8].

По сути k_1 и k_2 характеризуют выходные параметры и рассчитываются с помощью достаточно строгой матричной модели ВЩА [2]. Символически можно представить, что

$$k_1 = \tilde{M}_1 [\bar{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad k_2 = \tilde{M}_2 [\bar{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)], \quad (1)$$

где $\tilde{M}_1$ и $\tilde{M}_2$ – матричные операторы.

Выразим k_1 через k_2 :

$$\bar{P}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \tilde{M}_2^{-1}(k_2) \quad k_1 = \tilde{M}_1 [\tilde{M}_2^{-1}(k_2)] = f(k_2). \quad (2)$$

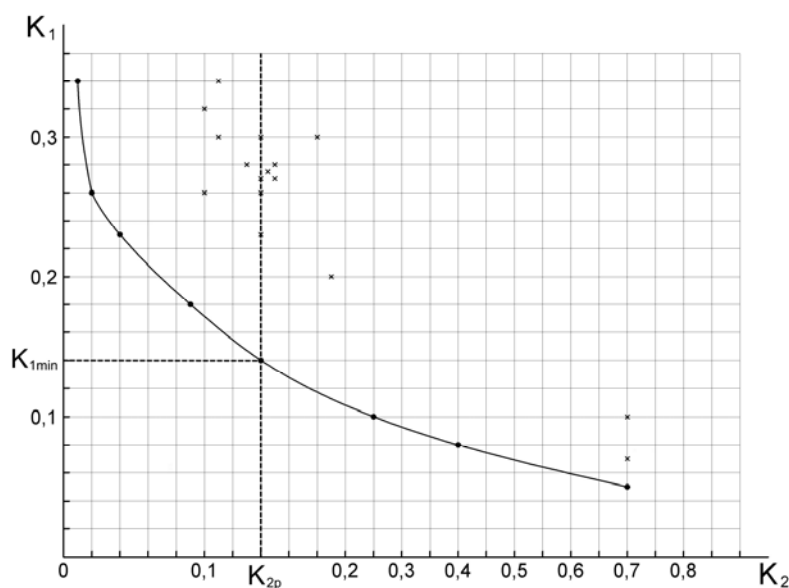
Таким образом, k_1 является некоторой функцией от k_2 (и наоборот) при заданном векторе входных параметров $\mathbf{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Как доказано в работе [1], кривая, характеризующая левую нижнюю границу множества всех возможных решений, является непрерывной, убывающей функцией $k_1 = f(k_2)$. Оптимальные решения должны располагаться на этой границе. Т.е., ниже ее решений нет, а выше они не оптимальны (для заданных k_1 и k_2).

В [8] эта граница была построена «весовым» методом, путем минимизации соответствующего функционала. Этот метод довольно громоздкий и занимает много расчетного времени. Более рационально использовать метод рабочих характеристик. Суть его заключается в том, что для ряда последовательных значений k_{2p} (рисунок) ищется соответствующие им минимальные значения k_1 . Для этого минимизируется функционал вида:

$$f = c_1 \cdot k_1^2 + c_2 (k_2 - k_{2p})^2 \quad (3)$$

Весовые коэффициенты c_1 и c_2 позволяют изменять направление поиска. Для минимизации используется генетический алгоритм.



Причем, найденный оптимальный вектор входных параметров $\mathbf{P}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для соответствующего k_{2p} используется в качестве начального приближения в следующем шаге поиска

Таким образом, векторный синтез совместно с генетическим алгоритмом позволяют достаточно полно проводить оптимизацию, сделать более наглядными его результаты и выявить потенциальные возможности антенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ознобихин В.И., Ромодин В.Б. Метод оптимизации волноводно – щелевой антенны / Тезисы докл. Всесоюзного научно – технического семинара "Математическое моделирование и создание САПР для расчета, анализа и синтеза антенных систем и их элементов"; Ростов Великий, 1990.
2. Ромодин В.Б. Матрица рассеяния волноводно-щелевой антенны // Системы и средства передачи информации / Сборник научных трудов учебных институтов связи.-Л.:1985. С.49-54.
3. Ознобихин В.И., Ромодин В.Б. Оптимизация волноводно-щелевых антенн методом генетического алгоритма / Сборник трудов МНТК "\"Четвертые Уткинские чтения\"". Секция

\\"Ракетно-космическая техника и технология\\" Том 1, сс.230-232. БГТУ \\"Военмех\\", Санкт-Петербург, Россия, 2009 г.

4. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач / Под ред. Львовича Я.Е.: Учеб. пособие. Воронеж, 1995.

5. Ознобихин В. И., Ромодин В. Б., Ячменева Т. В. О проектировании волноводно-щелевых антенн // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 215–218.

6. Ознобихин В. И., Ромодин В. Б., Ячменева Т. В. Исследование целевых функций, используемых при проектировании антенных решеток // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 192–196.

7. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств /М.: Советское радио, 1975 г.

8. Ознобихин В. И., Ромодин В. Б., Кулик В. С. Использование векторного синтеза при проектировании волноводно-щелевых антенн // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 157–160.

© В. И. Ознобихин, В. Б. Ромодин, 2018

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОБЪЕДИНЕНИЯ КАНАЛОВ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Мария Владимировна Орлова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, тел. (383)216-05-68; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры АИУС, тел. (383)216-05-68

Сравниваются варианты комплексирования каналов с различными характеристиками обнаружения с целью повышения характеристик обнаружения комплексированной системы. Разработана программа расчета характеристик обнаружения комплексированной системы с наглядным отображением результатов работы комплексированной системы.

Ключевые слова: комплексированная система ближней локации, характеристики локационного обнаружения, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги, алгоритм обнаружения.

COMPARISON OF INTEGRATED COMPLEX LOCATION SYSTEM VARIANTS WITH DIFFERENT CHANNEL CHARACTERISTICS

Maria V. Orlova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Ph. D., Associate Professor, Leading Researcher, phone: (383)216-05-68; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of AICS, phone: (383)216-05-68

Comparative analysis of variants of the integration of different location systems with various detection characteristics is considered for the purpose of the detection characteristics increasing. A program for calculating complex system probability characteristics has been developed, that provides the presentation of the complex system characteristics and characteristics of the channels-components.

Key words: complex short-range location system, detection characteristics, correct detection probability, false alarm probability, detection algorithm.

В настоящее время при разработке локационных систем актуальна задача повышения характеристик обнаружения в условиях воздействия помех. Применение комплексирования, то есть, совместной обработки информации, поступающей с нескольких каналов, позволяет повысить помехоустойчивость и надежность системы. Под комплексированием понимается совместная обработка результатов воспроизведения различными устройствами (системами) одного и того же сообщения или нескольких различных, но статистически связанных сообщений [1]. Под комплексированием устройств также понимается объединение их в единую комплексную (комплексированную) систему, осуществляющую совместную обработку информации [2].

Наибольший выигрыш достигается при совместной обработке аналоговых реализаций, поступающих с выходов каналов комплексированной системы [3]. При этом выигрыш в помехоустойчивости значителен в том случае, если помехи с выходов приемников различных каналов коррелированы между собой. Алгоритм обработки информации заключается в формировании компенсирующих напряжений в каждом канале, оптимальной фильтрации суммарного сигнала в каждом канале, суммировании сигналов с выходов всех каналов и сравнении результирующей суммы с порогом [3]. При превышении порога принимается решение о наличии полезного сигнала.

Если помехи в каналах системы между собой не коррелированы, обработку принятых реализаций сигналов целесообразно проводить в каждом канале отдельно. Такой подход также может применяться при использовании уже разработанных автономных локаторов или различных физических принципов действия каналов системы. При этом в каждом канале принимается предварительное решение об обнаружении объекта, и в результате совместной обработки решений принимается окончательное решение об обнаружении [3]. Если информация поступает с выходов каналов в виде решений об обнаружении или необнаружении объекта, то есть, обрабатываемая информация представляет собой вектор, состоящий из нулей и единиц, алгоритм принятия решения об обнаружении может быть записан в виде [2]:

$$\sum_{i=1}^N \delta_i \ln \left(\frac{D_i(1-F_i)}{F_i(1-D_i)} \right) \geq \Lambda_0, \quad (1)$$

где δ_i – решение об обнаружении или необнаружении объекта i -м каналом, N – количество каналов, D_i – вероятность правильного обнаружения i -го канала; F_i – вероятность ложной тревоги i -го канала, Λ_0 – порог обнаружения.

Вклад каждого канала в принятие результирующего решения об обнаружении зависит от характеристик этого канала. Если для всех каналов вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения одинаковы, вероятность правильного обнаружения D , вероятность ложной тревоги F и результирующая вероятность обнаружения W комплексированной системы определяются по формулам

$$\begin{aligned} D &= \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m D^m (1-D)^{N-m}, \\ F &= \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m F^m (1-F)^{N-m}, \\ W &= D(1-F) \end{aligned} \quad (2)$$

где $C_N^m = \frac{N!}{m!(N-m)!}$ – число сочетаний из N по m .

Разработан комплект программ для оценки вариантов построения комплексированной системы, то есть для оценки вариантов объединения каналов системы с различными характеристиками. Программы реализованы в среде программирования Delphi.

На рис. 1 и рис. 2 приведены примеры расчета характеристик обнаружения двухканальной и трехканальной систем при заданных характеристиках отдельных каналов. Здесь же для наглядности приведены графики зависимости результирующей вероятности обнаружения для алгоритма принятия решения об обнаружении по схеме «И», алгоритма принятия решения по схеме «ИЛИ», а также для алгоритма принятия решения по схеме «2 из 3-х» для трехканальной системы.

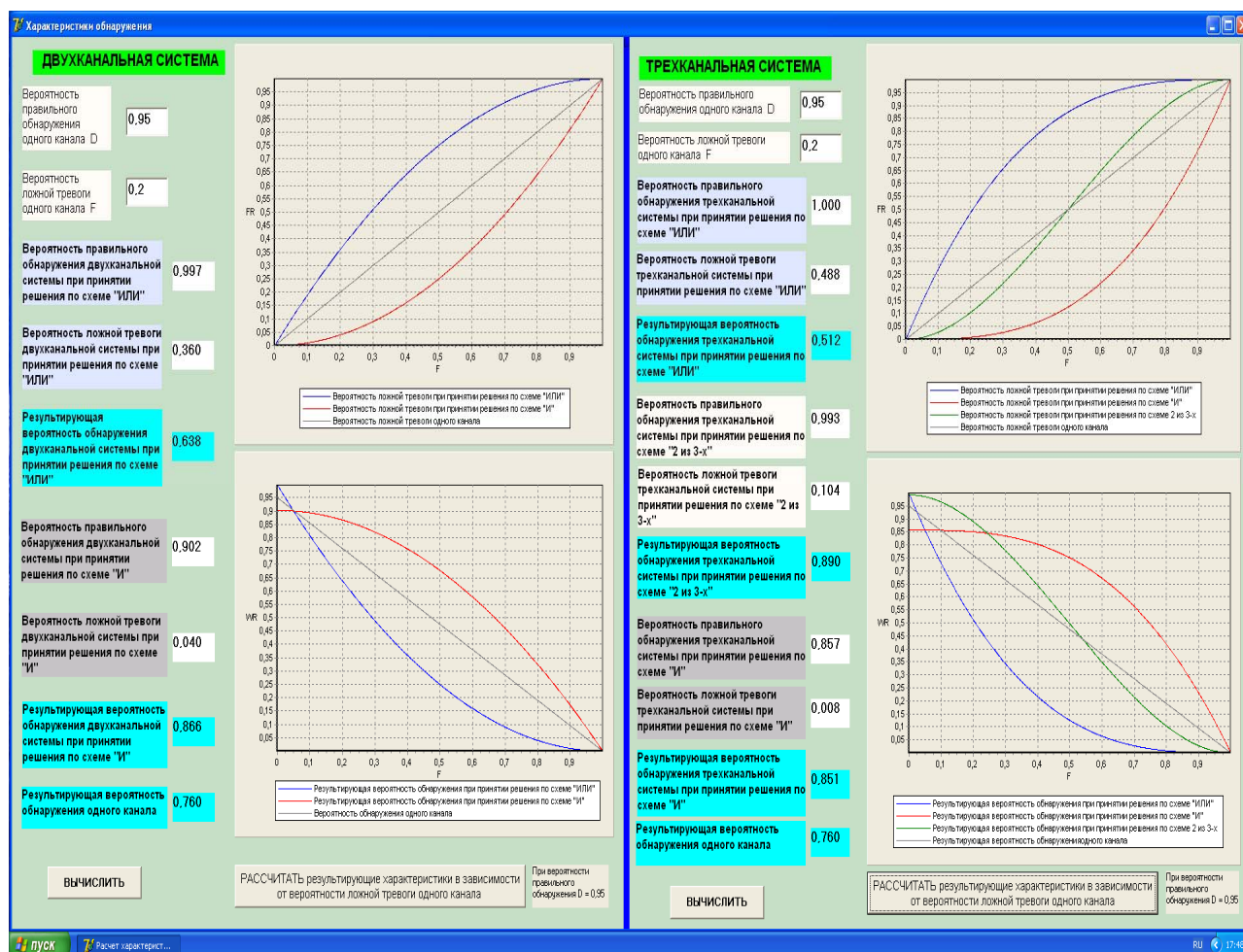


Рис. 1. Вид окна программы с примером расчета характеристик обнаружения и графиками зависимостей характеристик обнаружения от вероятности ложной тревоги одного канала

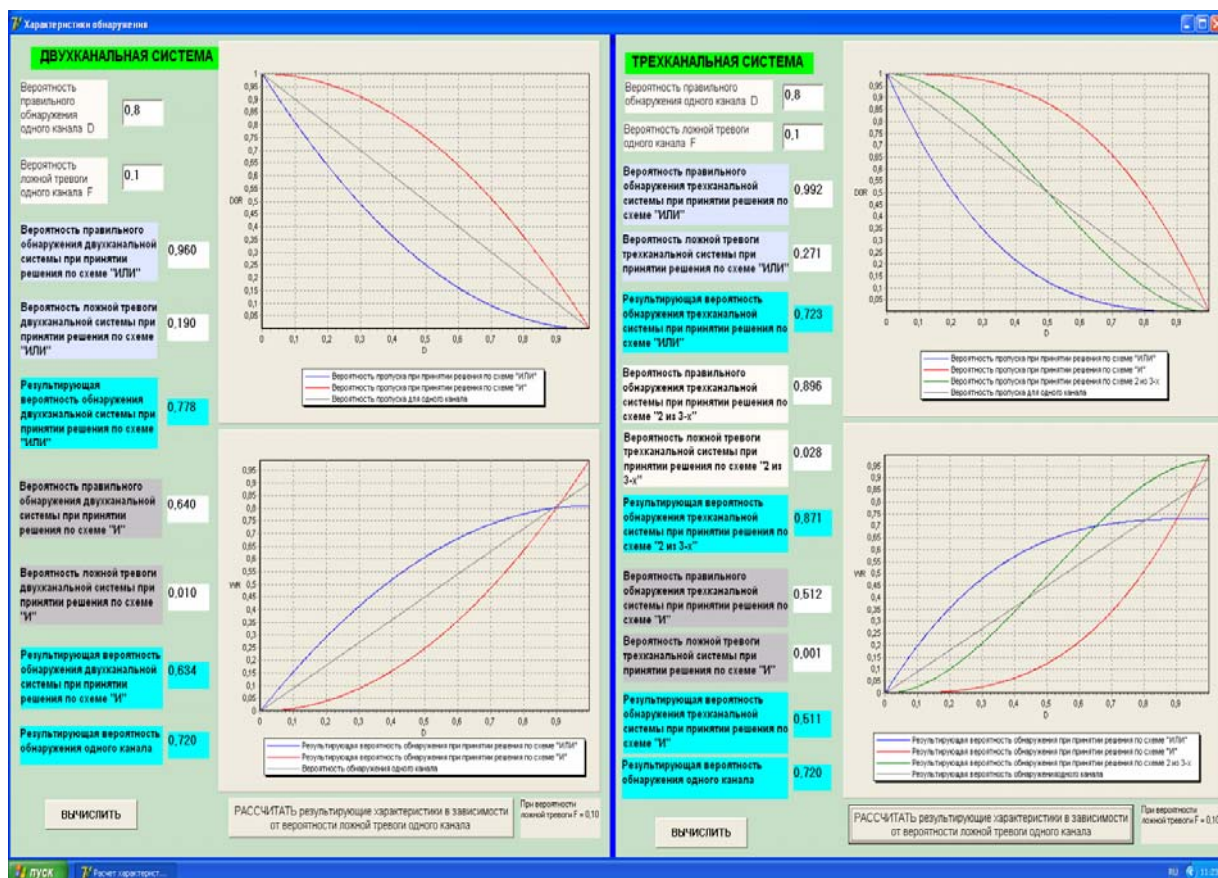


Рис. 2. Вид окна программы с примером расчета характеристик обнаружения и графиками зависимостей характеристик обнаружения от вероятности правильного обнаружения одного канала

Для случая объединения каналов с различными характеристиками локационного обнаружения результирующие характеристики комплексированной системы вычисляются по формулам, аналогичным (2) с учетом характеристик обнаружения каждого канала [4].

На рис. 3 приведен пример результата расчетов характеристик двухканальной и трехканальной систем для случая объединения каналов с различными характеристиками обнаружения.

Разработанный комплект программ позволяет рассчитывать характеристики обнаружения комплексированной системы (вероятность ложной тревоги, вероятность пропуска, вероятность правильного обнаружения, результирующую вероятность обнаружения) для различных сочетаний характеристик каналов. Такой расчет характеристик необходим для обоснования целесообразности применения дополнительных каналов.

Примеры расчета приведены для двухканальной и трехканальной систем. Число каналов более трех не рассматривается, так как реализация такой комплексированной системы сложна. В целом, разработанный комплект программ

позволяет рассчитать характеристики системы, содержащей большее число каналов.

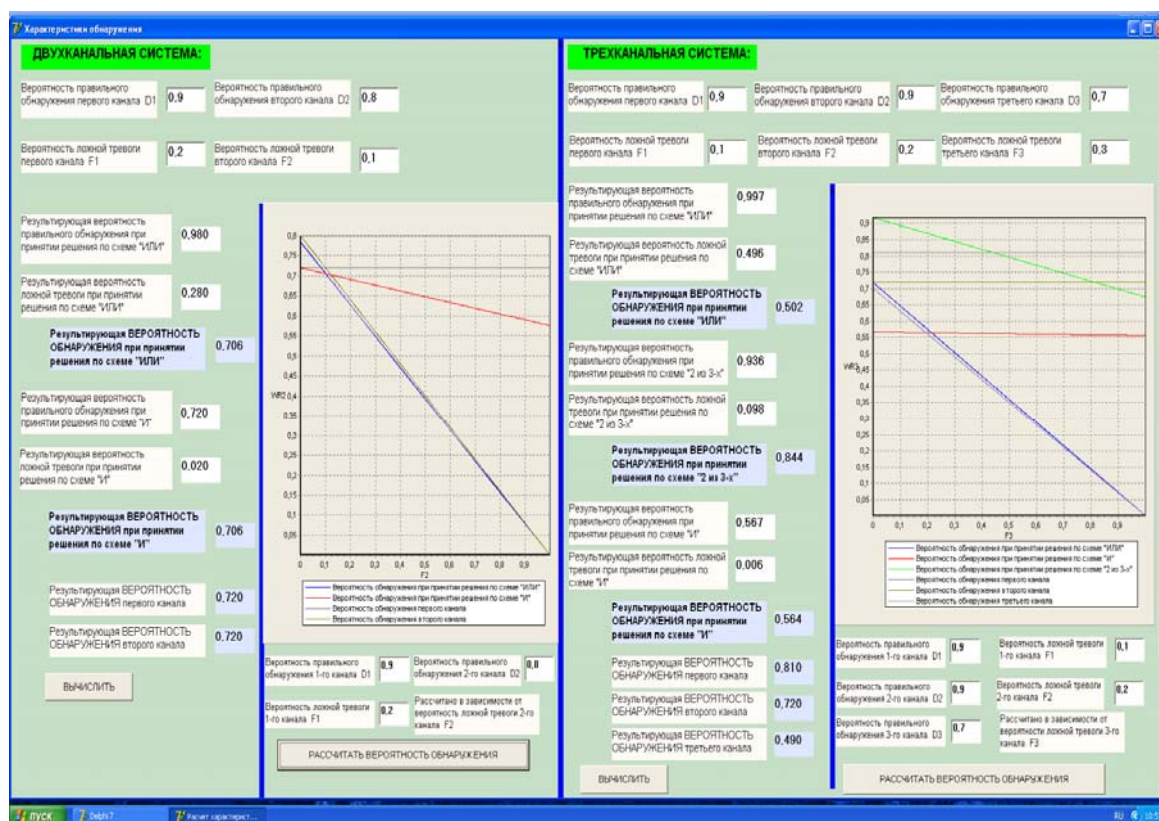


Рис. 3. Вид окна программы с примером расчета характеристик обнаружения для заданных параметров каналов

Использование программы полезно на этапе предварительного проектирования для решения задачи определения рациональных вариантов построения многоканальной системы, а также определения характеристик отдельных каналов и выбора их параметров с целью решения конкретной задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Орлова М.В. Обработка сигналов в комплексированных системах ближней локации: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 76 с.
4. Орлова М. В. Исследование преимуществ комплексирования каналов локационной // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 172–176.

© М. В. Орлова, 2018

ЗОНДОВОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ SIW-ВОЛНОВОДА

Любовь Васильевна Шебалкова

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-руководитель группы; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ст. преподаватель кафедры АИУС, тел. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

В работе рассматриваются способы возбуждения основной волны H_{10} в прямоугольном волноводе, выполненном по SIW-технологии, особое внимание уделено зондовому методу, представлена электродинамическая модель перехода, целью моделирования было получение значения коэффициента отражения S_{11} не хуже -20 дБ в полосе частот 1 ГГц.

Ключевые слова: моделирование, волновод, фидер, волноводно-щелевая антенна.

SIW PROBE EXCITATION

Liubov V. Shebalkova

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Leading Engineer-Team Manager; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Senior Lecturer, Department of AICS, phone: (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

Substrate integrated waveguides (SIW) excitation methods are considered. A design is developed to planar SIW fed by post. The results of coax-to-SIW transition simulation with optimization by the full-wave simulation are presented. The main goal was to achieve -20 dB return loss in 1 GHz frequency band.

Key words: coax-to-SIW transition, simulation, antenna feeds, via holes, substrate integration waveguide, slot antenna.

Волноводы, интегрированные в диэлектрическую подложку, или SIW стали широко применяться несколько лет тому назад для изготовления малогабаритных антенн СВЧ и КВЧ диапазона и СВЧ-устройств. Данные волноводы изготавливаются по технологии печатных плат из СВЧ-диэлектриков, боковые стенки волновода формируются с помощью металлизации отверстий. SIW является диэлектрически заполненным прямоугольным волноводом с уменьшенной высотой. Главным преимуществом таких структур является высокая технологичность изготовления, существенное удешевление конструкции, возможность интеграции элементов на одной плате, включая пассивные компоненты, активные элементы и антенны.

Диаметр и шаг металлизированных отверстий устанавливаются таким образом, чтобы минимизировать потери на излучение и на отражение.

В качестве возбудителя колебаний основного типа H_{10} в волноводе часто используются компланарные или микрополосковые линии, как предложено в [1] (рис. 1), что актуально для двумерных решеток, для линейной решетки целесообразно использовать зондовое возбуждение [2], при этом будет отсутствовать излучение с возбудителя и уменьшится длина самой антенны.

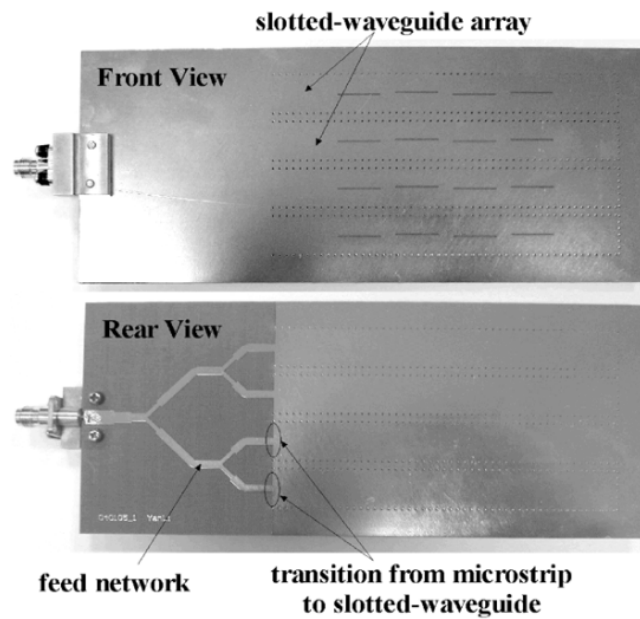


Рис. 1. Волноводно-щелевая решетка, возбуждаемая микрополосковой линией

Модель системы возбуждения для SIW структуры показана на рис. 2, использован материал подложки Rogers TMM 4, имеющий диэлектрическую проницаемость 4,5, тангенс диэлектрических потерь 0,002, толщину диэлектрического слоя 3,81 мм; ширина волновода a составляет 10 мм и определяется как расстояние между образующими цилиндрами (рис. 3), длина волновода 48,5 мм. Цилиндры в данном случае имитируют металлизированные отверстия. Сам волновод возбуждается цилиндром высотой h и диаметром d_p , расстояние до задней стенки волновода D . Волновое сопротивление на входном порту составляет 50 Ом.

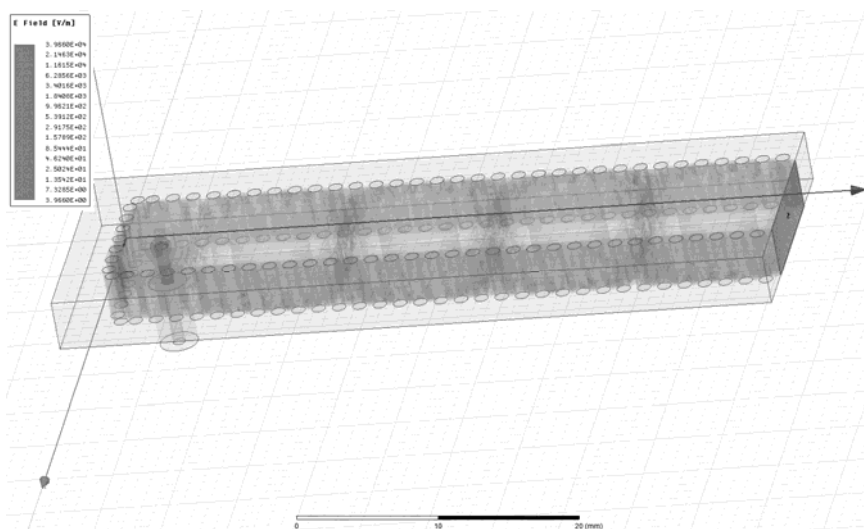


Рис. 2. Электродинамическая модель перехода

Диаметр цилиндров d составляет 1 мм, шаг между ними $p = 1,5$ мм, соответственно расстояние между соседними элементами 0,5 мм. Диаметр d влияет на потери из-за отражения от стенок волновода. Для проектирования SIW требуются следующие два условия:

$$1) \quad d < \frac{\lambda_{\text{в}}}{5},$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – длина волны в волноводе, f – частота в свободном пространстве, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала подложки:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\epsilon_r (2\pi f)^2}{c^2} - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}}$$

$$2) \quad p < 2d.$$

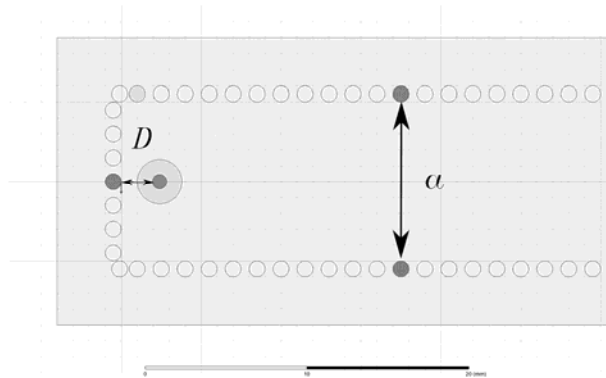


Рис. 3. Схема расположения металлических цилиндров

Результаты электродинамического моделирования представлены на рисунках 4, 5, моделирование проведено для разных диапазонов значений D , h и d_p .

На рис. 4 изображена зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению от частоты (КВСН)

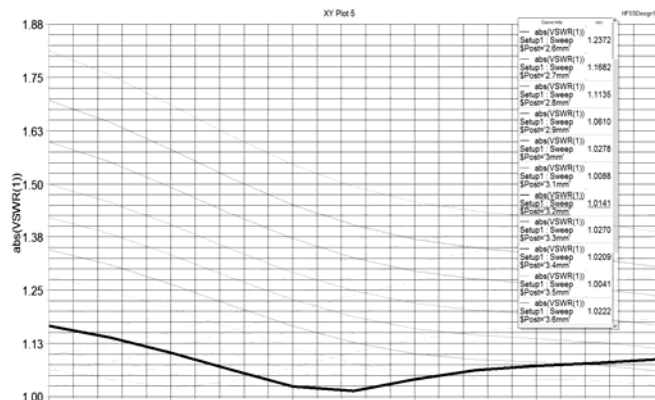


Рис. 4. КВСН перехода

КВСН перехода имеет наихудшее значение 1,17 (или $S_{11} = -22,27$ дБ) в полосе частот при $D = 2,4$ мм, $h = 3,2$ мм, $d_p = 0,9$ мм, при этом наихудшее значение модуля коэффициента передачи S_{21} , который характеризует потери в материале волновода и от переотражений от металлизированных отверстий, равно $-0,67$ дБ (рис. 5).

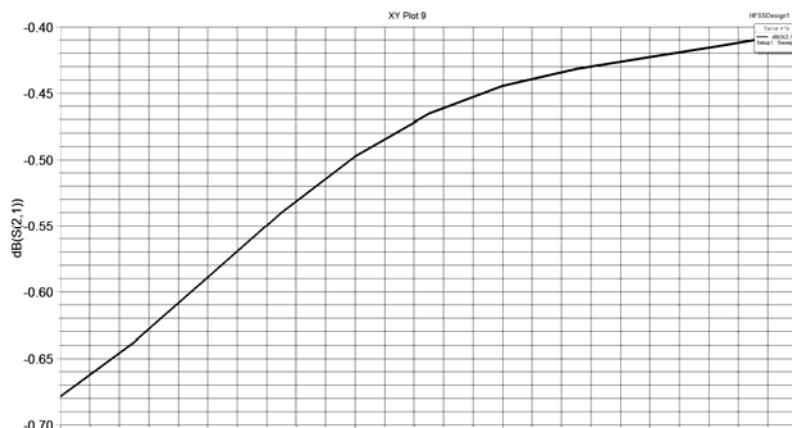


Рис. 5. График модуля коэффициента передачи

Заключение

В статье представлена электродинамическая модель зондового перехода с коаксиальной линии на волновод, интегрированный в диэлектрическую подложку, в результате параметрического анализа получен высокий уровень согласования в полосе частот 1 ГГц. Показанные результаты можно использовать при проектировании волноводно-щелевых антенн на SIW-волноводе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Li Yan; Wei Hong; Guang Hua; Jixin Chen; Ke Wu; Tie Jun Cui, Simulation and experiment on SIW slot array antennas//IEEE Microwave and Wireless Compon. Lett., vol. 14, pp. 446 – 448, Sept. 2004. doi:10.1109/LMWC.2004.832081
2. Arani Ali Khan; Mrinal Kanti Mandal, A Compact Broadband Direct Coaxial Lineto SIW Transition//IEEE Microwave and Wireless Compon. Lett., vol. 26, pp. 894 – 896, Nov. 2016. doi:10.1109/LMWC.2016.2615817

© Л. В. Шебалкова, 2018

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Георгий Алексеевич Куриленко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры прочности летательных аппаратов, тел. (383)361-07-31

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

В работе используется термографический подход для оценки процесса накопления повреждаемости в металлах при их циклическом деформировании. Процесс макро упругого деформирования рассмотрен совместно с термодинамикой микропластических деформаций. Получены формулы для практического расчета потока удельной энтропии, производимой при циклическом деформировании в очаге накопления и развития повреждаемости. Этот поток энтропии разложен на функциональные части, которые удобно использовать при прогнозировании циклической долговечности. Приведены результаты практического использования проведенных исследований.

Ключевые слова: циклическая прочность, температура, энтропия, повреждаемость.

INCREASING THE ACCURACY OF PREDICTION OF METAL CYCLIC STRENGTH

Georgy A. Kurylenko

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Professor, Department of Strength of Aircraft, phone: (383)361-07-31

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

The paper uses a thermo graphic approach to evaluate the process of accumulation of damage in metals during their cyclic deformation. The process of macro elastic deformation is considered together with the thermodynamics of micro plastic deformations. Formulas for the practical calculation of the flux of specific entropy produced during cyclic deformation in the source of accumulation and development of damage are obtained. This entropy flow is decomposed into functional parts, which are convenient to use for predicting cyclic durability. Results of practical use of the conducted researches are presented.

Key words: cyclic strength, temperature, entropy, damageability.

Получение расчетных формул

Работа большинства конструктивных элементов протекает номинально в пределах упругого деформирования. При этом пластические деформации в

макрообъеме работающих деталей отсутствуют, но происходит микроскопическое деформирование отдельных зерен металла, связанное с выделением тепла. Поэтому процесс макроупругого деформирования необходимо рассматривать в тесном единстве с термодинамикой микропластических деформаций.

Это удобно сделать с помощью уравнения энергии, которое для квазистатических необратимых процессов можно записать в виде

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T} \left(\frac{dq}{dt} + \sigma_{ij}^{(D)} \frac{d\varepsilon_{ij}}{dt} \right).$$

Здесь $\frac{dS}{dt}$ и $\frac{dq}{dt}$ соответственно скорости изменения удельной энтропии и количества тепла; T – температура в рассматриваемый момент времени;

$\frac{d\varepsilon_{ij}}{dt}$ – скорость изменения тензора деформаций; $\sigma_{ij}^{(D)}$ – тензор диссипативных напряжений.

Для адиабатических процессов $\frac{dq}{dt} = 0$ и скорость производства энтропии полностью определяется диссипативной функцией

$$dS = \frac{1}{T} \sigma_{ij}^{(D)} d\varepsilon_{ij}. \quad (1)$$

Следует заметить, что понятие энтропии, строго говоря, относится только к медленно протекающим равновесным процессам. Но такие процессы являются идеализированными и в действительности точно никогда не реализуются. Но к ним можно подойти сколь угодно близко. Очень многие реальные процессы, идущие с конечными скоростями, можно считать приблизительно квазистатическими (квазиравновесными). Именно такими являются процессы медленного накопления и развития повреждаемости при многоцикловой усталости металлов, которой и посвящена данная работа.

Известно, что даже при весьма малых амплитудах колебаний зависимость между напряжениями σ и деформациями ε в металлах не остается линейной и при представлении ее в координатах σ - ε наблюдается замкнутая петля механического гистерезиса, площадь которой представляет диссипированную за цикл колебаний энергию, через которую и рассчитывается приращение всей произведенной за цикл удельной энтропии $\Delta S^{(1\omega)}$ по формуле (1).

Рассмотрим колебательный процесс, связанный с реализацией одноосного напряженного состояния. Выражения, описывающие изменение напряжений и деформаций во времени, имеют вид

$$\sigma = \sigma_a \sin(\omega t), \quad \varepsilon = \varepsilon_a \sin(\omega t - \varphi). \quad (2)$$

Из (1) с учетом (2) получаем:

$$|\Delta S^{(1\omega)}| = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} dS = \frac{1}{T} \pi E \varepsilon_a^2 \sin \varphi. \quad (3)$$

С учетом связи между коэффициентом поглощения энергии ψ и $\sin\varphi$ [1] $\psi = 4K_\Phi |\sin\varphi|$ выражение (3) принимает вид

$$\Delta S^{(1u)} = \frac{\psi \pi E \varepsilon_a^2}{4TK_\Phi}, \quad (4)$$

Здесь K_Φ – коэффициент формы петли гистерезиса.

Разложим $\Delta S^{(1u)}$ по формуле (4) на функциональные части:

$\Delta S_2^{(1u)}$ – приращение за цикл колебаний той части производимой энтропии, которая вызывает непосредственный нагрев очага повреждаемости;

$\Delta S_{1n}^{(1u)}$ – поток энтропии, идущий на накопление повреждаемости, т.е. на зарождение и развитие микротрещины;

$\Delta S_{1p}^{(1u)}$ – часть производимой энтропии, связанной с неопасными деформациями в очаге;

$\Delta S_q^{(1u)}$ – поток энтропии, рассеиваемой в окружающую среду в виде тепла;

Формула для расчета $\Delta S_2^{(1u)}$ известна в литературе:

$$\Delta S_2^{(1u)} = c_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \approx c_v \frac{T_2 - T_1}{T_1} \quad (5)$$

Здесь c_v – удельная теплоемкость;

T_1 и T_2 – температуры очага повреждаемости соответственно в начале и конце рассматриваемого цикла колебаний.

Оставшаяся часть приращения энтропии

$$\Delta S_1^{(1u)} = \Delta S^{(1u)} - \Delta S_2^{(1u)} = \Delta S_{1p}^{(1u)} + \Delta S_{1n}^{(1u)}$$

При разложении потока энтропии $\Delta S_1^{(1u)}$ на $\Delta S_{1p}^{(1u)}$ и $\Delta S_{1n}^{(1u)}$ будем опираться на идеи, заложенные в деформационных критериях усталостного разрушения, а именно, исходить из того, что при работе до предела выносливости (т.е. при $\Delta \varepsilon_n \leq \Delta \varepsilon_R$), где $\Delta \varepsilon_n$ – неупругая часть деформации, а $\Delta \varepsilon_R$ – неупругая часть деформации, соответствующая нагружению с амплитудными напряжениями, находящимися на уровне предела выносливости производится только “неопасная энтропия”. При работе за пределом выносливости ($\Delta \varepsilon_n > \Delta \varepsilon_R$) часть энтропии, которая соответствует неупругой деформации $\Delta \varepsilon_{np} = \Delta \varepsilon_n - \Delta \varepsilon_R$, расходуется на необратимые процессы накопления усталостных повреждений, а оставшаяся часть является неопасной. Выражения для подсчета соответствующих приращений удельной энтропии (выраженных через ψ) будут иметь вид:

$$\Delta S_{1p}^{(1u)} = \frac{\psi \pi E \varepsilon_d^2}{4TK_\Phi}, \Delta S_{1n}^{(1u)} = 0 \text{ (при } \sigma_a \leq \sigma_R),$$

$$\Delta S_{1p}^{(1u)} = \frac{\psi_R \pi E \varepsilon_d^2}{4TK_\Phi} - c_v \frac{\psi_R}{\psi} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right),$$

$$\Delta S_{1n}^{(1u)} = \frac{(\psi - \psi_R) \pi E \varepsilon_d^2}{4TK_\Phi} - c_v \frac{\psi - \psi_R}{\psi} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \text{ (при } \sigma_a > \sigma_R),$$

В этих формулах, $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$, ψ_R – коэффициент поглощения энергии, соответствующий работе при амплитудных напряжениях σ_a , равных пределу выносливости σ_R . Формула (6) для подсчета $\Delta S_2^{(1u)}$ остается без изменений.

Обсуждение результатов

Энтропия как функция состояния является наиболее полной диссипативной функцией, поскольку она учитывает интегральным образом буквально все, что происходит в очаге развития повреждаемости, включая температуру. Поэтому использование приращения энтропии в качестве индикатора развития повреждаемости позволило повысить точность прогнозирования усталостной прочности.

Следует заметить, что использование других параметров повреждаемости (обычно это диссипированная энергия) не позволяет разложить их на функциональные части с достаточной для прогнозирования точностью.

Так в работе [2] рассеянная за цикл колебаний энергия $\Delta W^{(1u)}$ разложена на тепловую $\Delta W_T^{(1u)}$ и повреждающую $\Delta W_\pi^{(1u)}$ части:

$$\Delta W^{(1u)} = \Delta W_T^{(1u)} + \Delta W_\pi^{(1u)}.$$

Но при этом не выделена скрытая энергия деформации $\Delta W_p^{(1u)}$, вызывающая неопасное движение дислокаций, поэтому при расчете $\Delta W_\pi^{(1u)}$ в области малых амплитудных напряжений, когда доля $\Delta W_p^{(1u)}$ особенно возрастает, получается большая погрешность, отмечаемая самими авторами.

В схеме разложения [3] из $\Delta W^{(1u)}$ не выделена повреждающая энергия. Это связано, на наш взгляд, с большой погрешностью расчета $\Delta W_\pi^{(1u)}$ при энергетическом подходе.

Введение диссипативной функции $\Delta S^{(1u)}$ и ее разложение позволило использовать различные части этого разложения, которые довольно легко рассчитываются, для решения ряда конкретных задач.

Практическое использование результатов работы

Результатом проведенных исследований явилось решение ряда актуальных задач прикладного характера в области прогнозирования усталостной прочности, которые можно сформулировать следующим образом.

1. Разработан метод ускоренного прогнозирования индивидуального предела выносливости деталей по кинетике приращения удельной энтропии $\Delta S_2^{(1\pi)}$ в очаге накопления повреждаемости [4]. Кривая $\Delta S_2^{(1\pi)} = f(\sigma_a)$ в районе физического предела выносливости имеет резкий излом, абсцисса которого соответствует индивидуальному пределу выносливости испытываемой детали.

2. Разработан метод прогнозирования циклической долговечности как «бездефектных» (без начальных трещин) деталей по кинетике $\Delta S_{1\pi}^{(1\pi)}$, так и деталей, имеющих исходные надрезы. При расчете долговечности бездефектных деталей предварительно определяется ее истинный предел выносливости и коэффициент поглощения энергии на уровне предела выносливости. Эти параметры по разработанной методике определяются с высокой точностью и достоверностью. Затем рассчитывается удельная повреждающая энергия за цикл $\Delta W_{\pi}^{(1\pi)}$ через поток удельной повреждающей энтропии $\Delta S_{1\pi}^{(1\pi)}$, по которой прогнозируется циклическая долговечность [5]. Прогнозирование циклической долговечности деталей с трещинами опирается на кинетику приращения $\Delta S_2^{(1\pi)}$ в кончике трещины, которая также рассчитывается достаточно точно с помощью современной аппаратуры для неконтактного измерения температуры. Строится график скорости роста трещины в зависимости от $\Delta S_2^{(1\pi)}$, который можно рассматривать как термодинамическую интерпретацию традиционной формулы Пэриса. По этому графику рассчитывается циклическая долговечность испытываемой детали с начальной макротрещиной [6].

Погрешность прогнозирования при этом не превышала 30%, что в разы меньше погрешности прогнозирования, определяемой по стандартной методике.

3. Предложен более точный термографический метод определения усилия P_Q , при котором происходит страгивание трещины при вязком и упруго-вязком разрушении, по которому можно рассчитывать характеристики статической трещиностойкости металлов. График зависимости растягивающей образец силы P от ΔS_2 , подсчитываемой в кончике развивающейся трещины, в районе усилия P_Q имеет характерную площадку [7]. По предложенному методу разброс определяемых характеристик трещиностойкости уменьшается на 10–20% и также на 40–50% уменьшается время испытания [8].

4. Разработаны практические методы неразрушающего контроля циклической прочности серийно выпускаемых деталей в производственных условиях и испытательные стенды для их реализации [9,10].

Выводы

Разработаны новые методы прогнозирования циклической прочности металлов и неразрушающего контроля циклической прочности деталей машин, основанные на использовании термодинамического индикатора накопления и развития повреждаемости – приращения удельной энтропии $\Delta S^{(1\omega)}$ в очаге повреждаемости.

Эти методы имеют определенные преимущества в области точности и трудоемкости по сравнению с известными:

- приращение энтропии $\Delta S^{(1\omega)}$ является наиболее полной диссипативной функцией;
- $\Delta S^{(1\omega)}$ разложено на функциональные части, что позволяет в каждой конкретной задаче использовать адекватную этой задаче часть $\Delta S^{(1\omega)}$;
- использование современной ИК техники позволяет вести непрерывное наблюдение за очагом повреждаемости и оперативно выдавать необходимую для расчета информацию;
- информацию о развитии повреждаемости выдает сам испытываемый объект;

Предложенные термографические методы неразрушающего контроля прочности показали свою эффективность в промышленности. Результаты работы внедрены на ряде крупных предприятий в виде действующих испытательных стендов, вписанных в технологические цепочки контроля качества материалов и деталей машин (завод «Сибтекстильмаш» (Новосибирск), Московский машиностроительный завод «Опыт»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В.Т. Трощенко. Киев: Наукова думка, 1981.
2. Гуревич С.Е., Гаевой А.П. Методика экспериментального определения разрушающей энергии при циклическом нагружении // Заводская лаборатория. 1973. №9. С.1110-1114.
3. Федоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел // В.В. Федоров. Ташкент: Фан, 1979.
4. Куриленко Г.А. Способ определения предела выносливости. Авт. свид. №1499167. – Бюл. изобр., №29, 1989, с.154.
5. Куриленко Г. А., Айрапетян В. С. Теоретические основы термографического способа исследования циклической повреждаемости металлов // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 2 (22). – С. 252–259.
6. Kurilenko G.A. Quantitative infrared investigations through the intensity of thermal source in the domain of damaging // Proc. of the 4th Intern. Workshop “Advanced Infrared Technology and Applications”, Firenze (Italy), 1997. P.177-188.
7. Куриленко Г. А., Айрапетян В. С. Определение характеристик трещиностойкости деталей оптико-механических приборов // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3(35). – С. 201–210.
8. Kurilenko, G.A. and Ayrapetyan V.S. (2016) Determination of the Fracture Toughness of Optomechanical Devices. *Optics and Photonics Journal*, 6, 298 – 304.

9. Айрапетян В. С., Куриленко Г. А. Прогнозирование циклического ресурса бездефектных (без начальных трещин деталей) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 49–55.

10. Куриленко Г. А. и др. Установка для высокочастотных резонансных испытаний деталей v-образной формы на усталость при изгибе. Авт. свид. № 1633336. -Бюл. изобр., № 9, 1991, с. 98.

© Г. А. Куриленко, В. С. Айрапетян, 2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛЛИСТИКИ СИСТЕМЫ МР-153 С РАЗДЕЛЕННЫМ ЗАРЯДОМ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Михаил Александрович Кислин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Александр Иванович Сафронов

Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, доктор технических наук, профессор института математики, физики и информационных технологий, тел. (960)834-81-64, e-mail: safr.a@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы создания математической модели для расчета внутренней баллистики выстрела системы МР-153 патроном с разделенным зарядом. Для моделирования процесса выстрела патрона с разделенным зарядом используется гетерогенная модель эстафетной схемы. Проведенные расчеты и эксперименты показали хорошее согласование теории и практики.

Ключевые слова: математическая модель, внутрибаллистические параметры выстрела, скорость пули, разделенный пороховой заряд, самозарядное ружье МР-153.

MODELING THE BALLISTICS OF THE MP-153 SYSTEM WITH A DEVIDED POWDER CHARGE

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Mikhail A. Kislin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special Devices and Technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Alexander I. Safronov

Togliatti State University, 14, Belorussian St., Tolyatti, 445020, Russia, D. Sc., Professor, Institute of Mathematics and Information Technologies, phone: (960)834-81-64, e-mail: safr.a@mail.ru

In work, the issues of creation of mathematical model for calculation of internal ballistics of MP-153 shot system cartridge with a divided charge are considered. For simulation of the shooting process, a cartridge with a separate charge a heterogeneous model of the relay scheme is used. The performed calculations and experiments showed good accordance of theory and practice.

Key words: mathematical model, intra-ballistic parameters, bullet speed, separated powder charge, self-loading rifle MP-153.

Для повышения скорости полета пули за счет увеличения полной массы и метательного заряда без превышения максимального давления пороховых газов можно использовать разделение заряда патрона на несколько частей. В частности, заряд патрона можно разделять на 2 части (бинары).

Патрон бинар снаряжался следующим образом: в пластмассовую капсулированную гильзу калибра 12/70 фирмы Шеддит, Италия, с капсюлем-воспламенителем СХ-2000, засыпался основной метательный заряд из пороха «Сокол» (масса 1,9 г). Сверху на основной метательный заряд устанавливалась картонная диафрагма с наружным диаметром 19 мм. Затем засыпалась дополнительная часть метательного заряда из пороха «Сокол» (масса 0,8 г).

Затем в гильзу помещался пыж-обтюратор и пуля (масса 33,0 г). Гильза патрона заделывалась методом «завальцовка». Высота снаряженного патрона составляла 7 мм. Конструкция пули аналогична конструкции пули патрона «МОНО».

Проведенные эксперименты схемы «бинар» показали, что при реализации среднего максимального давления $P_m = 73,6$ МПа, реализована скорость пули $V_d = 466$ м/с из самозарядного ружья МР-153.

При стрельбе самозарядное ружье МР-153 надежно функционировало и не получило никаких повреждений, что говорит о допустимом давлении пороховых газов при выстреле (на уровне 1000 бар).

Представляет интерес моделирование выстрела «бинар» из ружья МР-153. Для моделирования конструкции нового патрона была использована гетерогенная модель эстафетной схемы [9]. Для удобства проведения расчетов использовалась комбинированная система координат, связанная с дном патрона и с перегородкой рис.1. Ранее [10] решение задачи подгона метаемого элемента на МР – 153 проводилось при разделении заряда на три части на основе модели газопороховой смеси [8].

Расчетная схема представлена на рис. 1.

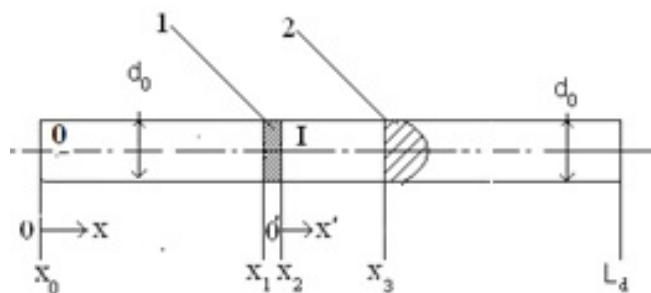


Рис. 1. Расчетная схема «бинар»:

1 – перегородка с отверстием для перетока; 2 – метаемая пуля; 0 – область основного метательного заряда; 1 – область основного дополнительного метательного заряда; d_0 – диаметр цилиндрического канала ружья; L_d – длина ствола с учетом длины патронника

Впервые задача метания, соответствующая решаемой с учетом задержки зажигания частей заряда, была поставлена В.Н. Вилуновым в 1969 г. Была показана эффективность «Эстафетной» схемы с одним присоединенным к метаемому элементу зарядом.

Также, как и в экспериментах, были выбраны параметры заряжения бинар основной метательный заряд из пороха «Сокол» (масса 1,9 г), дополнительная часть метательного заряда из пороха «Сокол» (масса 0,8 г).

Результатирующая расчетная диаграмма $P(t)$ представлена на рис. 1. Расчетная скорость пули при этом составила $V_d = 473$ м/с.

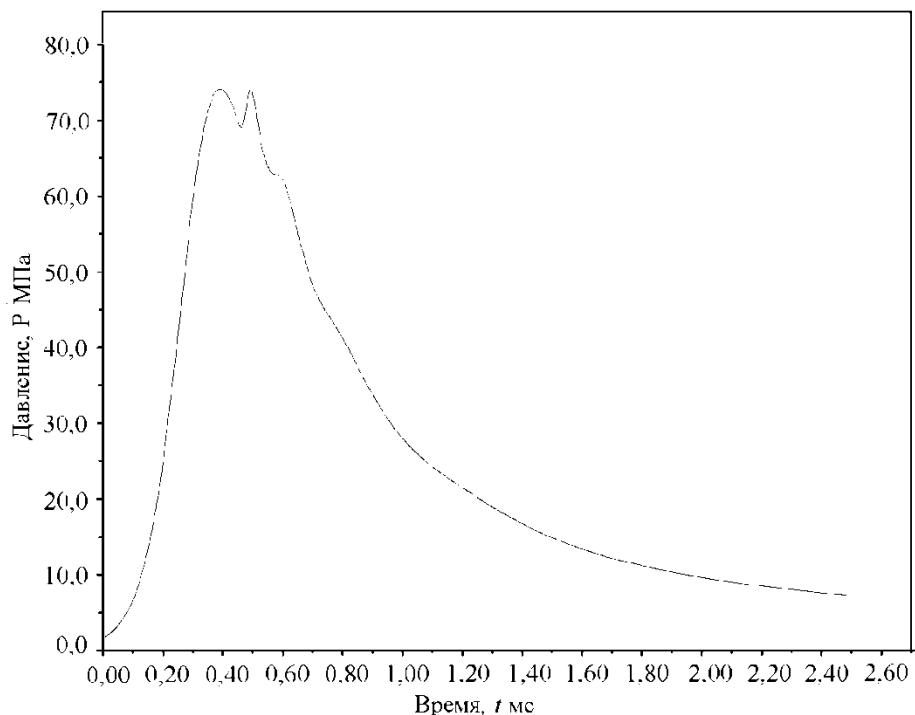


Рис. 2. Расчетная диаграмма $P(t)$

Важно, что так же, как и в эксперименте, в максимуме получена характерная двугорбая кривая давления $P(t)$. Расчетное время начала воспламенения части заряда в области I равно 0,288 мс, что близко к экспериментально определенному значению.

Подобный подход можно использовать при теоретическом анализе баллистических возможностей патрона с разделением его заряда на различное число частей для охотничьего ружья МР-153 с патронником размера 89 мм.

Считается, что вначале воспламеняется часть заряда в области 0, сборка – перегородка, оставшаяся часть заряда и метаемый элемент (пуля или дробовой заряд) начинают движение как единое целое. Затем, через определенное время задержки зажигания, воспламеняется часть заряда в области 1. За счет такой схемы последовательного срабатывания частей заряда при общей массе заряда равной штатной массе заряда в патроне понижается максимальное давление по-

роховых газов в патроннике и суммарный заряд может быть увеличен без превышения допустимого максимального давления для используемого ружья. Импульсы частей заряда подбирались под полученное в экспериментах максимальное давление, примерно 74,0 МПа в патроннике ружья МР-153.

Все максимальные давления расчетных областей приходятся на область патронника. Таким образом, реализуется большее наполнение индикаторной диаграммы максимума по сравнению с длительностью максимума давления в варианте «МОНО».

На срезе ствола ружья расчетная скорость пули массой 33 г равна 473 м/с.

Таким образом, рассмотрена баллистика выстрелов с разделением порохового заряда на две части «бинар», позволяющая повышать скорости метаемых элементов из охотничьего ружья МР-153.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норе́йка Р. М. «Стрелковое тестирование нового серийного высокоскоростного патрона «Искра-М» Новосибирского механического завода». Российский оружейный журнал «Калашников». Оружие, боеприпасы, снаряжение, №10, Санкт-Петербург: ООО «Азимут» 2014, с.54- 57.
2. Зыков В. А., Кислин М. А., Сысков С. П. «Патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU2512815, 28.12.2012.
3. Кислин М. А. «Патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU2512815, 18.10.2005.
4. Кислин М. А. «Патрон для гладкоствольных ружей, патент на полезную модель RU102103, 04.10.2010.
5. Дяттерев М. Е. «Высокоскоростные пулевые патроны «Искра-М» для гладкого ствола». Российский оружейный журнал «Калашников» Оружие, боеприпасы, снаряжение, № 4, Санкт-Петербург: ООО «Азимут» 2014, С. 62–67.
6. Дяттерев М. Е. «Высокоскоростной патрон с разделенным пороховым зарядом «Искра-М». Российский оружейный журнал «Калашников» Оружие, боеприпасы, снаряжение, №3, Санкт-Петербург: ООО «Азимут» 2011, С. 11.
7. Кислин М. А., Маликов А. А. «Патрон для гладкоствольных ружей, патент на полезную модель RU152680, 10.06.2015.
8. Комаровский Л. В., Сафронов А. И. Использование нетрадиционной схемы метания в баллистических системах // Международная конференция по математике и механике: Избранные доклады / Под общ. ред. Н.Р. Щербакова. Томск, 2003. С.182–187.
9. Сафронов А. И., Потапенко В. В. «Анализ и баллистическое проектирование системы с присоединенной камерой подгона». Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. №3(19), 2009 г, с. 212-216.
10. Экспериментальное и теоретическое исследование внутренней баллистики выстрела с разделением порохового заряда / А. И. Сафронов и др. // Материалы IX всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики», Томск: 2016. – С. 161–162.

© В. С. Айрапетян, М. А. Кислин, А. И. Сафронов, 2018

3-дБ КВАДРАТУРНЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ДЦВ ДИАПАЗОНА

Константин Якубович Аубакиров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31

Владимир Павлович Разинкин

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники, тел. (383)346-08-34

Александр Викторович Макеев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (923)241-85-15, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Представлены результаты разработки и экспериментального исследования 3-дБ квадратурных направленных ответвителей с лицевой связью, выполненных на диэлектрических материалах с $t = 0,762$ мм и $\epsilon_r = 3,47$, а также с $t = 1,5$ и $2,0$ мм и $\epsilon_r = 2,55$.

Ключевые слова: квадратурные направленные ответвители, ДЦВ диапазон, усилители ДЦВ диапазона.

AERIAL DIRECTIONAL COUPLERS FOR BROADBAND TRANSISTOR AMPLIFIERS OF DWB RANGE

Konstantin Ya. Aubakirov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Associate Professor, Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (383)361-07-31

Vladimir P. Razinkin

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Professor, Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, phone: (383)346-08-34

Alexander V. Makeev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Post-graduate student, Department of Photonics and Optical Engineering, phone: (923)241-85-15, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

The results of the development and experimental research of 3-dB quadrature directional couplers with a face-to-face connection made on dielectric materials with $t = 0,762$ mm and $\epsilon_r = 3,47$, as well as with $t = 1,5$ 2,0 mm and $\epsilon_r = 2,55$ are presented.

Key words: quadrature directional couplers, DWB range, DWB range amplifiers.

Мостовые схемы сложения сигналов транзисторных усилителей основываются на использовании синхфазных, синхфазно-противофазных и квадратурных устройств деления и суммирования мощности [1]. При этом электрическая развязка и согласование входов (выходов) мостового устройства (МУ) приобретает решающее значение для обеспечения качественных показателей усилителей ДЦВ диапазона, в частности, передающих устройств цифрового телевизионного вещания.

Известные усилительные ячейки фирмы «Motorola» использовали квадратурные МУ следующих типов:

- в виде экранированного отрезка двухпроводной линии (рис.1), расположенного в «подвале» пьедестала, на котором смонтирована соответствующая печатная плата;

- на рис. 2 представлен более технологичный вариант выполнения квадратурных МУ, в виде печатного направленного ответвителя (НО) с лицевой связью. При коэффициенте связи между проводниками $k_{CB} \leq 0,707$ эти квадратурные МУ обеспечивают направленность не хуже $18 \div 20$ дБ в полосе $470 \div 860$ МГц.



Рис. 1. Квадратурный мостовой ответвитель в виде экранированного отрезка двухпроводной линии

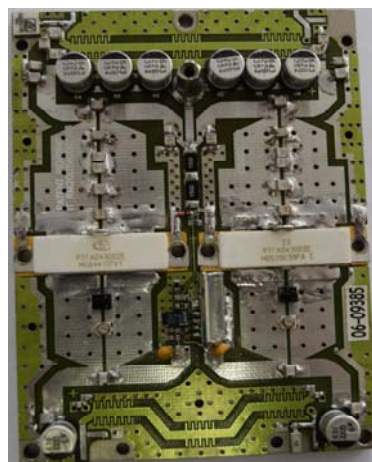


Рис. 2. Печатный квадратурный направленный ответвитель с лицевой связью

Дальнейшие экспериментальные исследования с использованием системы автоматизированного проектирования [2], привели к разработке и исследованию следующих реализаций квадратурных НО:

- на рис. 3, 4 представлены устройства, выполненные на материале Rogers ($t = 0,762$ мм и $\epsilon_r = 3,47$), обладающим хорошей теплопроводностью и адгезией, при металлизации прошивных отверстий платы, в отличие от материалов, содержащих фторопласт. При ширине области связи $w = 3,15$ мм плата (рис. 3) настраивается на коэффициент деления – 3дБ без выводными конденсаторами $C \leq 1,0$ пФ. На плате (рис. 4) сосредоточенные конденсаторы заменены распределенной замедляющей структурой, это потребовало минимальной подстройки, посредством перепайки настроечных площадок. Эти НО широко применялись в усилительных ячейках ДЦВ диапазона при мощности $P_{\text{пик}} \leq 400$ Вт на выходе аналогового телевизионного сигнала.



Рис. 3. Квадратурный направленный ответвитель с лицевой связью (вариант 1)

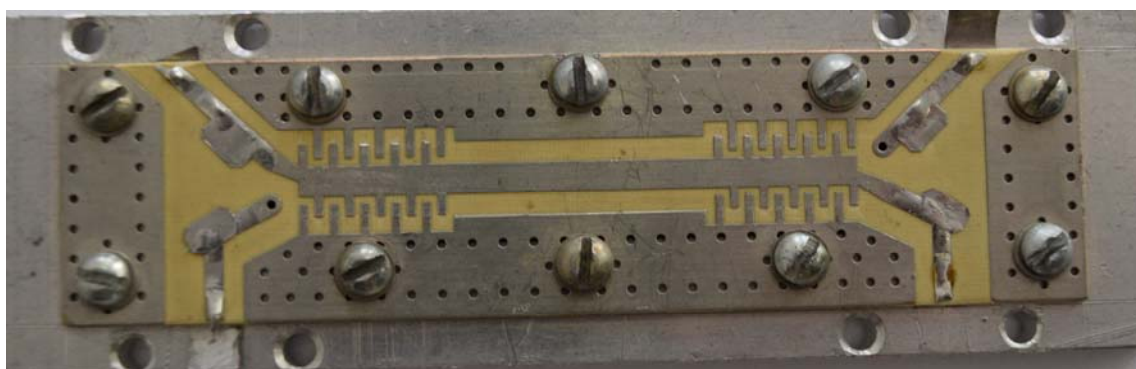


Рис. 4. Квадратурный направленный ответвитель с лицевой связью (вариант 2)

При попытке выполнить на материале Rogers ($t = 1,524$ мм и $\epsilon_r = 3,47$), НО для сложения 2-х и более усилительных ячеек, удовлетворительный результат достигнут не был (направленность ≤ -15 дБ). В то же время для материалов с $\epsilon_r = 2,55$, направленность для НО с лицевой связью, при одновременном использовании замедляющей структуры и согласующего перехода с одной сторо-

ны печатной платы на другую посредством отрезка копланарной линии, получилась не хуже ≤ -20 дБ.

Так на рис. 5, 6 представлены устройства, выполненные на материале ФАФ-4 ($t = 1,5$ и $2,0$ мм при $\epsilon_r = 2,55$). При ширинах области связи $w = 8,2$ и $w = 12,0$ мм эти НО обеспечили суммирование двух и четырех усилительных ячеек, при этом выходная мощность усилительной кассеты (на 4 и 8 транзисторах MRF-377) составила $P_{\text{мк.}} \leq 550$ и 1100 Вт соответственно.

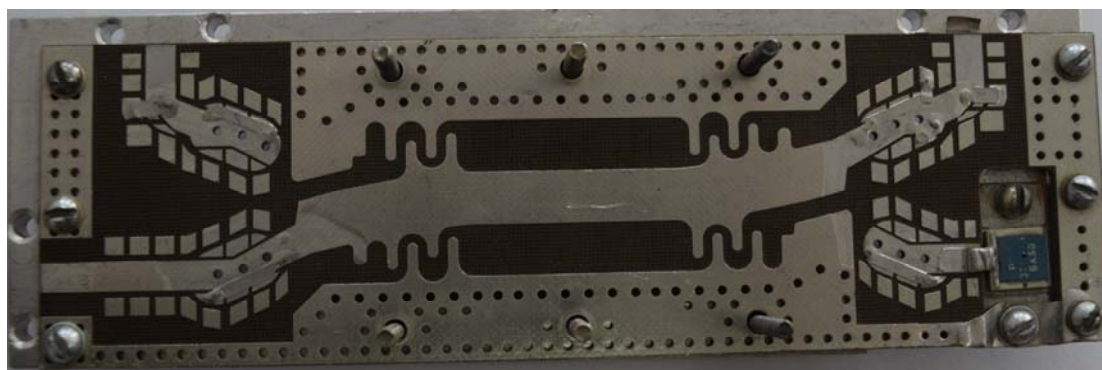


Рис. 5. Квадратурный направленный ответвитель с лицевой связью, выполненный на материале ФАФ-4 (вариант 1)

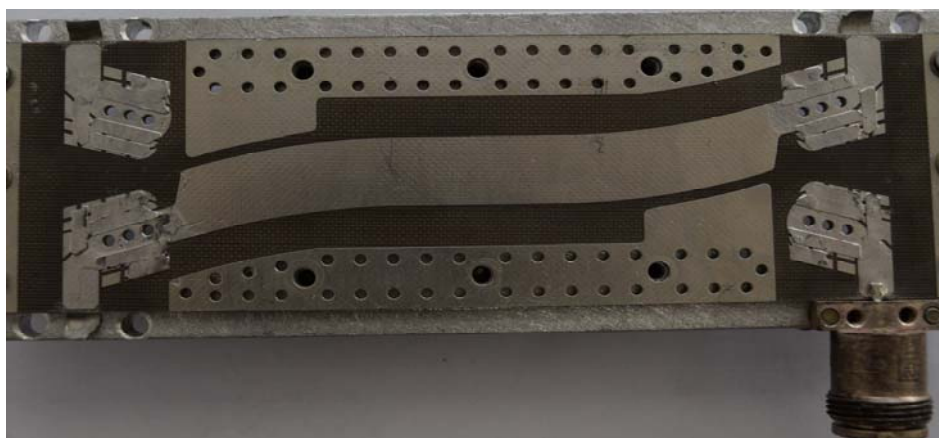


Рис. 6. Квадратурный направленный ответвитель с лицевой связью, выполненный на материале ФАФ-4 (вариант 2)

Электрическая прочность таких устройств суммирования и деления зависит от характеристик диэлектрического материала (качественной металлизации в отверстиях и отсутствия проводящих включений).

Мостовые квадратурные НО на ФАФ-4 требуют глубину «подвала» $h \leq 12$ мм и экранирующей крышки в районе области связи на такой же высоте.

Лучшая направленность рассмотренных, НО была обеспечена структурами, представленными на рис. 4, 5. Для платы рис. 4 направленность НО не хуже –25 дБ.

Работа выполнена по Госзаданию в рамках проекта «Разработка теоретических основ построения измерительного оборудования для телекоммуникационных систем, содержащего мощные СВЧ аттенюаторы, полосовые фильтры с заданными частотами резекции и микрополосковые печатные антенны». Шифр: 8.6847.2017/БЧ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний / В. В. Заенцев, В. М. Катушкина, С. Е. Лондон, З. И. Модель; под ред. З. И. Моделя. – М. : Сов. Радио, 1980. – 296 с.
2. Разевиг В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office [Текст] / В. Д. Разевиг, Ю. В. Потапов, А. А. Курушин. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.

REFERENCES

1. Devices for the addition and distribution of powers of high-frequency oscillations. Zaentsev, V. M. Katushkina, S.E. London, Z. I. Model; Ed. Z. I. Model. - Moscow: Sov. Radio, 1980. – 296 p.
2. Razevig V.D. Designing microwave devices using Microwave Office [Text] / V.D. Razevig, Yu.V. Potapov, A.A. Kurushin. – Moscow : SOLON-Press, 2003. – 496 p.

© К. Я. Аубакиров, В. П. Разинкин, А. В. Макеев, 2018

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПУЛЕВЫЕ БРОНЕБОЙНЫЕ ПАТРОНЫ ДЛЯ 18,5 мм ГЛАДКОСТВОЛЬНЫХ КАРАБИНОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Михаил Александрович Кислин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

В работе рассмотрены вопросы создания высокоскоростных пулевых бронебойных патронов с разделенным пороховым зарядом для 18,5 мм гладкоствольных карабинов специальных.

Экспериментально обоснована конструкция высокоскоростного бронебойного патрона «Тринар-БП» калибра 12/76 с начальной скоростью стальной пули 675 м/с. Показано, что патрон «Тринар-БП» обеспечивает надежную работу автоматики самозарядного гладкоствольного оружия типа МР-153.

Ключевые слова: карабины специальные, оружие, технические и эксплуатационные требования, пуля, баллистический коэффициент пули, выстрел, начальная скорость, поперечник рассеивания, бронепробиваемость.

HIGH VELOCITY BULLET PATRONS FOR 18.5 MM SMOOTHBORE CARBINES SPECIAL

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Mikhail A. Kislin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special Devices and Technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

In work, the issues of creation of high-speed bullet armor-piercing cartridges with the divided powder charge for 18.5 mm smoothbore carbines special are considered.

The design of the high-speed armor-piercing cartridge "Trinar-BP" caliber 12/76 with the initial speed of the steel bullet 675 m/s is experimentally substantiated. It is shown that the cartridge "Trinar-BP" provides reliable operation of the automatic self-loading smoothbore weapon, type MP-153.

Key words: special carbines, weapon, technical and working requirements, bullet, ballistic factor, bullet, shot, initial velocity, diameter of the diffusing.

В настоящее время в связи с актуальностью развития направления по созданию перспективных гладкоствольных карабинов специальных и патронов к ним для вооружения подразделений внутренних дел Российской Федерации для безусловного выполнения оперативно-служебных задач необходимо совершенствовать и создавать новые патроны калибра 12/76 с бронебойной пулей.

Правилами стандартизации ПР 78.01.0033-2016 МВД «КАРАБИНЫ СПЕЦИАЛЬНЫЕ И ПАТРОНЫ К НИМ» от 08.12.2016 определены следующие термины и определения: **Карабины специальные:** 18,5-мм гладкоствольные карабины специальные, предназначенные для физического воздействия (поражения или ранения) правонарушителей и (или) принудительной остановки управляемой ими техники путем выведения из строя основных узлов и агрегатов при выполнении оперативно-служебных задач принятые в соответствии с нормативными правовыми актами Правительства Российской Федерации на вооружение органов внутренних дел Российской Федерации. Карабины имеют гладкий ствол 12 калибра с патронником, позволяющим использовать дробовые и пулевые патроны, в том числе «Магнум», с длиной гильзы 70 и 76 мм. Их отличает надежная работа автоматики, высокая точность изготовления ствола и высокая кучность стрельбы на 100 метров. **Патроны для карабинов специальных:** Боеприпасы 12-го калибра (18,5 мм), предназначенные для выстрела (стрельбы) из 18,5 мм гладкоствольных карабинов специальных, принятые в соответствии с нормативными правовыми актами Правительства Российской Федерации на вооружение органов внутренних дел Российской Федерации. Вероятность безотказной работы патронов должна быть не менее 0,998. Полет пули на все дальности прицельной стрельбы в интервале температур патронов и окружающего воздуха в пределах от минус 30 °С до плюс 50 °С, а также при различных метеорологических условиях должен быть устойчивым и соответствовать величине поперечника рассеивания, указанного в ТУ предприятия-изготовителя.

Из ранее имеющего опыта взаимодействия со специалистами ФКУ НПО «СТиС» МВД России можно сформулировать основные предварительные требования к патрону «Тринар-БП» для карабина специального с данной пулей:

- патрон «Тринар-БП» при стрельбе из баллистического ствола ($L = 500$ мм) на дистанции 50 м должен обеспечивать рассеивание $\Pi_{100} \leq 10$ см. При этом разница между наименьшим и наибольшим значением скорости пули, в баллистической группе из 10 выстрелов, не должна превышать 25 м/с;
- патрон должен обеспечивать безотказность механизмов перезарядки 18,5-мм гладкоствольных карабинов специальных;
- длина патрона «Тринар-БП» в сборе должна быть не более 68 мм и не менее 59 мм;

Испытания патронов «Тринар-БП» по определению пробивной способности необходимо проводить на дистанции 20 м по стальной плите (материал – Ст3) толщиной 10 мм и на дистанции 50 м – толщиной 6 мм.

В патенте на изобретения РФ №2151369 [1] исследовалось влияние скорости полета бронебойной пули на эффективность пробития стальной преграды.

Испытанию подвергали пули типа ПБМ пистолета Макарова, сердечник которых был изготовлен из стали У10 по стандартной технологии, изложенной в патенте на изобретения РФ №2110353 [2]. Масса пули, ориентировочно, 6 г. При этом твердость сердечника составляла 60–63 HRC. Условия испытаний: количество патронов в каждой партии испытаний – 30 штук; преграда выполнялась из стали Ст. 3 толщиной 10 мм; дистанция выстрела–10 м;

Скорость взаимодействия пули с преградой, составляла 500 и 600 м/с.

Результаты испытаний по исследованию количества пробитий стальной преграды из ст.3 толщиной 10 мм приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количество пробитий стальной преграды при различных скоростях
бронебойной пули ПБМ пистолета Макарова

Скорость пули, м/с	Количество пробитий преграды (в процентах)
500	11(38%)
600	18 (60%)

Согласно исследованиям, проведенным в патенте на изобретение РФ №2151369 [1], установлено, что бронебойная пуля на скорости 500 м/с пробивает стальную плиту (материал – Ст3) толщиной 10 мм со значительно меньшей вероятностью, чем на скорости 600 м/с. Это подтверждает необходимость создания высокоскоростных бронебойных патронов со скоростью полета пули 600 м/с и более.

Важно отметить, что в 2004 году была предложена пуля по патенту на полезную модель РФ №45519 [3], которая относится к классу стреловидных охотничьих пуль для гладкоствольного оружия и стабилизируется в полете не за счет вращения вокруг своей оси как пуля пистолета Макарова, а за счет того, что центр тяжести пули находится впереди центра давления сопротивления воздуха движению пули на траектории. Т.е. пуля относится к классу стреловидных пуль. Масса предлагаемой пули составляет 27 г. В состав пули входит бронебойный сердечник массой 14 г с геометрическими размерами: диаметр 10,9 мм; длина 26 мм; угол конуса заостренной части 60°. Для подтверждения работоспособности предлагаемой конструкции пули была изготовлена опытная партия пуль 12-го калибра. С использованием изготовленных пуль были снаряжены патроны с разделенным пороховым зарядом. После отстрела 20 штук патронов из баллистического ружья МЦ-16-12 и самозарядного ружья МР-153 установлено:

- среднее максимальное давление пороховых газов равно 485 кгс/см²;
- средняя скорость пули на расстоянии 10 м от дульного среза равна 490 м/с;
- поперечник рассеивания пуль на дистанции 35 м равен 15 см. При исследовании бронепробиваемости пули установлено, что она пробивает бронеплиту толщиной 10 мм на расстоянии 20 м от дульного среза ружья, что на время экс-

перимента не обеспечивалось ни одной известной бронебойной пулей для гладкоствольного оружия;

Конструкция пули приведена на рис. 1.

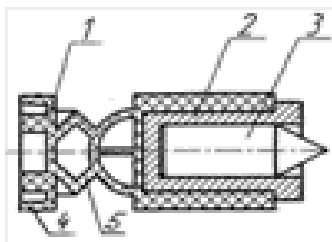


Рис. 1. Бронебойная пуля:

1 – пластмассовый корпус стабилизатор, имеющий обтюрирующую юбку – 4 и амортизирующее устройство – 5; 3 – бронебойный сердечник, размещенный с натягом в металлическом поддоне – 2

Недостатком данного патрона является низкая скорость бронебойной пули и высокая величина рассеивания пули при стрельбе. Сама конструкция пули является калиберной, за счет этого она имеет малую величину поперечной нагрузки – 10 г/см^2 , которая уступает значениям поперечной нагрузки подкалиберных пуль. Подкалиберные пули и снаряды за счет своей высокой поперечной нагрузки сохраняют начальную скорость на больших расстояниях при полете по баллистической траектории.

Важно отметить, что в 2016 году разработан высокоскоростной патрон «Тринар» калибра 12/70 посхеме разделенного порохового заряда (4), обеспечивающий скорость пули массой 22,9 г при стрельбе из гладкоствольного ружья 630 м/с. Данный патрон «Тринар» прошел подконтрольную эксплуатацию СОБР ГУМВД России по Новосибирской области и УПСНиА МВД России письмом исх. №40/363 от 13.04.2016 поручило соответствующим службам начать мероприятия по приемке на вооружение патрона «Тринар» калибра 12/70 для нужд МВД. В связи с этим появилась возможность создания нового патрона под поставленные задачи, – заменить разрушающуюся пулю на бронебойную. В этом случае можно было ожидать, что получится необходимый и высокоэффективный высокоскоростной пулевой патрон для принудительной остановки автотранспорта путем полного или частичного разрушения (выведения из строя) основных узлов и агрегатов, а также нейтрализации правонарушителей, находящихся за преградами.

Для выбора конструкции бронебойной пули были рассмотрены недостатки и преимущества большого количества известных пуль для гладкоствольного оружия. Основными требованиями к пулям являлись:

- масса пули и габариты пули должны быть близки к массе и габаритам пули, использованной в патроне «Тринар» калибра 12/70 [4], который прошел

подконтрольную эксплуатацию в СОБР ГУМВД России по Новосибирской области;

- пуля должна обеспечивать малую величину рассеивания при стрельбе из гладкоствольного оружия калибра 12/76 на дистанциях 50 м и 100 м;

- пуля в составе патрона калибра 12/76 должна обеспечивать прямой выстрел на дистанции от 0 до 100 м;

В 2013 году в патентна изобретение РФ №2537016 [5] была предложена перспективная конструкция пули для гладкоствольного оружия, разработанная на основе конструкции пули Совестра, Франция. Конструкция французской пули Совестра представлена на рис. 2. Однако в настоящее время в России отсутствует технология массового изготовления данных пуль, обеспечивающая приемлемую разумную стоимость пули для поставленных задач.



Рис. 2. Конструкция пули Совестра для гладкоствольного оружия

Изначально гладкоствольное ружье было создано для стрельбы пулями, в этом качестве оно прослужило достаточно долго и весьма успешно. Длительная эволюция ружей и боеприпасов привела к появлению нарезного оружия и к довольно четкому разделению областей применения ружей: нарезные – только для стрельбы пулями, гладкоствольные – для стрельбы дробью и пулями на ограниченных дистанциях. Опыт развития ствольной артиллерии показал, что из хорошо сработанного гладкого ствола можно стрелять так же точно, как из нарезного, если снабдить качественно изготовленный снаряд хорошим стабилизатором. Появление полимеров позволило сделать прорыв в конструкции пуль и в технологии их изготовления. Так, пули Полева, начиная со второй модели Полева-2, снабжены хорошим стабилизатором и во многом напоминают современный подкалиберный снаряд. Именно эти пули показали, насколько современное гладкоствольное ружье удобно для российских охотников своей уни-

версальностью, так как может стрелять дробью на коротких дистанциях и пулями на дистанциях до 100 м. Поэтому за базовую конструкцию бронебойной пули для бронебойного патрона «Тринар-БП» была выбрана конструкция пули Полева-2, оптовая цена которой составляет, ориентировочно, 27 руб. за штуку.

Из технической литературы известно (и это подтверждается расчетами внешней баллистики пули по программе FlowVision – расчет баллистики <https://www.youtube.com/watch?v=dlzmzvosHXo>), что пули при скоростях 430 м/с хуже стабилизируются в воздухе. Пули надо разгонять до начальной скорости 600 м/с и выше, тогда сопротивление воздушного потока относительно пули возрастет, а стабилизация, напротив, улучшается за счет большей силы сопротивления воздуха.

В патронах калибра 12/70 и 12/76 до начальной скорости 600 м/с и выше целесообразно разгонять достаточно легкие пули с массой 22-26 г.

В связи с вышесказанным начальная скорость пули на уровне 600 м/с и выше является оптимальной для стрельбы из 18,5-мм гладкоствольного карабина.

В работах [6,7] приведены результаты испытаний патронов «Тринар» с пулей Полева общей массой 26 г (полетная масса 21 г). Стрельбы проводились на стрельбище ССК «Невский» (пос. Песочный Ленинградской обл.) из самозарядного ружья марки «Breda» с дульной насадкой с сужением 0,25 мм и с прицелом коллиматора марки Aimpoint Micro 2MOA. (Температура воздуха на полигоне -14°C. Температура выдержки патронов в течение 4 часов -14°C). Стрельба велась группами по четыре патрона в каждой группе.

Патрон «Тринар» калибра 12/76 с пулей Полева 26 г. Начальная скорость пули 600 м/с.

Дистанция 50 м.

Одна группа. Поперечник рассеивания 40 мм.

Дистанция 100 м.

Поперечник рассеивания:

- первая группа 70 мм;
- первая группа 110 мм;
- первая группа 85 мм;
- первая группа 80 мм;

Средний поперечник рассеивания из четырех групп на дистанции 100 м-86 мм.

В результате стрельб определено, что для данной пули выстрел получается практически без понижения траектории. Т.е. «прибив прицел в ноль» 18,5-мм гладкоствольного карабина специального с такой пулей на 80 м по всем подходящим целям в диапазоне дистанций от нуля до 100 м можно стрелять с прицела высотой 20 мм в центр убойной зоны диаметром 100 мм без каких-либо предварительных корректировок прицела –настильность траектории и точность пули на высоте (т.е. реализуется прямой выстрел). Высота траектория пули от линии прямого выстрела для данного патрона будет отклоняться на различных дистанциях вверх или вниз согласно расчетным данным, приведенным в таблице 2. Расчеты проведены с помощью баллистического калькулятора [//bahing/hut2/ru/index/html/](http://bahing/hut2/ru/index/html/).

Таблица 2

Отклонение полета пули Полева (масса пули 26 г) патрона «Тринар» 12/76 на различных расстояниях от дульного среза ружья от траектории полета пули при прямом выстреле

10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
0 мм	выше на 10 мм	выше на 20 мм	выше на 30 мм	выше на 30 мм	выше на 30 мм	выше на 20 мм	0 мм	ниже на 20 мм	ниже на 50 мм

Кроме того, с помощью специального оборудования была определена скорость полета пули на дистанции 100 м-336 м/с, что обеспечивает высокую кинетическую энергию пули 1185 Дж. Данная величина кинетической энергии пули достаточна для выполнения оперативно-служебных задач. По значениям начальной скорости пули и скорости пули на дистанции 100 м с помощью баллистического калькулятора bahing.hut2.ru/index.html был рассчитан баллистический коэффициент БК G1 данной пули- 0,07. Поперечная нагрузка пули - 13,6 г/см².

Проведенный анализ позволяет выбрать конструкцию бронебойной пули к патрону «Тринар-БП», являющейся аналогом стальной пули Полева, общий вид которой приведен на рис. 3.



Рис. 3. Конструкция стальной пули Полева ППСт

Из рис. 3 видно, что пуля Полева имеет:

- пластмассовый стабилизатор (черный цвет) с шестью ребрами, которые, для придания вращения пули в воздухе, наклонены **относительно оси пули**;
- металлический корпус (сердечник);

- две отделяемые пластмассовые обкладки (прозрачные) для обеспечения разгона подкалиберного стального сердечника внутри ствола без его соприкосновения со стальной поверхностью ствола;

- пыж-обтюратор (прозрачный), который обеспечивает разгон пули внутри ствола и герметизирует пороховые газы в стволе;

Вид бронебойного сердечника с пластмассовым стабилизатором в полете после вылета бронебойной пули патрона «Тринар-БП» 12/76 из ствола и отделения обкладок и пыжа-стабилизатора приведен на рис. 4. Черный цвет сердечника применяется для отличия обычного стального сердечника пули Полева ППСт от бронебойного сердечника пули патрона «Тринар-БП» 12/76.



Рис. 4. Конструкция бронебойного сердечника с пластмассовым стабилизатором

На рис. 4 приведена конструкция корпуса пули соединенного с пластмассовым стабилизатором, у которого стабилизирующие ребра расположены **вдоль оси пули**. Такое выполнение пластмассового стабилизатора должно быть предпочтительным, так, как из технической литературы известно (и это подтверждается расчетами внешней баллистики пули по программе FlowVision – расчет баллистики <https://www.youtube.com/watch?v=dlzmzvsoHxo>), что установка стабилизирующих ребер под углом к оси пули (например, под углом 7-8 градусов) ухудшает картину равномерного обтекания пули потоком воздуха за счет турбулентности.

Для экспериментального подтверждения влияния угла наклона ребер стабилизатора на поперечник рассеивания пуль типа Полева были изготовлены две опытных партии (10 шт. в каждой партии) пуль с углом наклона ребер стабилизатора 8 градусов и 0 градусов. Обе партии пуль были снаряжены в патроны типа «Тринар» с условиями заряжания, обеспечивающими начальную скорость 600 м/с и отстреляны из ружья МР-153 на дистанции 50 м в бумажную мишень.

Конструкция пули типа Полева, снаряженной в патрон гладкоствольного оружия, при выстреле работает следующим образом: от удара боя ружья срабатывает капсюль-воспламенитель патрона и загорается метательный заряд. Начинает возрастать давление пороховых газов, которые выделяются от сгорания метательного заряда, и происходит разгон пули в стволе. При вылете пули из ствола ружья и полета пули в воздухе пыж-обтюратор отделяется от стабилизатора. При полете в воздухе от корпуса (сердечника пули) совместно со стабилизатором, так как он с натягом установлен на хвостовике корпуса (сердечника) пули, от корпуса (сердечника) пули отделяются обкладки (центрирующие отделяемые элементы). Однако у данной конструкции пули имелись недостатки.

В 2013 году в патенте на полезную модель РФ №140960 (8) были предложены технические решения, которые улучшили технологические и полетные характеристики подкалиберной пули типа Полева.

Повышение технологичности конструкции подкалиберной пули типа Полева и понижение рассеивания пуль при стрельбе из гладкоствольного оружия достигнута выполнением стабилизатора не с глухим как ранее, а со сквозным отверстием и со стабилизирующими ребрами (6 шт.) расположенными вдоль оси пули, а не под углом как было в прежней конструкции пули типа Полева, и выполнением на внутренней поверхности трех обкладок (охватывающих центрирующих элементов), а не двух обкладок как было в прежней конструкции. Важно отметить, что применение трех обкладок вместо двух, как в традиционных пулях, уменьшает колебание (рыскание) пули на траектории при отделении этих обкладок от корпуса (сердечника) пули при ее полете в воздухе. Следовательно, при стрельбе данной пулей уменьшается рассеивание и увеличивается дальность прямого выстрела.

Упрощенная конструкция пули позволяет с меньшей трудоемкостью изготавливать пресс-формы для литья пластмассовых стабилизаторов пули за счет того, что они имеют сквозное, а не глухое отверстие. То же самое относится к конструкции, у которой стабилизирующие ребра выполнены вдоль оси, а не под углом как в традиционных подкалиберных пулях. Это позволяет уменьшить трудоемкость изготовления пресс-формы для литья стабилизаторов данной пули.

Для опытной проверки работоспособности предлагаемой конструкции новой бронебойной пули было изготовлено двадцать пуль подкалиберных с массой стального корпуса (сердечника) пули равной 15,5 г. Наружный диаметр корпуса пули 12,8 мм. (Поперечная нагрузка корпуса пули составляет 12 г/см^2). Во время опытной проверки работоспособности конструкции пули сердечники изготавливались из стали Ст.3. При поставке патронов в спецподразделения МВД сердечники должны будут изготавливаться из стали У10 как рекомендовано в патенте на изобретение РФ №2151369 (1). Общая масса пули вместе с пластмассовым стабилизатором, пыжом-обтюратором и тремя обкладками составляет 21,7 г (полетная масса составляет 16,7 г). Для баллистических испытаний предлагаемой пули подкалиберной было снаряжено двадцать штук патронов калибра 12/76 со следующими условиями заряжания:

- капсюлированная гильза калибра 12/76 с капсюлем-воспламенителем СХ-1000;
- порох Ирбис 24 М (масса 1,1 г) для основного метательного заряда;
- картонная диафрагма толщиной 1,5 мм с наружным диаметром 19 мм и с отверстием диаметром 1,8 мм;
- порох Ирбис 24 М (масса 1,0 г) для дополнительной части метательного заряда;
- картонная диафрагма толщиной 1,5 мм с наружным диаметром 19 мм и с отверстием диаметром 1,8 мм;
- порох Ирбис 24 М (масса 0,9г) для второй дополнительной части метательного заряда;
- общая масса метательного заряда 3,0 г;
- пуля подкалиберная массой 21,7 г, выполненная по рекомендациям работы [6];

Гильза патронов заделывалась методом «завальцовка». Длина патронов составляла 68 мм.

Для выбора условий заряжания данных патронов и для уменьшения объема экспериментальных исследований использовались теоретические расчеты, проведенные по математической методике, приведенной в работе [9].

В результате отстрелов 20 штук патронов по предлагаемому изобретению из самозарядного ружья МР-153 с измерением скорости полета на расстоянии 2,5 метров от дульного среза и кучности стрельбы на 50 метров получено:

- средняя скорость 675 м/с (разброс скорости в группе выстрелов – 20 м/с). Максимальное давление эксплуатационных патронов не превысило прочности ружья МР-153, т.е. было менее 1050 бар;
- поперечник рассеивания при стрельбе, сидя с упора из ружья МР-153 с оптическим прицелом составил 52 мм;

В настоящее время баллистический коэффициент данной пули рассчитать невозможно, так как нет результатов замера скорости полета пули на траектории (например, на 50 или 100 м). Однако при предположении, что баллистический коэффициент для пуль одинаковых конструкций линейно зависит от поперечной нагрузки пули можно, ориентировочно, принять значение баллистического коэффициента БК G1 равным 0,062.

Согласно расчетам, проведенным с помощью баллистического калькулятора bahing.hut2.ru/index.html с учетом баллистического коэффициента 0,062:

- высота траектории пули от линии прямого выстрела для данного патрона будет отклоняться на различных дистанциях вверх или вниз согласно данным, приведенным в таблице №3 (строка 1);
- скорость пули для данного патрона будет изменяться на различных дистанциях согласно данным, приведенным в табл. 3 (строка 2);

Т.е. «прибив прицел в ноль» 18,5-мм гладкоствольного карабина специального с такой пулей на 80м все подходящие цели в диапазоне дистанций от 0 до 100 м можно стрелять с прицела высотой 20 мм в центр убойной зоны диамет-

ром 100мм без каких-либо предварительных перенастроек прицела- настильность траектории и точность пули на высоте (т.е. реализуется прямой выстрел).

Таблица 3

Отклонение траектории (строка 1) полета пули от траектории полета пули прямого выстрела и скорости полета пули (строка 2) на различных расстояниях от дульного среза ружья

10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
ниже на 10 мм	выше на 10 мм	выше на 20 мм	выше на 20 мм	выше- на 20 мм	выше на 20 мм	выше на 10 мм	0 мм	ниже на 20 мм	ниже на 50 мм
635 м/с	592 м/с	553 м/с	515 м/с	480 м/с	445 м/с	415 м/с	389 м/с	366 м/с	346 м/с

Из анализа данных, приведенных в табл. 3, видно, что скорость новойброневой пули патрона«Тринар-БП» массой 16,7 г с поперечной нагрузкой 12 г/см² на дистанции 20 м составляет практически 600 м/с, что обеспечит 100 % пробитие стальной плиты толщиной 10 мм, так как пистолетнаяпуля массой всего 6 г с поперечной нагрузкой 7,6 г/см² со скоростью 600 м/с уже пробивает данную преграду с вероятностью 60 %. Так как скорость пуль одинаковая, то пробивная способность пули будет прямо пропорциональна величине их поперечных нагрузок (12 г/см²и7,6 г/см²). Это значит, что новая броневая пуля сможет с определенной вероятностью пробивать стальную плиту толщиной не более 10 мм.

Модернизация патрона калибра 12/76 за счет применения разделенного заряда на три части (схема «тринар») не потребует вносить патрон «Тринар» калибра 12/76 в Таблицы размеров патронов и патронников ПМК. В связи с этим упрощается его внедрение в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов В. М., Королев В. М., Соломин Н. П., Токмаков В. С. Броневая пуля и способ изготовления броневых сердечников, патент на изобретения RU 2151369, 02.04.1999.
2. Лялин В. М., Токмаков В. С., Юдин Д. И. и др. Способ изготовления стальных броневых сердечников, патент на изобретение RU 2110353, 02.04.1999.
3. Кислин М. А., Пеньков В. А., Гольдинштейн З. М. Броневая пуля для гладкоствольного оружия, патент на полезную модель RU 45519, 15.10.2004.
4. Вандакуров А. Н., Гуськов А. В., Кислин М. А., Милевский К. Е., Шальнев В. А. Разработка высокоскоростного патрона «Тринар» по схеме разделенного порохового заряда с разрушающейся пулей. Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. - 2016. - № 3 (6). - С. 35-38. - (Серия 1: Наука и военная безопасность).
5. Кислин М. А., Зыков В. А. Пулевой патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU 2537016, 13.06.2013.
6. Дяттерев М. Е. Высокоскоростные пулевые патроны «Искра-м» для гладкого ствола // Российский оружейный журнал «Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение». СПб. «Азимут», 2014, № 4, С. 62-67.

7. Блюм А. М. Охотничьи патроны второго поколения// Российский оружейный журнал «Охота и охотничье хозяйство», г. Москва, 2014, № 8, С. 34, 35.

8. Кислин М. А., Зыков В. А. Пуля подкалиберная для гладкоствольных ружей, патент на полезную модель RU 140960, 27.08.2013.

9. Вандакуров А. Н., Гуськов А. В., Кислин М. А., Милевский К. Е., Сафронов А. И., Шальнев В. А. Экспериментальное и теоретическое исследование внутренней баллистики выстрелов с разделением порохового заряда / Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: сб. тр. 9 Всерос. науч. конф., посвящ. 55-летию полета Ю. А. Гагарина, Томск, 21–25 окт. 2016 г. – Томск: Изд-во НИИ ПММ ТГУ, 2016. – С. 161–162. – ISBN 978-5-94621-334-9.

© В. С. Айрапетян, М. А. Кислин, 2018

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ МЕТАНА НА РАННИХ ЭТАПАХ

Семен Викторович Евтушенко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студент, e-mail: evtyshenkosemen@mail.ru

Дмитрий Юрьевич Лех

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студент, тел. (383)346-26-23, e-mail, leh_dmitrii@mail.ru

Антон Антонович Заруев

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студент, тел. (383)3462623, e-mail: anton4shka@gmail.com

Сергей Александрович Кравец

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

Дмитрий Евгеньевич Демидов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: streaks-free.77@mail.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)314-19-57, (905)955-96-69, e-mail: sniios@mail.ru

Газ метан, выделяющийся при добыче породы, скапливается в достаточной концентрации (от 5 %) и становится взрывоопасным. Это основная причина техногенных аварий на угольных шахтах и на горнодобывающих предприятиях. Источник открытого огня в загазованной области может стать причиной взрыва. В данной работе рассматривается система обнаружения возгорания (СОВ). Обработывая сигнал с микроболометрического приемника и приемника видимого диапазона с помощью системы обработки изображения на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), СОВ способна на ранних этапах обнаружить возгорание и задействовать устройства тушения (устройства подавления ударной волны).

Ключевые слова: обнаружение возгорания, алгоритмы обработки информации, матричные микроболометрические приемники, приемники видимого диапазона, система обработки изображения, программируемые логические интегральные схемы.

IN EARLY STAGE METHANE IGNITION DETECTION SYSTEM

Semyon V. Evtysenko

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: evtyshenkosemen@mail.ru

Dmitry Yu. Leh

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: leh_dmitrii@mail.ru

Anton A. Zaruev

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: anton4shka@gmail.com

Sergey A. Kravets

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: santoserg@yandex.ru

Dmitry E. Demidov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: streaks-free.77@mail.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, VII-707, D. Sc., Head of Department of Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)314-19-57, (905)955-96-69, e-mail: sniios@mail.ru

An explosion is the main cause of man-triggered accidents in coal mines. Methane released during mining is accumulated in sufficient concentration (from 5 %) and becomes dangerously explosive. The source of open fire in the gassed area can cause an explosion. This paper describes an ignition detection system (IRS). Proposed system is able to detect fire and activate extinguishing devices (shock wave suppression devices) at an early stage by processing the signal from the microbolometric receiver, the visible band receiver using FPGA.

Key words: ignition detection, FPGA, information processing algorithms, microbolometer array visible band receiver, image processing system.

Цель исследований – создание интегрированной системы безопасности и управления технологическими процессами угольных шахт и технологического промышленного оборудования на основе передовых инновационных технологий с использованием универсальной сетевой инфраструктуры и модулей (подсистем), обеспечивающих решение заданных задач безопасности и управления.

Основание для НИР – продолжение федеральных инновационных программ уровня ФЦП «Современные средства индивидуальной защиты и системы жизнеобеспечения подземного персонала угольных шахт» (2013–2016 гг.).

Система обнаружения возгорания (СОВ) содержит следующие функциональные блоки (рис. 1):

1) Матричный микроболметрический приемник (ММБП) инфракрасного диапазона [1, 2] (рис. 2) регистрирует тепловое излучение окружающей среды.

2) Матричный приемник видимого диапазона регистрирует излучение в видимой части спектра.

3) Высокопроизводительная система обработки изображения состоит из АЦП, программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и микроконтроллера, способных за короткий промежуток времени принять решение о включении устройств тушения.

4) Высокоскоростное взрывобезопасное реле. Осуществляет включение высокоточных средств тушения (подавления взрывной волны)

5) Управляющий микроконтроллер. Управляет работой ПЛИС, передает информацию о состоянии системы в диспетчерскую службу.

6) Цифровой термометр. Измеряет температуру МБП и используется для корректировки его информации.

7) Блок питания/заряда аккумулятора, Li-ion резервный аккумулятор с защитой от переразряда, стабилизаторы напряжения. Система бесперебойного питания обеспечивает СОВ стабилизированным напряжением.

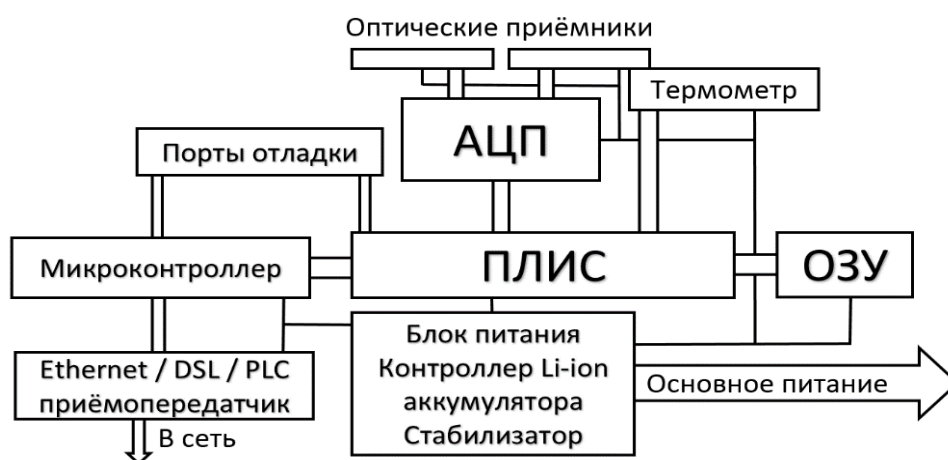


Рис. 1. Система обнаружения возгорания



Рис. 2. Микроболометрический ИК матричный приемник

Методика пересчета чувствительности разных по спектру фотоприемников для многоспектральных оптоэлектронных систем приведена в работе [3].

Матричные микроболометрические приемники, работающие в спектральном диапазоне 8-14 мкм [2-5], не требуют охлаждения для своего функционирования и могут работать без дорогих и сложных криогенных систем и специальных криостатов, применяемых для поддержания низкой рабочей температуры современных охлаждаемых фотонных приемников ИК-излучения на основе антимонида индия, тройного соединения теллурида – кадмия – ртути (КРТ) или многослойных гетероструктур с квантовыми ямами.

Сигналы с ячеек ММБП и фотоприемника видимого диапазона поступают в каскад аналого-цифровых преобразователей. Оцифрованное значение амплитуд сигналов подается на входы программируемой логической интегральной схемы. В ПЛИС на аппаратном уровне реализован алгоритм обработки изображения (АОИ), который состоит из нескольких параллельных независимых методов. Каждый из методов АОИ в качестве результата вычислений выдает число от 0 до N . Затем, эти числа умножаются на коэффициенты значимости и суммируются. Признаком срабатывания считается превышение суммой числа N .

Схема блока обработки изображения приведена на рис. 3, блок работает на частотах от очень высоких (ОВЧ) до ультравысоких (УВЧ) частот на следующих принципах.

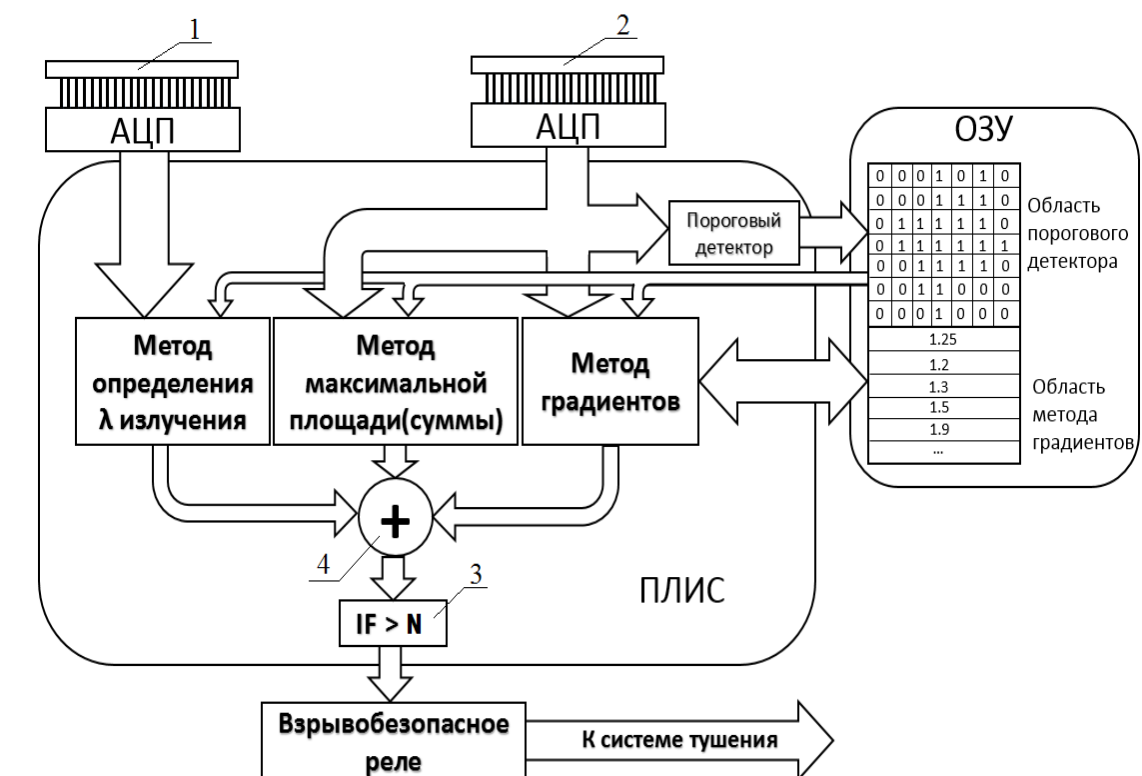


Рис. 3. Схема блока обработки изображений:

1 – матрица приемника видимого диапазона; 2 – матрица ММБП; 3 – блок определения момента срабатывания; 4 – сумматор

Принцип пороговой температуры

Первичный этап алгоритма обработки изображения – проверка на достижение объектом температуры горячей смеси ($t_{\text{пор}}$). Алгоритм позволяет исключить срабатывания СОВ на слабо нагретые объекты (человек, горное оборудование и др.) и, по сути, не является методом, т. к. не дает выходного числа. Ниже приведены примеры АОИ:

Метод градиентов

Сохраняя за некоторое количество тактов (количество тактов зависит от уровня шумов) в оперативную память оцифрованные значения сигнала с ММБП и количество микроболометров (ячеек ММБП), получают излучение с интенсивностью $I_{\text{пор}}$ ($I_{\text{пор}}$ – интенсивность излучения при пороговой температуре).

ПЛИС определяет скорость и направление изменения интенсивности излучения или его площади с течением времени.

Алгоритм задействуется при температуре объекта более $t_{\text{пор}}$. При оптимальном задании скорости роста площади (интенсивности) уменьшается:

- а) время срабатывания СОВ
- б) число ложных срабатываний СОВ по причине появления в кадре объектов с температурой выше $t_{\text{пор}}$, например, двигателей горного и производственного оборудования.

Система обработки информации содержит в себе несколько аппаратно независимых каналов (рис. 4), каждый из них обрабатывает только одну область изображения. Результатом обработки также является число от 0 до N – это усредненное значение выходных чисел каждого из каналов.

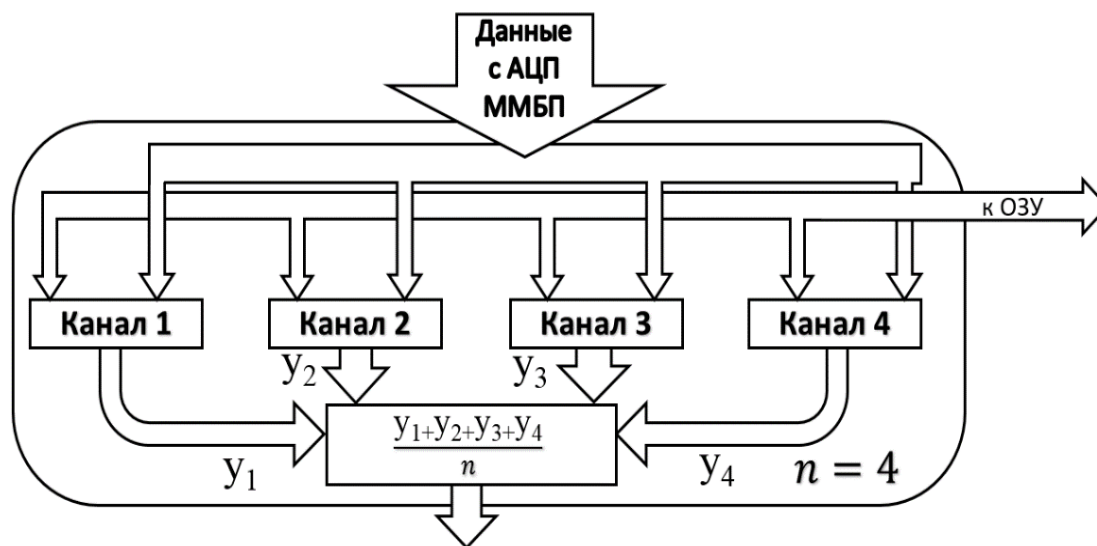


Рис. 4. Структурная схема блока обработки по методу градиентов с четырьмя каналами

Метод определения длины волны излучения

Данные с матрицы видимого диапазона позволяют ПЛИС определить спектр вспышки. Излучение от горения смеси метана и воздуха находится в диапазоне синего спектра. Метод реагирует на появление излучения нужной длины волны в той же области снимаемого пространства, где было зафиксировано превышение пороговой температуры и позволяет сократить время принятия решения.

Метод максимальной площади (суммарный)

Для этого метода опытным путем задается максимальное количество ячеек ММБП, сигнал с которых одновременно превышает пороговое значение. (Или задается максимальное значение суммарной интенсивности ячеек с $t > t_{\text{пор}}$) При достижении этого порогового значения происходит срабатывание высокоточных средств тушения.

Синхронизация поля зрения матриц приемников

Площадь матриц условно поделена на P равных прямоугольных частей ($P = k^2; k \in [3; 15], k \in \mathbb{R}$), а в области ОЗУ метода градиентов выделено P одноканальных ячеек, в которые заносится логическая единица, если в микроболометрах, принадлежащих этой области зафиксировано превышение пороговой температуры. Параметр k зависит от точности совмещения поля зрения матриц. Чем ближе и точнее расположены матрицы (дают одинаковое изображение), тем большим можно задать параметр k , при этом увеличив достоверность обнаружения и вероятность правильного срабатывания. (Естественно, k^2 меньше или равен наименьшему разрешению из двух матричных фотоприемников).

Контроль собственной температуры

При использовании микроболометрического фотоприемника в разных температурных условиях [2-5], необходимо делать поправку на температуру окружающей среды, т.к. микроболометрический элемент регистрирует любое тепловое излучение, в том числе и собственного корпуса. Для температурной адаптации системы и корректировки результатов используется цифровой термометр.

Вывод

Система обнаружения возгорания с фотоприемными устройствами ИК и видимого диапазонов спектра с предложенным методом обработки информации позволит обнаруживать возгорание горючей газовой смеси на раннем этапе, что поможет вовремя включить систему тушения (подавления взрывной волны) и минимизировать человеческие жертвы и материальный ущерб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ovsyuk, V. N. Uncooled microbolometer IR FPA on sol-gel VO / V. N. Ovsyuk, V. V. Shashkin, M. A. Demyanenko [et al.] // Proceedings of SPIE. – 2005. – Vol. 5834. – P. 47-54.

2. Демьяненко М. А., Есаев Д. Г., Марчишин И. В., Фомин Б. И., Овсяк В. Н. Неохлаждаемые матричные микроболометрические приемники инфракрасного диапазона. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово. - № 2-2016. – С. 130-135.

3. Легкий В. Н., Галун Б. В., Баласов И.Ю. Методика пересчета чувствительности фотоприемников многоспектральных оптоэлектронных систем // X международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения», том 5. НГТУ, - Новосибирск, 2010, с.50-54.

4. Легкий В. Н., Галун Б. В., Козлов А. А. Тенденции развития малогабаритных ИК-систем // X международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения», том 5. НГТУ, - Новосибирск, 2010, с.55-58.

5. Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В., Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. // Учебник, - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, - 455 с.

*© С. В. Евтушенко, Д. Ю. Лех, А. А. Заруев,
С. А. Кравец, Д. Е. Демидов, В. Н. Легкий, 2018*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КУМУЛЯТИВНОЙ СКВАЖИННОЙ ПЕРФОРАЦИИ

Екатерина Михайловна Гриф

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, студент, тел. (383)346-11-21, e-mail: grif.2015@stud.nstu.ru

Анатолий Васильевич Гуськов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, зав. кафедрой газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-11-21, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Константин Евгеньевич Милевский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-11-21, e-mail: milevskij@corp.nstu.ru

Надежда Федоровна Чайка

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-91-11

В работе анализируются современные достижения кумулятивной скважинной перфорации, рассматриваются пути дальнейшего развития кумулятивной перфорации и повышения ее эффективности. Предлагается новая модель заряда кумулятивного скважинного перфоратора, позволяющая повысить приток нефти и газа в скважину.

Ключевые слова: перфорация, кумулятивная перфорация, кумулятивный заряд перфоратора, кумулятивная выемка, кумулятивная струя.

FUTURE TRENDS OF CUMULATIVE BOREHOLE PERFORATION

Ekaterina M. Grif

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, phone: (383)346-11-21, e-mail: grif.2015@stud.nstu.ru

Anatoly V. Guskov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Head of Department of Gasdynamic Impulse Devices, phone: (383)346-11-21, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Konstantin E. Milevsky

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Gasdynamic Impulse Devices, phone: (383)346-11-21, e-mail: milevskij@corp.nstu.ru

Nadezhda F. Chayka

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photonics and Instrument, phone: (383)343-91-11

In work modern achievements of cumulative borehole perforation are analyzed, ways of further development of cumulative perforation and increase of its efficiency are considered. The new model of a charge of the cumulative borehole puncher allowing the increase of oil and gas inflow to the well is offered.

Key words: perforation, cumulative perforation, cumulative charge of the puncher, cumulative dredging, cumulative stream.

Основные достижения современной скважинной перфорации

Перфорация скважин (от лат. perforatio – пробуривание) – пробивание отверстий в стенках буровой скважины против заданного участка продуктивного пласта с целью получения или усиления притока воды, нефти, газа в добычную скважину или пласт. Для перфорации скважин применяют взрывчатые вещества (кумулятивная, пулевая и снарядная перфорация скважин) и режущий поток жидкости с абразивными материалами (гидропескоструйная перфорация скважин) [1].

Рассмотрим подробнее четыре существующих способа скважинной перфорации: торпедный, гидропескоструйный, пулевой, кумулятивный. Торпедный способ перфорации – взрыв, производимый при помощи торпеды, входящей в пласт и растрескивающей канал в нем – создает перфорационные каналы глубиной до 160 мм и диаметром до 22 мм. Этот достаточно простой и эффективный способ перфорации применяется также в случаях, когда требуется разрушение пород продуктивных пластов, обрыв скважинных труб, очистка их от песчаных пробок и т.д. В иной ситуации, когда разрушение обсадной трубы крайне нежелательно, торпедная перфорация имеет низкую эффективность: невысокое качество стенок перфорационных каналов и низкая максимальная плотность расположения зарядов (до 4 штук на метр) не дают получить большую площадь пробития скважинной трубы. В отличие от торпедной перфорации, гидропескоструйный способ скважинной перфорации очень деликатно воздействует на обсадную трубу и цементное кольцо. Смесь воды с абразивом, нагнетаемая компрессорами и выстреливающаяся под большим давлением из сопел перфоратора, создает очень глубокие (до 1 м) и качественные перфорационные каналы (щели). Несмотря на ряд перечисленных достоинств, данный способ перфорации имеет существенные недостатки, например, требует очень больших материальных вложений и полного соблюдения технологии работы, а также не может применяться к перфорации пластов, впитывающих жидкость. В отличие от него, пулевой способ перфорации – прострел обсадной трубы и цементного кольца пулями, осуществляемый с помощью детонации взрывчатого вещества – относительно экономичен. С помощью применения пулевых перфораторов создаются перфорационные каналы до 145 мм в длину и до 12,5 мм в диаметре. Настолько же удобным в применении, но еще более эффективным является кумулятивный способ перфорации. Кумулятивные перфораторы включают в себя несколько единиц, а иногда и десятков кумулятивных зарядов, и предназначены для формирования перфорационных каналов в скважине путем пробития обсадных труб, цементных колец и дальнейшего гидро-разрыва продуктивного пласта кумулятивной струей, а также используются для

борьбы с пескопроявлением. При этом перфоратор формирует отверстие, не разрушая зацементированное затрубное пространство. Длина перфорационных каналов в этом случае составляет до 350 мм, а их диаметр – до 24,6 мм. Площадь расположения зарядов на 1 метр – до 16-18 штук, в зависимости от модели перфоратора. Общая площадь пробития обсадной трубы при кумулятивной перфорации ниже, чем, например, при использовании щелевого гидropескоструйного способа перфорации, но именно соотношение эффективности работы и универсальности кумулятивных перфораторов делают этот вид перфорации наиболее распространенным среди остальных.

Универсальность применения кумулятивных перфораторов обуславливается огромным количеством вариаций их конструкций. В целом кумулятивные перфораторы делятся на корпусные и бескорпусные. Первые отличаются тем, что заряды размещены в толстостенном, прочном герметичном корпусе, тогда как во втором заряды помещаются в индивидуальные оболочки из стекла, керамики, сплавов алюминия, пластмассы и т.д. Корпусные перфораторы более щадяще воздействуют на скважину при работе, но имеют малую длину (до нескольких метров), тогда как дешевые бескорпусные имеют ярко выраженное фугасное действие в процессе перфорации, при этом засоряя скважинное пространство обломками взорвавшихся оболочек кумулятивных зарядов, но также отличаются большой длиной (до 30 м).

Несмотря на все достоинства кумулятивной перфорации, такие как большая длина перфорационных каналов, малое воздействие на цементный камень скважины (в случае работы с корпусным кумулятивным перфоратором), большой диапазон конструкторских решений для различных нужд горного дела, данный процесс сопровождается рядом существенных проблем: разрушение цементного камня скважины при слишком большой мощности зарядов перфоратора, плохое качество стенок перфорационных каналов, малый диаметр входных отверстий перфорационных каналов. Разрушение цементного кольца нарушает целостность скважины, выводя ее из рабочего состояния, и приносит убытки нефтедобывающей компании, а плохое качество и маленький диаметр перфорационных каналов не позволяют получить эффективный приток полезных ископаемых, и компания теряет часть возможной прибыли.

Известные перспективы развития кумулятивной скважинной перфорации

Исходя из представленных проблем, выделяют несколько перспективных направлений развития кумулятивной скважинной перфорации.

Во-первых, увеличение глубины пробития перфорационных каналов за счет внесения изменений в конструкцию облицовок, а также использования беспестовых материалов.

Во-вторых, увеличение поперечного сечения перфорационных каналов за счет изменений в конструкции кумулятивной облицовки: добавление кумулятивных резаков, полусферических элементов, комбинаций различных форм стенок кумулятивной выемки.

В-третьих, повышение качества стенок перфорационных каналов достигается за счет использования различных отдельных материалов или их комбинаций при изготовлении кумулятивных облицовок.

Но нельзя не отметить, что эффективно совместить перечисленные выше направления довольно проблематично. Современные технологии и разработки в области материаловедения позволяют добиваться длинных перфорационных каналов с достаточно ровными и гладкими стенками, а вот осуществить сочетание длины, большой площади поперечного сечения и хорошего качества стенок каналов непросто: при усложнении кумулятивной облицовки различными выступами, резаками с целью увеличения площади пробития качество стенок перфорационных каналов неизменно ухудшается. Усовершенствуются конструкции кумулятивных воронок, применяются беспестовые материалы для кумулятивных облицовок, но добиваться окончательного эффективного результата приходится плотностью размещения кумулятивных зарядов.

Сложность получения эффективного результата по всем трем параметрам можно объяснить тем, что кумулятивные заряды перфораторов, задействованные в современной нефтедобывающей промышленности, имеют определенную форму кумулятивной облицовки – коническую (или ее производные). В теории струеобразования кумулятивная струя, получаемая схлопыванием конической облицовки, описывается как длинная тонкая металлическая проволока, двигающаяся продольно с очень большой скоростью [2]. То есть, можно отметить, что возможности максимального диаметра пробития при использовании кумулятивных конических воронок весьма ограничены. Это подтверждают характеристики кумулятивных перфораторов, в данный момент представленных на рынке нефте- и газодобычи. К примеру, в каталоге французской компании Schlumberger [3], мировых лидеров организации процессов нефтедобывающей промышленности, представлены кумулятивные заряды с конической формой выемки, при этом максимальный диаметр входного перфорационного канала для этих зарядов не превышает дюйма, то есть, по сути, эффективность добычи ископаемых достигается преимущественно количеством единиц зарядов.

Также стоит отметить, что кумулятивные заряды перфораторов, зарегистрированные в патентных ведомствах, в большинстве своем также имеют форму кумулятивной выемки, близкую к конической и (или) ее производным. Отличия от стандартной формы, выраженные добавлением кумулятивных резаков и полусферических частей в облицовку, позволяют в некоторой степени увеличить площадь пробития, но, как было сказано выше, при этом страдают качество и дальность пробития перфорационных каналов.

Выделение нового перспективного направления кумулятивной скважинной перфорации

Задача данной разработки – создание модели заряда кумулятивного перфоратора, отвечающей как требованиям к качеству стенок перфорационных каналов, так и позволяющей перфорировать каналы с большой площадью поперечного сечения. Использование данного заряда (рис. 1) возможно унитарно

или в составе кумулятивного перфоратора. Решение поставленной задачи достигается добавлением уникальной формы кумулятивной облицовки [4]. В заряд добавляется не только коническая кумулятивная выемка, но и кольцевая. Эффективное обжатие кумулятивных облицовок достигается за счет установки линзового узла с комбинацией дополнительных взрывчатых веществ [5], тем самым обеспечивая образование и кумулятивной струи, и кольцевой кумулятивной пелены.

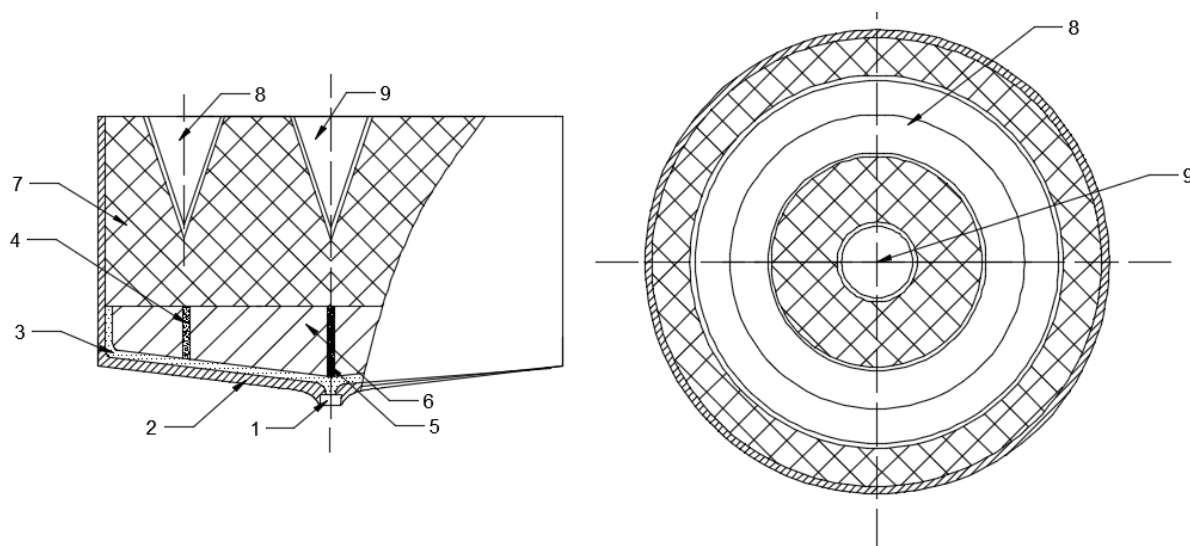


Рис. 1. Кумулятивный скважинный перфоратор:

1 – средство инициирования; 2 – корпус; 3, 4, 5 – вспомогательные взрывчатые вещества; 6 – линзовый узел; 7 – основное взрывчатое вещество; 8 – кольцевая кумулятивная выемка; 9 – коническая кумулятивная выемка

Теоретическое распространение детонационных волн представлено ниже (рис. 2):

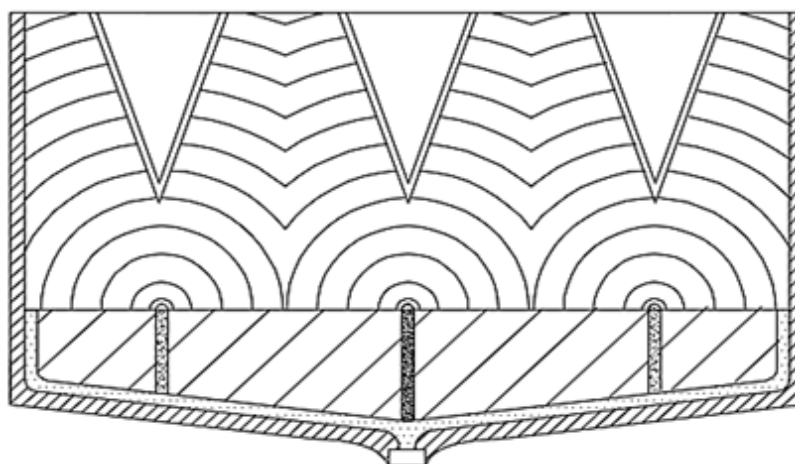


Рис. 2. Детонация в заряде кумулятивного скважинного перфоратора

Результатом работы скважинного кумулятивного заряда перфоратора является пробитие трубчатого и кольцевого перфорационных каналов (рис. 3):

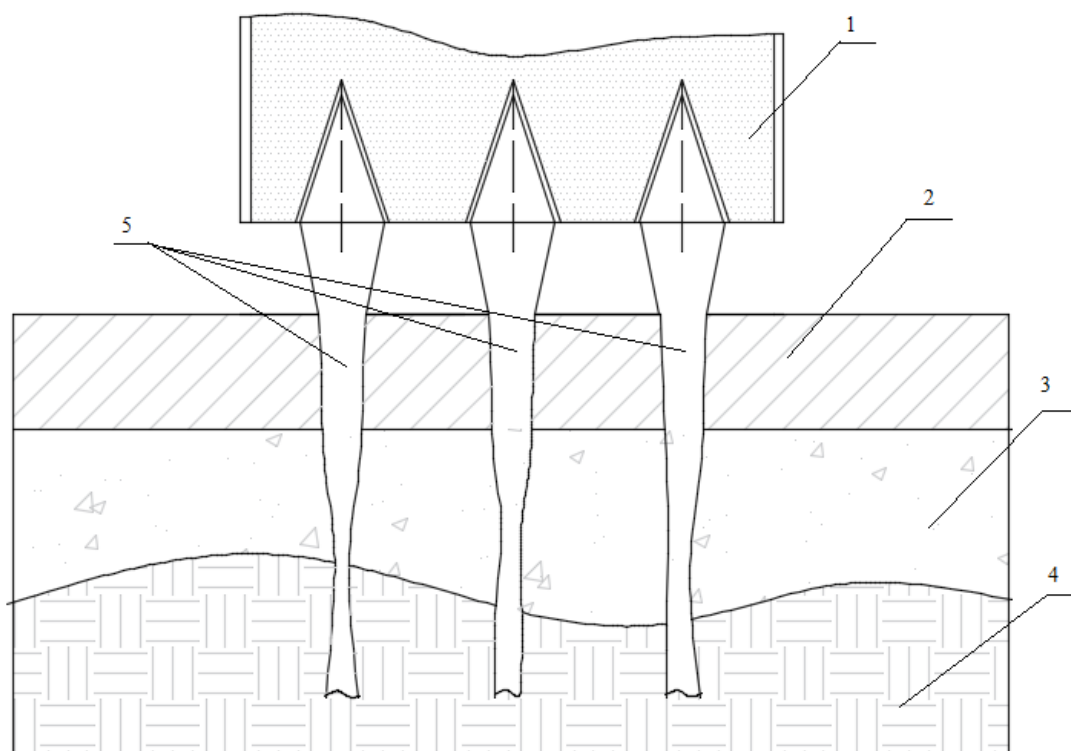


Рис. 3. Схема работы скважинного кумулятивного заряда перфоратора:

1 – кумулятивный заряд; 2 – обсадная труба; 3 – цементное кольцо; 4 – продуктивный пласт; 5 – перфорационные каналы

За счет увеличившейся массы кумулятивной облицовки заряда, достигнутой изменением ее формы, на выходе мы получаем отверстие большей площади, что повышает эффективность перфорационных работ. Также стоит отметить, что представленная модель конструкции кумулятивного заряда перфоратора предполагает возможность использования подходов, разработанных для улучшения характеристик зарядов кумулятивных скважинных перфораторов с конической кумулятивной выемкой (и/или ее производными). Например, в области изменений в общей конструкции корпуса, области использования новейших материалов, а также их комбинаций для усовершенствования кумулятивных облицовок. Отдельно стоит отметить, что к модели заряда кумулятивного перфоратора применимо и использование новейших изменений в принципах конструкции кумулятивных выемок. Данный заряд возможно адаптировать под любые нужды кумулятивной перфорации: для его использования как для работ, требующих наименьшее механическое воздействие на скважину, так и для работ, где более важны диаметр и длина перфорационных каналов.

Выводы

Помимо трех известных перспективных направлений развития кумулятивной скважинной перфорации:

- увеличения площади поперечного сечения каналов за счет изменений в конструкции кумулятивных облицовок зарядов;
- увеличения длины пробития перфорационных каналов за счет использования новых конструкций и материалов кумулятивных облицовок зарядов;
- улучшения качества стенок перфорационных каналов за счет использования при изготовлении кумулятивных облицовок различных новых материалов, а также их комбинаций,

Можно выделить еще одно перспективное направление:

- использование новых форм кумулятивных облицовок, отличных от конической и ее производных.

Таким образом, перенимая существующий опыт в использовании порошковых беспестовых облицовок, конструкции выемок и корпусов зарядов и внедряя его при проектировании изделий нового типа, возможно в дальнейшем многократно повысить эффективность вторичного вскрытия продуктивных пластов и, что следует из этого, прибыльность добычи нефти и газа в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перфорация скважин URL: <http://www.mining-enc.ru/> (дата обращения 10.03.2018)
2. Мишнев В. И., Гуськов А. В., Милевский К. Е., Тришин Ю. А. Кумулятивное струеобразование: лабораторный практикум для 4 курса ФЛА (специальности 171400, 330500, 120400) дневной формы обучения. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – С. 7
3. Корпусные перфорационные системы. URL: <http://www.slb.ru/> (дата обращения 15.03.2018)
4. Патент 145068U1 Россия, МПК В64G 99/00 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Иноземцева К.О., Слесарева Е.Ю.)
5. Высокоэнергетические материалы: учеб, пособие / В.В. Андреев, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – С. 135

© *Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, 2018*

ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ СРЕДЕ

Павел Аркадьевич Фомин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии; Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Описаны эксперименты по инициированию ударной волны в химически активной пузырьковой смеси путем отражения детонационной волны от ее поверхности. Наличие пузырьков и отражение волны приводят к механическому перемешиванию фаз (срыв микрокапель с возмущенной поверхности жидкости, кумулятивные струйки, султан-эффект), что существенно интенсифицирует межфазный тепло- и массообмен на границе жидкости и газа.

Описано устройство для инициирования ударной волны в пузырьковой среде путем механического удара о ее поверхность свободно падающего твердого тела со скоростью нескольких метров в секунду.

Ключевые слова: пузырьковая жидкость, взрыв, инициирование, газовая детонация, поверхность, механическое перемешивание фаз.

INITIATION OF EXPLOSIVE PROCESSES IN CHEMICALLY ACTIVE BUBBLE LIQUID

Pavel A. Fomin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology; Lavrentiev Institute of Hydrodynamics, 15, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, phone: (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Experiments on the initiation of a shock wave in a chemically active bubble mixture by reflection of a detonation wave from its surface are described. The presence of bubbles and reflection of the wave lead to mechanical mixing of the phases (disruption of microdrops from the perturbed surface of the liquid, cumulative jets, sultan effect), which greatly intensifies the interfacial heat and mass transfer at the boundary of the liquid and gas.

A device for initiating a shock wave in a bubble environment by a mechanical impact on its surface of a solid freely falling body at a velocity of several meters per second is described.

Key words: bubble liquid, explosion, initiation, gas detonation, surface, mechanical mixing of phases.

Работа посвящена исследованию процесса инициирования ударных волн в химически активных пузырьковых смесях. Актуальность исследований обусловлена необходимостью решения проблемы обеспечения взрывобезопасности химических реакторов, в которых осуществляется жидкофазное окисление углеводородов.

Описаны эксперименты по инициированию ударной волны в химически активной пузырьковой смеси путем отражения детонационной волны от ее поверхности (рис. 1). Видеосъемка производилась цифровой камерой Shimazu со скоростью 500 000÷1 000 000 кадров в секунду.

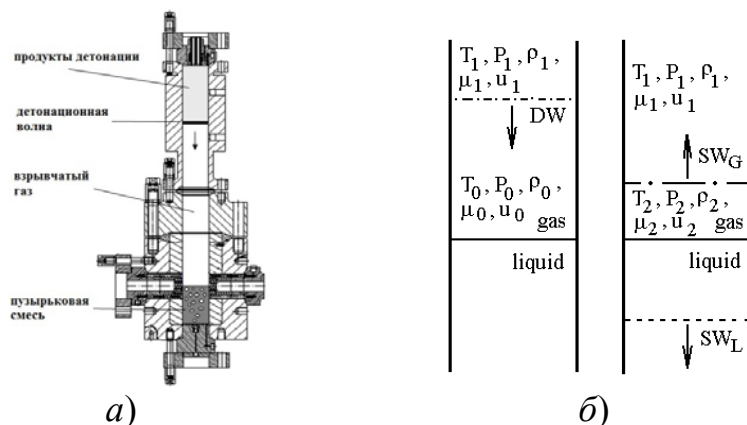


Рис. 1. Схема установки для исследования взрывных процессов в химически активной пузырьковой смеси (а) и принципиальная схема отражения газовой детонации от границы раздела фаз (б)

Скоростная видеосъемка процессов, происходящих на поверхности жидкости (рис. 2, [1]), показывает, что наличие пузырьков, приводящих к возмущениям поверхности жидкости, и отражение волны, приводят к механическому перемешиванию фаз (срыв микрокапель с возмущенной поверхности жидкости, кумулятивные струйки, разрушение жидкого мениска, султан-эффект вследствие несимметричного схлопывания пузырьков вблизи поверхности жидкости), что существенно интенсифицирует межфазный тепло- и массообмен на границе жидкости и газа.

Рассматриваемый метод генерации ударной волны (УВ) в жидкости путем отражения детонационной волны (ДВ) от ее поверхности обладает рядом существенных недостатков. Прежде всего, метод предъявляет жесткие требования по взрывобезопасности газовых смесей. Это оказывает высокие требования к оборудованию, уровню подготовки персонала, транспортировке, хранению и использованию взрывчатого газа, и существенно повышает стоимость экспериментов.

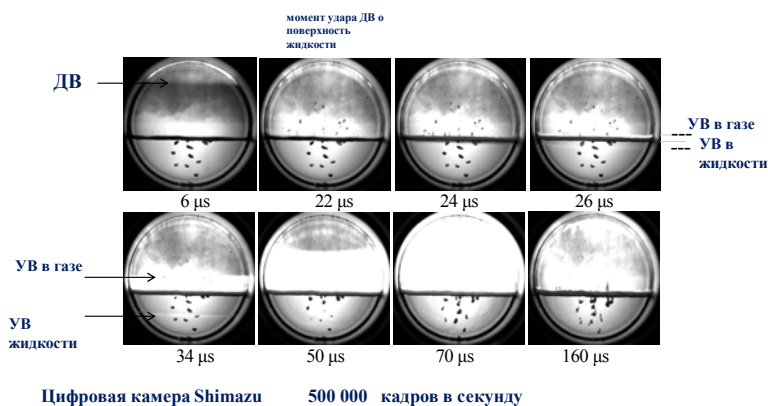


Рис. 2. Высокоскоростная видеосъемка отражения детонационной волны от поверхности жидкости. Пузырьки кислорода находятся в жидком циклогексане. Детонационная волна распространяется по газу с химическим составом $C_2H_2 + 3O_2$

Описано устройство для инициирования ударной волны в пузырьковой среде путем механического удара о ее поверхность свободно падающего твердого тела со скоростью нескольких метров в секунду (рис. 3). Подобный способ инициирования ударной волны является взрывобезопасным и позволяет легко варьировать параметры и длительность волны. Расчет производился методом Р-У диаграмм. Для заданной амплитуды и длительности УВ сделан расчет (i) первоначальной высоты положения тела над поверхностью жидкости и (ii) его толщины. Расчет проведен для ряда металлов (сталь, медь, алюминий, латунь) и пластика (полистирол). Показано, что для возбуждения ударной волны в жидкости амплитудой примерно сотни атмосфер и длительностью немало десятков микросекунд, толщина тела должна быть несколько десятков сантиметров, а его скорость в момент удара – порядка нескольких метров в секунду.

Преимущество рассматриваемого метода по сравнению с традиционно используемым, основанном на отражении ДВ от поверхности жидкости, состоит в (i) отсутствии требований к взрывобезопасности химически активных газовых смесей, (ii) легкости в изменении амплитуды ударной волны, (iii) возможности получения слабых ударных волн и (iv) относительной легкости технической реализации данного метода.

Недостатки данного метода обусловлены воздушной прослойкой между телом и границей раздела фаз. Эту проблему можно частично обойти, обеспечив удар падающего твердого тела по поверхности другого, слегка погруженного в пузырьковую жидкость. Поверхности жидкости и поверхности твердых тел могут быть слегка не параллельны. Это также приведет к сглаживанию профиля давления на фронте ударной волны и уменьшению ее амплитуды.

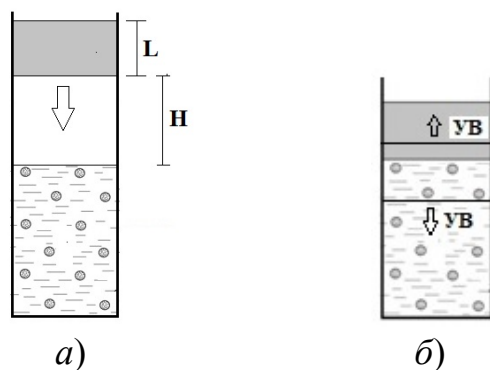


Рис. 3. Принципиальная схема генерации ударной волны в жидкости при ударе свободно падающего тела о ее поверхность:

а) момент начала падения тела; б) момент времени после удара тела о поверхность жидкости и генерации УВ

Сделан расчет суммарной массы жидкого циклогексана m , которая способна испариться при теплообмене с горячими продуктами детонационной волны (суммарной массой M), распространяющейся по смеси $C_2H_2 + 3O_2$. Видно (рис. 4), что суммарная масса жидкости, способная к испарению, на порядок превышает массу горячих продуктов детонационной волны. Механическое перемешивание фаз, существенно интенсифицирующее межфазный тепло- и массообмен, и большой запас тепловой энергии в детонационных продуктах, могут приводить к тому, что после детонации газовой смеси над поверхностью жидкого горючего, приводящего к разрушению корпуса химического реактора и притоку свежего воздуха, может образоваться свежая взрывчатая смесь, способная к последующему взрыву. Подобный процесс может повторяться несколько раз.

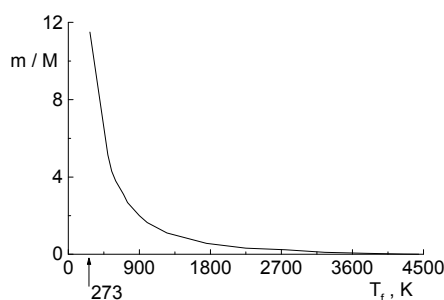


Рис. 4. Расчет массы жидкого циклогексана, которая может быть испарена путем теплообмена с продуктами газовой детонации, распространяющейся по смеси $C_2H_2 + 3O_2$

Ударно-волновое инициирование пузырьковых систем имеет отношение к взрывобезопасности химических реакторов, инициированию пузырьковой детонации, взрыву конденсированных взрывчатых веществ и созданию мощных периодических акустических сигналов в воде («акустического лазера» [1]).

В работе показано, что процесс инициирования ударных волн в химически активных пузырьковых смесях сопровождается механическим перемешиванием газа и жидкости. Это может приводить к образованию новой взрывчатой смеси и вторичным взрывам. Чтобы избежать подобного негативного сценария, необходимо инициировать ударные волны в химически активных пузырьковых смесях ударом твердого тела о поверхность раздела фаз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров А. В., Федорова Н. Н., Фомин П. А., Вальгер С. А. Распространение взрывных процессов в неоднородных средах. Новосибирск: Параллель, 2016, 258с., ISBN 978-5-98901-183-4.

REFERENCES

1. Fedorov, A.V., Fedorova, N. N., Fomin, P. A., Walger, S. A., (2016). Propagation of explosive processes in inhomogeneous media. Novosibirsk: Parallel, 2016, 258с., ISBN 978-5-98901-183-4.

© П. А. Фомин, В. С. Айрапетян, 2018

ОЦЕНКА И ДЕМПФИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ АЭРОУПРУГОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАТОРОВ БЛА С КОНФОРМНЫМИ АНТЕННАМИ

Александр Григорьевич Черевко

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой физики, тел. (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

Александр Александрович Черевко

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: cherevko@mail.ru

Юрий Вячеславович Моргачев

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, инженер лаборатории физических основ телекоммуникаций, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

Представлены численные расчеты влияния аэроупругости на погрешности лоцирования. Предложен метод, с помощью которого данные влияния могут быть демпфированы при помощи установки датчиков деформаций на БЛА в точки, определяемые моделированием, учитывающим аэроупругость.

Ключевые слова: аэроупругость, компенсация, деформация, конформная антенна, локатор.

ESTIMATION AND DAMPING OF THE AEROELASTICITY EFFECTS ON THE EFFICIENCY OF LOCATORS WITH A CONFORMAL ANTENNA

Alexander G. Cherevko

Siberian University of Telecommunications and Information Science, 86, Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Physics, phone: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

Alexander A. Cherevko

Lavrentiev Institute of Hydrodynamics, 15, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: cherevko@mail.ru

Yury V. Morgachev

Siberian University of Telecommunications and Information Science, 86, Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russia, Engineer, Laboratory of Physical Fundamentals of Telecommunications, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

The possibility of a passive single-position determination of the distance to the object and its radial velocity of is considered. The proposal is justified by a patent.

Key words: passive locator, distance, radial velocity.

Современные конструкции ЛА обладают достаточно большой гибкостью, и эта гибкость является основной причиной различных явлений аэроупругости, т.к. деформации конструкции возбуждают дополнительные аэродинамические силы. Эти дополнительные аэродинамические силы могут вызвать дополнительные деформации конструкции, которые могут привести к возбуждению еще больших аэродинамических сил. Взаимодействие между силами инерции, аэродинамическими и упругими силами могут привести к различным результатам: деформации могут уменьшаться до тех пор, пока не будет достигнуто состояние устойчивого равновесия – статические явления аэроупругости, в противном случае могут возникнуть колебания конструкции – динамические явления аэроупругости [1–3].

Аэроупругие колебания конструкций планера могут вызывать колебания закрепленной на нем антенной решетки (АР). Это, в свою очередь, вызовет пространственное смещение фокуса и, как следствие, потерю отслеживаемой радиолокатором цели. При современном уровне развития радиолокации возможно использование на летательном аппарате фазированных антенных решеток (ФАР), которые позволяют управлять положением фокуса с большой скоростью, сравнимой со скоростями смещения АР при их колебаниях. Это открывает возможность компенсации смещений фокуса, вызванных колебаниями.

Такая компенсация будет особенно эффективна, если удастся вычислять деформации конструкций планера за некоторое время до их возникновения.

Метод решения этой задачи будет рассмотрен на примере крыла, имеющего типичные для беспилотных летательных аппаратов (БЛА) форму и размеры. В то же время этот метод может применяться и для любых других элементов конструкции планера.

Пусть на крыле расположены датчики, по данным с которых могут быть восстановлены смещения крыла в точках крепления их. Предварительно при проектировании системы упреждающего управления ФАР должны быть изучены моды аэроупругих колебаний планера с АР с учетом его конструктивных особенностей и возможных режимов полета. Эти данные закладываются в бортовую ЭВМ и используются для предсказания смещения АР по данным с датчиков. Структурная схема построения системы упреждающего управления ФАР приведена на рис. 1, 2.

Проверка возможности восстановления информации о колебаниях крыла по данным с датчиков была проведена путем компьютерного моделирования в пакете ANSYS, который допускает как решение задач аэродинамики, так и задач деформации конструкции, а также предоставляет возможность быстрого вывода результатов расчета в удобном для пользователя графическом виде с возможностью наглядного просмотра распределений различных физических величин и их анализа. Расчет проводился для крыла в виде оболочки без внутренних подкреплений со стандартным симметричным профилем NACA 0010, изображенным на рис. 3. Длина хорды крыла – один метр, толщина профиля – 0.2 м, длина крыла – 5 метров, толщина оболочки – 0.01 м. Материал – алюминиевый сплав АД33. Один из концов крыла жестко закреплен.



Рис. 1. Структурная схема построения системы упреждающего управления ФАР

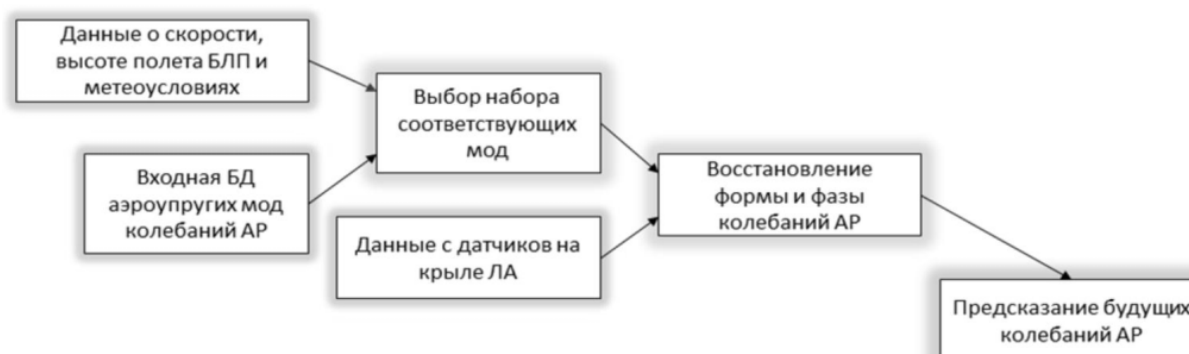


Рис. 2. Структурная схема использования упреждающего управления ФАР в части аэроупругих колебаний

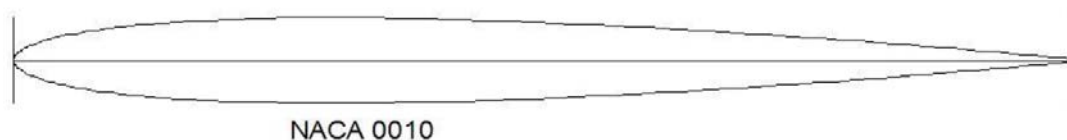


Рис. 3. Профиль крыла

Для данного крыла были рассчитаны первые девять собственных колебательных мод крыла. На рис. 4 приведены деформации, соответствующие первым трем собственным частотам колебаний (дальний конец крыла закреплен). Слева приведена шкала, возле которой подписаны абсолютные значения де-

формации (в метрах), т.е. отклонения точек крыла от положения, которое они имели до взлета. Выше указана соответствующая частота собственных колебаний (например, на первом рисунке – 4.8329 Герц). Изображение модели крыла раскрашено в соответствии с величиной деформации при максимальном отклонении крыла.

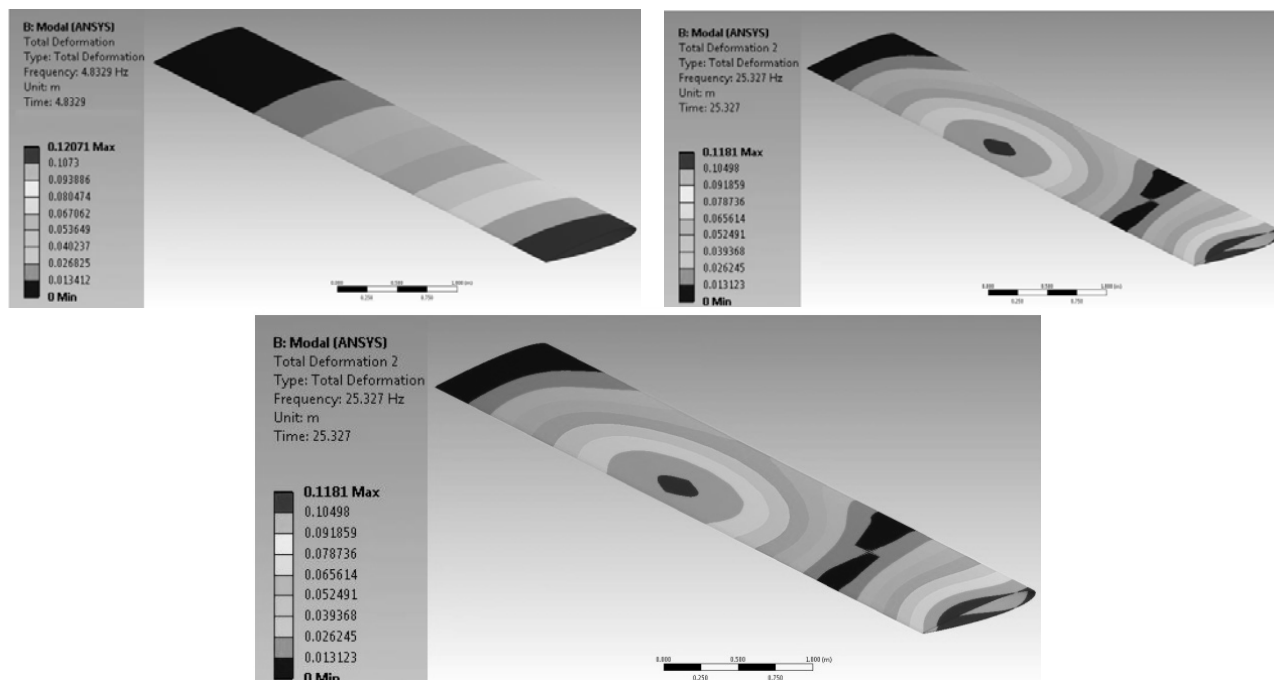


Рис. 4. Деформации крыла, соответствующие первым трем собственным частотам колебаний

На рис. 5 приведена в качестве примера погрешность восстановления вертикального смещения задней кромки крыла по данным с датчиков, соответствующая деформации крыла при воздействии перепада давления между верхней и нижней поверхностями с частотой 32 Гц. Поскольку для каждой из мод величина смещений датчиков и точек задней кромки пропорциональны, а любое колебание можно приближенно представить, как линейную комбинацию конечного числа мод, то по данным датчиков линейными операциями (что важно с точки зрения быстродействия) приближенно восстанавливаются положения точек задней кромки. Учет положений датчиков в нескольких последовательных моментах времени позволяет вычислить фазу колебаний и, следовательно, сделать прогноз на следующий момент времени. Как видно из рисунка, с использованием предложенного метода возможно восстановить колебания задней кромки по данным, собираемым с датчиков, хотя и с некоторой небольшой погрешностью. В данном случае погрешность имеет наименьшую величину вблизи середины задней кромки.

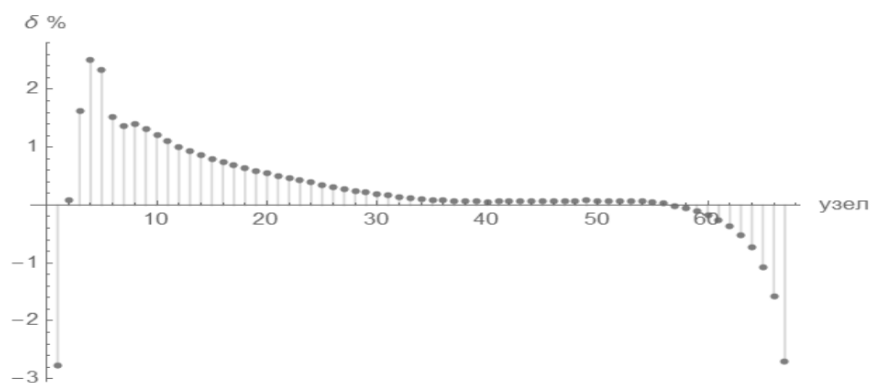


Рис. 5. Погрешность восстановления деформации задней кромки по данным с датчиков

Влияние колебаний крыла на работу локатора с конформной ФАР изучалось с помощью разработанной компьютерной модели локатора с такой антенной решеткой. Четырехэлементная микрополосковая ФАР расположена в крыле, плотно прилегая к оболочке, и находится над объектом. Темная линия на экране локатора (рис. 6) является линией развертки, перемещающейся в секторе 12° по дуге от 84 до 96 градусов с постоянной скоростью и обновляющей координаты цели при её облучении. Луч локатора моделируется нормалью к ФАР. Перемещение луча по экрану локатора задается периодической функцией. Влияние аэроупругости учитывается наложением на периодическую функцию колебаний, определяемых первыми девятью модами вибраций, вызванных аэроупругостью.

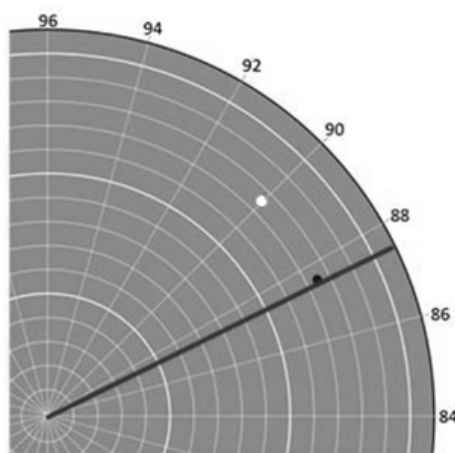


Рис. 6. Экран локатора. Объект находится на отметке 90 градусов (белая точка на экране)

Объект, истинное положение которого отмечено белой точкой на экране локатора, находится под крылом, что соответствует 90° на шкале локатора. Темной точкой отмечено положение объекта, даваемое локатором. Различное положение белой и темной точки на экране вызвано воздействием аэроупруго-

сти, при отсутствии такого воздействия эти точки совпадают. Как видно из рис. 6, где приведен пример одного из циклов лоцирования объекта, ошибка локатора равна 2.3° . Компьютерное моделирование показало, что погрешность локатора, вызванная аэроупругостью для крыла из алюминиевого сплава АД33, рассмотренного в настоящей работе, носит случайный характер. При этом максимальное отклонение составляет 2.5 градуса, что при расстоянии до объекта, равном 400 метров, соответствует ошибке 17.5 м в координате объекта (рис. 7).

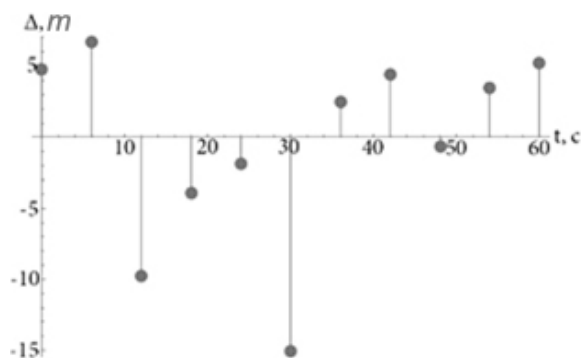


Рис. 7. Погрешность определения координаты покоящегося объекта, находящегося под крылом ЛА, на высоте 400 м. Период обзора – 6 с

На основании спрогнозированных данных о колебаниях крыла рассчитаны необходимые амплитудно-фазовые коэффициенты питающих портов для демпфирования положения главного лепестка диаграммы направленности (луча) ФАР с помощью современных программных пакетов для электромагнитного моделирования, например, ANSYS HFSS [4] и FEKO [5]. На рис. 9 приведены наши результаты моделирования демпфирования отклонения на 5 градусов четырехэлементной микрополосковой ФАР, работающей на частоте 3 ГГц.

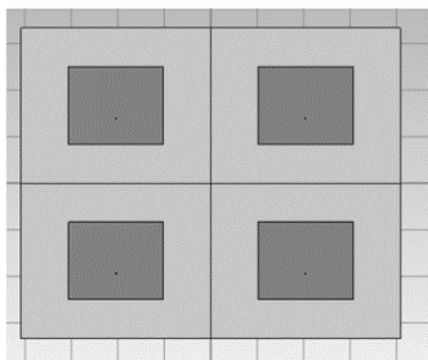


Рис. 8. Дизайн микрополосковой ФАР, $f=3$ ГГц

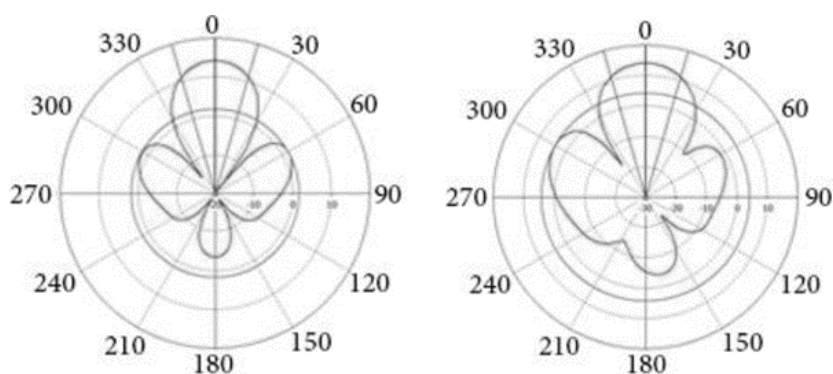


Рис. 9. Исходная ДН микрополосковой ФАР, $f=3$ ГГц (слева) и ее ДН после компенсации воздействия вибраций, вызванных аэроупругостью (справа), в полярных координатах

Анализ рис. 9 показывает, что, используя полученные амплитудно-фазовые распределения, можно добиться уменьшения погрешности определения координаты цели. Так отклонение плоскости ФАР даже на 5 градусов скомпенсировано с помощью использования встроенных инструментов оптимизации программного пакета, фазовые коэффициенты были подобраны так, что направление главного лепестка вернулось в исходное положение

На основании компьютерного моделирования показана необходимость учета влияния аэроупругости при разработке локаторов с ФАР для БЛА. Для крыла из алюминиевого сплава АД33 отсутствие учета этого фактора приводит к заметным погрешностям лоцирования объектов. Крылья и корпус современных БЛА делаются из более легких и менее прочных материалов, чем алюминий, более подверженных к деформации. В следствие этого, учет влияния деформации становится более необходимым

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоцерковский С. М., Кочетков Ю. А., Красовский А. А. и др. Введение в аэроавтo-упругость. М.: Наука, 1980. 384 с.
2. Горшков А. Г., Морозов В. И., Пономарев А. Т., Шклярчук Ф. Н. Аэрогидроупругость конструкций. М.: Физико-математическая литература, 2000. 591 с.
3. Морозов В. И., Пономарев А. Т., Рысев О. В. Математическое моделирование сложных аэроупругих систем. М.: Наука, 1995. 736 с.
4. Engineering Simulation & 3-D Design Software | ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 11. 09. 2017).
5. FEKO – EM Simulation Software [Электронный ресурс]. URL: <https://www.feko.info/> (дата обращения: 11. 09. 2017).

© А. Г. Черевко, А. А. Черевко, Ю. В. Моргачев, 2018

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОЙ ПОРИСТОСТИ ЗАРЯДА НА ДАВЛЕНИЕ В КАНАЛЕ СТВОЛА ОРУДИЯ

Мария Евгеньевна Давлятова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент, тел. (950)553-38-07, e-mail: mdavlatova25@gmail.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Татьяна Евгеньевна Заводова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, аспирант, зав. лабораторией кафедры специального машиностроения, тел. (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

Софья Федоровна Дубинина

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Рассматривается моделирование формирования порохового заряда, состоящего из зеренных пороховых элементов. Целью работы является создание модели, позволяющей учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда при расчете внутрибаллистических характеристик на основе газодинамического подхода.

Ключевые слова: пористость порохового заряда, формирование порохового заряда, пороховые элементы.

THE ACCOUNT OF INFLUENCE OF THE INEQUAL CHARGE POROSITY ON THE PRESSURE IN THE CHANNEL OF THE GUN

Maria E. Davlyatova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Student, phone: (950)553-38-07, e-mail: mdavlatova25@gmail.ru

Egeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Tatiana E. Zavodova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D. Student, Head of Laboratory of Department of Special Engineering, phone: (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant of Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

Sofia F. Dubinina

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, phone: (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Modeling the formation of powder charge, consisting of grains of powder elements is discussed in the article. The purpose of this work is creation of model, which allows accounting uneven distribution of powder elements along the length of the charge in the calculation interior ballistics characteristics based on gas-dynamic approach.

Key words: powder porosity, formation of powder charge, powder elements.

При проектировании артиллерийского вооружения важную роль играет определение величины давления пороховых газов, скорости боеприпаса при выстреле и других внутривалистических параметров.

Для решения этой задачи в настоящее время широко используется газодинамический подход. Одна из наиболее разработанных моделей горения пороха, движения пороховых газов и пороховых элементов на основе этого подхода описана в трудах [1], [3]. В существующей модели распределение пороховых элементов по длине заряда в начальный момент времени считается равномерным, что не вполне соответствует реальным процессам, наблюдаемым при выстреле. Поэтому была разработана модель формирования порохового заряда, состоящего из зеренных пороховых элементов, которая позволит учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда.

В систему уравнений, используемых при газодинамическом подходе, входят: уравнение неразрывности, уравнение движения, уравнение энергии, уравнение горения порохового заряда, а также дополнительные уравнения для вычисления сил межфазного взаимодействия и других параметров. Таким образом, система уравнений имеет следующий вид [1], [2], [3].

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \rho_j m S}{\partial t} + \frac{\partial \rho_j m S v}{\partial x} = S G_j \\
& \frac{\partial \rho m S v}{\partial t} + \frac{\partial \rho m S v^2}{\partial x} - -m S \frac{\partial p}{\partial x} - S(\tau_{w1} + \tau_{w2}) + S(G_1 + G_2)w - \Pi_c \tau_c \\
& \quad \frac{\partial \rho m S \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho m S v \epsilon}{\partial x} - -p \frac{\partial [m S v + (1 - m) S w]}{\partial x} + \\
& \quad + S(\tau_{w1} + \tau_{w2})(v - w) + S G_1 \left[Q_1 + \frac{(v - w)^2}{2} \right] + \\
& \quad + S G_2 \left[Q_2 + \frac{(v - w)^2}{2} \right] - \Pi_c \tau_c v - \Pi_c q_c \\
& \quad p(1 - \alpha \rho) = \theta \rho \epsilon \\
& \quad \frac{\partial a_j S}{\partial t} + \frac{\partial a_j S w}{\partial x} = 0 \\
& \quad \frac{\partial \delta_j (1 - m) S w}{\partial t} + \frac{\partial \delta_j (1 - m) S w^2}{\partial x} = -(1 - m) S \frac{\partial p}{\partial x} + S \tau_{wj} - S G_j w \\
& \quad \frac{\partial \psi_j}{\partial t} + w_j \frac{\partial \psi_j}{\partial x} = \frac{S_{oj}}{\Lambda_{oj}} \sigma_j(\psi_j) u_{kj} = \frac{\alpha_{pj}}{\alpha_{1j}} \sigma_j(\psi_j) u_{kj}
\end{aligned}$$

где t – время,

x – координата,

ρ_j – плотность газа для части заряда с индексом j ,

$\rho = \rho_1 + \rho_2$ – суммарная плотность смеси продуктов горения,

v, w – скорость движения газа и твердой фазы в канале ствола соответственно,

m – пористость смеси,

S – переменная площадь поперечного сечения камеры и канала ствола,

p – давление,

ϵ – внутренняя энергия единицы массы пороховых газов,

α – коволюм,

$\theta = k - 1, k = c_p/c_v$ – показатель адиабаты,

c_p, c_v – теплоемкость газа при постоянном давлении и объеме,

Q_1, Q_2 – теплотворная способность (потенциал) пороха,

Π_c – периметр ствола,

G_1, G_2 – газоприход с поверхности пороха в единице объема за единицу времени,

τ_c – сила трения газа о поверхность ствола, приходящаяся на единицу площади,

τ_{w1}, τ_{w2} – сила взаимодействия приходящаяся на единицу объема, вызванная разностью скоростей между фазами для первой и второй частей заряда,
 q_c – тепловой поток, направленный на поверхность канала ствола,
 δ – плотность материала пороха,
 a – счетная концентрация зерновых пороховых элементов,

Ψ_j – относительная доля сгоревшего пороха для первой и второй частей заряда,

Λ_0, S_0 – начальный объем и поверхность порохового зерна,

$\sigma(\Psi)$ – отношение текущей поверхности горения к первоначальной,

u_k – линейная скорость горения пороха,

α_p – коэффициент формы порохового элемента,

e_1 – половина начальной толщины горящего свода.

Индекс j в уравнениях обозначает номер части заряда – для комбинированных зарядов.

Начальные и граничные условия имеют следующий вид [1], [3].

- начальные условия ($t = 0$):

$$v = w = 0$$

$$p = p_0$$

$$\alpha_j = \frac{\omega_j}{W_j \delta_j \Lambda_{0j}}$$

$$m = m_0$$

$$\Psi_1 = \frac{p_0 \left(W_{\text{кк}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} - \frac{\omega_2}{\delta_2} \right)}{\omega_1 \left[\theta_1 Q_1 + p_0 \left(\alpha_1 - \frac{1}{\delta_1} \right) \right] + \omega_2 \left[\theta_2 Q_2 + p_0 \left(\alpha_2 - \frac{1}{\delta_2} \right) \right] \frac{\alpha_{p1} e_{11} u_{12}}{\alpha_{p2} e_{12} u_{11}} p_0^{v_2 - v_1}}$$

$$\Psi_2 = \Psi_1 \frac{\alpha_{p1} e_{11} u_{12}}{\alpha_{p2} e_{12} u_{11}} p_0^{v_2 - v_1}$$

$$\rho_1 = \frac{\omega_1 \Psi_1}{W_{\text{кк}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} (1 - \Psi_1) - \frac{\omega_2}{\delta_2} (1 - \Psi_2)}$$

$$\rho_2 = \frac{\omega_2 \Psi_2}{W_{\text{кк}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} (1 - \Psi_1) - \frac{\omega_2}{\delta_2} (1 - \Psi_2)}$$

$$\varepsilon_{\alpha j} = \frac{p_0}{\theta_j} \left(\frac{1}{\rho_j} - \alpha_j \right) = \frac{f_j}{\theta_j}$$

где p_0 – давление форсирования,

m_0 – начальная пористость заряда,

W_j – объем камеры, занятый j -ым полужарядом,

ω_j – масса j -го полужаряда,

$W_{\text{км}}$ – объем камеры орудия,

λ_{pj} – коэффициент формы порохового элемента,

z_j – относительная толщина сгоревшего свода,

u_{1j} – скорость горения пороха при атмосферном давлении (единичная скорость горения),

v_j – показатель степени в уравнении для скорости горения,

f_j – сила пороха.

- граничные условия

при $x = 0$ (у дна камеры): $v = w = 0$

при $x = x_{\text{сн}}$ (у дна снаряда): $v = v_{\text{сн}}$

где $x_{\text{сн}}$ – координата дна снаряда в данный момент времени,

$v_{\text{сн}}$ – скорость снаряда в данный момент времени.

При расчете внутрибаллистических параметров в уравнениях газодинамического подхода используется такая величина, как пористость – m . Пористость это – объем пустот в единице объема, занятого пороховыми элементами. Таким образом, пороховые элементы будут занимать объем: $1-m$. По мере выгорания пороха пористость будет увеличиваться.

Начальное значение пористости в большинстве методов расчета, использующих газодинамический подход, определяется на основе данных о плотности заряжания:

$$m_0 = 1 - \frac{\Delta}{\delta}$$

где δ – плотность пороха,

Δ – плотность заряжания.

В этих уравнениях расчета начального значения пористости считается, что эта величина постоянна для всего объема камеры, то есть пороховые элементы распределены равномерно по всему заснарядному объему. Таким образом, условия горения пороха и перемещения пороховых газов при начале расчета будут одними и теми же для всей длины камеры. В то же время, предположение о равномерном распределении пороховых элементов по заснарядному объему не соответствует реальным процессам, наблюдаемым при выстреле.

Поэтому, если считать пористость в начальный момент времени изменяющейся величиной, зависящей от положения рассматриваемого элемента объема внутри камеры, то можно построить новую модель, с неравномерным распределением пороховых элементов. Предлагаемая модель формирования заряда учитывает следующие факторы:

1) При засыпке зерненного пороха в гильзу каждый из пороховых элементов принимает случайное положение и ориентацию в пространстве.

2) После того, как пороховой элемент попал на нижележащий слой пороха, он может продолжить движение вдоль боковых поверхностей уже сформированного объема пороха (то есть может происходить «осыпание» заряда).

При моделировании формирования порохового заряда заснарядный объем, заполняемый порохом, представляется в виде пустотелого цилиндра того же объема, расположенного вертикально. В случае двумерного моделирования, рассматривается только одно вертикальное сечение цилиндра, проходящее через его ось симметрии. При этом используется система координат OX_0Y_0 (рис. 1).

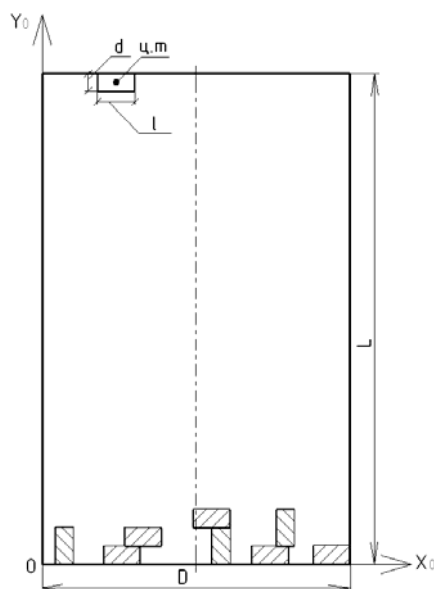


Рис. 1. Система координат при моделировании формирования порохового заряда:

OX_0 , OY_0 – оси системы координат; D – диаметр цилиндра; L – высота цилиндра; l – длина порохового элемента; d – диаметр порохового элемента

Цилиндр заполняется пороховыми элементами. Каждый пороховой элемент возникает на верхнем срезе цилиндра в произвольной точке оси OX_0 – точка возникновения элемента соответствует расположению его центра тяжести в начальный момент времени. Затем он падает вниз до тех пор, пока не достигает дна цилиндра или других пороховых элементов, расположенных под ним. После этого на верхнем срезе цилиндра возникает новый пороховой элемент. При возникновении пороховой элемент может иметь произвольную ориентацию в пространстве, то есть его ось симметрии может составлять любой угол α с осью OX_0 .

После того, как падающий пороховой элемент достигает слоя нижележащих элементов, он может остановиться или же продолжить движение, в зависимости от положения центра тяжести элемента относительно точки опоры. При расчете движения порохового элемента кроме основной системы координат OX_0Y_0 для каждого падающего элемента строится еще одна система коор-

динат $Oxyz$ (рис. 2, ось z на рисунке не показана), связанная с пороховым элементом. За начало координат принята точка O – центр тяжести элемента.

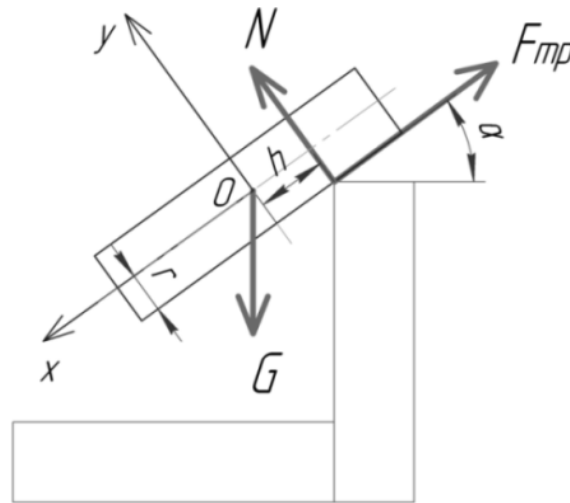


Рис. 2. Силы, действующие на падающий пороховой элемент:

Ox , Oy – оси системы координат; O – центр тяжести элемента; G – сила тяжести; N – сила реакции опоры; $F_{тр}$ – сила трения; h – расстояние между осью Oy и линией действия силы реакции опоры; r – расстояние между осью Ox и линией действия силы трения; α – угол поворота порохового элемента

На рассматриваемый элемент после его соприкосновения с другими элементами действуют сила тяжести, силы реакции опоры и силы трения. При расчете используются уравнения поступательного движения в проекциях на оси x и y и уравнение вращения относительно оси z , а также дополнительные уравнения для определения указанных сил:

$$q \cdot a_x = G \cdot \sin \alpha - F_{тр}$$

$$q \cdot a_y = N - G \cdot \cos \alpha$$

$$I_z \cdot \varepsilon = N \cdot h + F_{тр} \cdot r$$

$$G = q \cdot g$$

$$F_{тр} = f \cdot N$$

где q – масса порохового элемента,

a_x , a_y – проекции ускорения элемента на оси x и y ,

g – ускорение свободного падения,

f – коэффициент трения,

α – угол поворота порохового элемента относительно оси Ox_0 ,

ε – угловое ускорение,

I_z – момент инерции порохового элемента относительно оси z .

Если проекции ускорений представить в виде вторых производных координаты по времени, можно получить следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{d^2x}{dt^2} &= g(\sin\alpha - f \cdot \cos\alpha) \\ \frac{d^2\alpha}{dt^2} &= \frac{q \cdot g \cdot \cos\alpha(|x| + f \cdot r)}{I_z}\end{aligned}\quad (1)$$

В этих уравнениях x и y - координаты точки опоры в системе координат $Oxyz$, t – время.

Решая полученные уравнения, можно для любого момента времени определить линейное и угловое ускорение элемента, скорость его движения вдоль оси x , угловую скорость вращения вокруг оси z , а также координаты точки опоры в системе, связанной с элементом. Так как координаты точки опоры в основной системе координат известны, возможно вычислить и координаты центра тяжести элемента и (при известном значении угла α) полностью определить положение падающего порохового элемента относительно других элементов в любой момент времени.

При решении уравнений определяется также момент времени, при котором нагрузки, действующие на элемент, изменяются и применение уравнений становится невозможным, при этом расчет прекращается. Возможны следующие условия прекращения расчета:

- Переход к свободному падению элемента (рис. 3, *a*)

В процессе движения порохового элемента он может потерять контакт с другими пороховыми элементами, это возможно при выполнении условия:

$$h > \frac{a}{2}$$

где $a = l$ или $a = d$ в зависимости от расположения в пространстве падающего элемента.

В этом случае расчет по уравнениям (1) прекращается, так как на падающий пороховой элемент действует только сила тяжести G . Расчет дальнейшего движения порохового элемента аналогичен расчету простого падения элемента при его первом появлении на верхнем срезе цилиндра, имитирующего заснарядный объем.

- Прекращение движения элемента (рис. 3, *б*)

В этом случае система уравнений изменяется, с учетом появления второй точки контакта:

$$q \cdot a_x = G \cdot \sin\alpha - F_{\text{нп}1} - N_2$$

$$q \cdot a_y = -G \cdot \cos \alpha + F_{mp2} + N_1$$

$$I_z \cdot \varepsilon = N_1 \cdot h + F_{mp1} \cdot r - F_{mp2} \cdot \frac{a}{2} + N_2 \cdot \Delta r$$

Если точки соприкосновения расположены на двух взаимно перпендикулярных сторонах порохового элемента, то поступательное движение прекратится. При этом поворот относительно оси z может продолжаться, в зависимости от соотношения между величинами Δr , h и α . Можно доказать, что прекращение вращательного движения элемента произойдет в случае выполнения условия:

$$\Delta r \leq f \cdot \frac{a}{2} - \frac{N_1(h + f \cdot r)}{N_2}$$

Если условие выполняется, то расчет движения данного элемента прекращается, генерируется новый пороховой элемент. Если условие не выполняется, то продолжается расчет поворота данного элемента относительно оси z .

• Прекращение вращательного движения при продолжении поступательного (рис. 3, в).

Если точки соприкосновения расположены на одной стороне порохового элемента и линия действия силы тяжести проходит между точками опоры, то поступательное движение элемента вдоль оси x будет продолжаться, а вращение элемента прекратится - для доказательства этого утверждения достаточно составить два уравнения моментов относительно первой и второй точек опоры, решая их совместно, можно прийти к значению $\varepsilon = 0$. Для этого случая справедлива следующая система уравнений:

$$q \cdot a_x = G \cdot \sin \alpha - F_{mp1} - F_{mp2}$$

$$q \cdot a_y = -G \cdot \cos \alpha + N_1 + N_2$$

$$I_z \cdot \varepsilon = -N_2 \cdot h_2 + N_1 \cdot h + F_{mp1} \cdot r + F_{mp2} \cdot r$$

В случае равенства нулю углового ускорения, угловая скорость поворота вокруг оси z остается постоянной величиной: $\omega = \text{const}$. Так как к моменту появления второй точки опоры угловая скорость больше нуля, то поворот элемента будет продолжаться (см. рис. 3, г) и произойдет потеря контакта с первой точкой опоры. На пороховой элемент действует сила тяжести G , вызывающая замедление вращения элемента, поэтому угловая скорость ω постепенно уменьшится до нуля, а затем начнется поворот элемента в противоположном направлении с угловой скоростью ω' и он вернется в исходное положение. В некоторых случаях, при больших значениях угла α , угловая скорость вращения может остаться положительной в момент достижения значения $\alpha = 90^\circ$, в этом случае происходит переворот элемента.

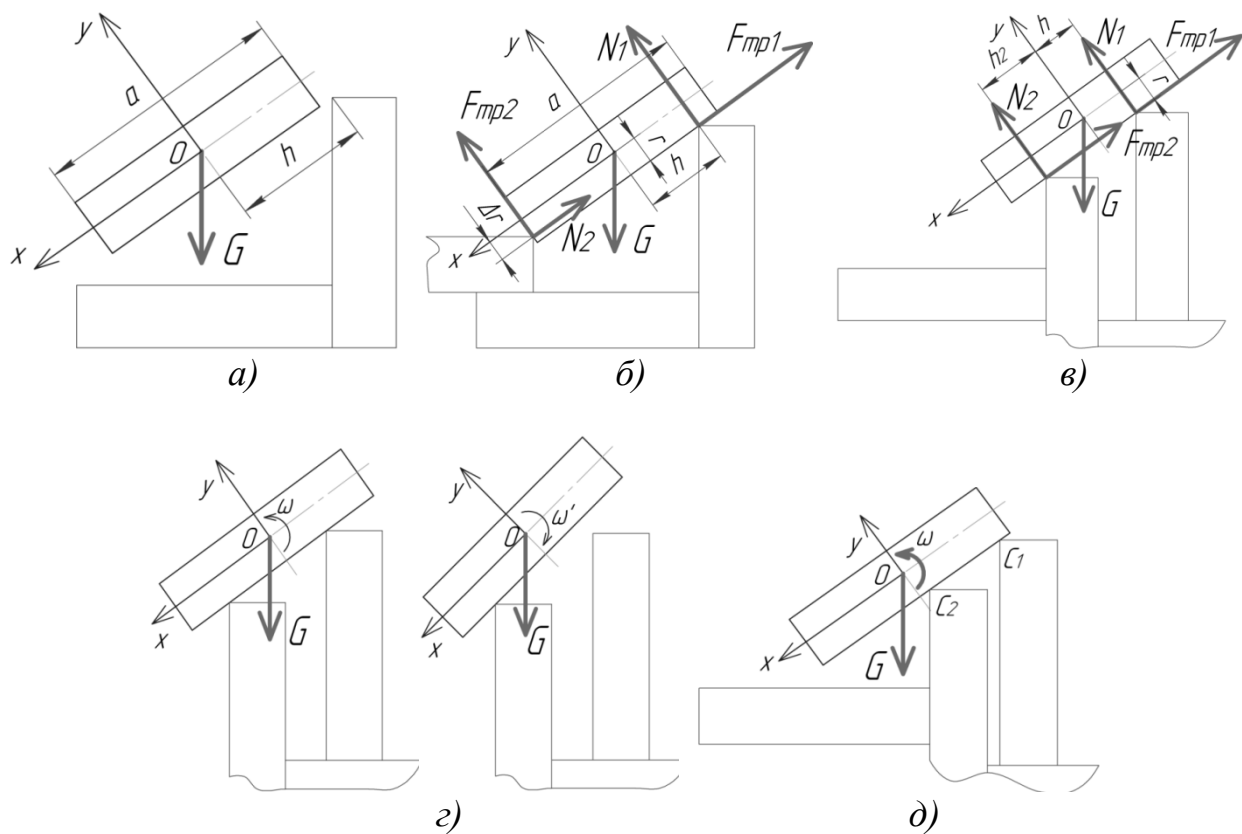


Рис. 3. Условия прекращения расчета:

а) свободное падение элемента; б) остановка элемента; в) поступательное движение элемента; г) вращательное движение элемента; д) изменение положения точки опоры; Ox , Oy – оси системы координат; O – центр тяжести элемента; G – сила тяжести; N_1 , N_2 – силы реакции опор; $F_{тр1}$, $F_{тр2}$ – силы трения; h – расстояние между осью Oy и линией действия силы реакции опоры N_1 ; Δr – расстояние между осью Ox и линией действия силы реакции опоры N_2 ; a – длина падающего элемента вдоль оси Ox ; h_2 – расстояние между осью Oy и линией действия силы реакции опоры N_2 ; r – расстояние между осью Ox и линиями действия сил трения $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$; ω , ω' – угловые скорости поворота элемента; C_1 – первая точка опоры; C_2 – вторая точка опоры

Для проверки переворота элемента используются следующие уравнения.

$$\omega = \omega_0 - \epsilon_c \cdot t_N$$

$$\alpha_N = \alpha_0 + \omega_0 \cdot t_N - \frac{\epsilon_c \cdot t_N^2}{2}$$

$$\epsilon_c = \frac{q \cdot g \cdot \cos \alpha_c (h_2 + f \cdot r)}{I_x}$$

$$\alpha_c = \frac{\alpha_n - \alpha_0}{2}$$

где α_0 – значение угла α в момент отрыва порохового элемента от второй точки опоры,

ω_0 – значение угловой скорости ω в момент отрыва от второй точки опоры,

$\alpha_n = 90^\circ$ – значение угла α в момент переворота элемента,

t_n – промежуток времени, за который произойдет поворот на угол $\alpha_n - \alpha_0$,

ε_c – среднее значение углового ускорения при повороте элемента на угол $\alpha_n - \alpha_0$.

Решая полученные уравнения, можно найти значение угловой скорости ω в момент переворота элемента, т. е. когда $\alpha = \alpha_n = 90^\circ$. При этом если угловая скорость ω окажется больше нуля: $\omega > 0$ – произойдет переворот порохового элемента, если $\omega \leq 0$ – переворот невозможен, т.е. пороховой элемент вернется в исходное положение с двумя точками опоры.

•Изменение положения точки опоры (рис. 3, д)

Если точки соприкосновения расположены на одной стороне порохового элемента и линия действия силы тяжести не проходит между точками опоры, то поступательное и вращательное движение элемента продолжатся, но зона контакта с нижним слоем элементов переместится из точки C_1 в точку C_2 . После появления второй точки контакта под действием силы тяжести угол α будет продолжать увеличиваться, в результате элементы в зоне точки C_1 перестанут соприкасаться. В этом случае единственной точкой контакта между пороховыми элементами будет точка C_2 , а для расчета движения элемента можно использовать систему уравнений (1), приняв в качестве начальных координат точки контакта координаты точки C_2 .

Задача решалась в двумерной постановке, с помощью численного моделирования на ЭВМ. При этом рассматриваемое сечение разбивалось на отдельные элементы с размерами Δx и Δy . Таким образом, был сформирован двумерный массив элементов (рис. 4).

В начальный момент времени всем элементам массива присваивалось значение равное 0 – оно соответствует пустому, незаполненному элементу объема. Затем в некотором элементе массива, появлялся пороховой элемент, его положение (угол α) определялось случайным образом. Для того, чтобы получить координату центра тяжести элемента и его расположение использовалась стандартная функция для генерации случайных чисел.

После того, как координата центра тяжести и ориентация порохового элемента определены, начинается расчет процесса его падения. При этом всем элементам массива, в которых в данный момент он располагается, присваивается значение, равное 2. Падение продолжается до тех пор, пока под пороховым элементом остается свободное пространство.

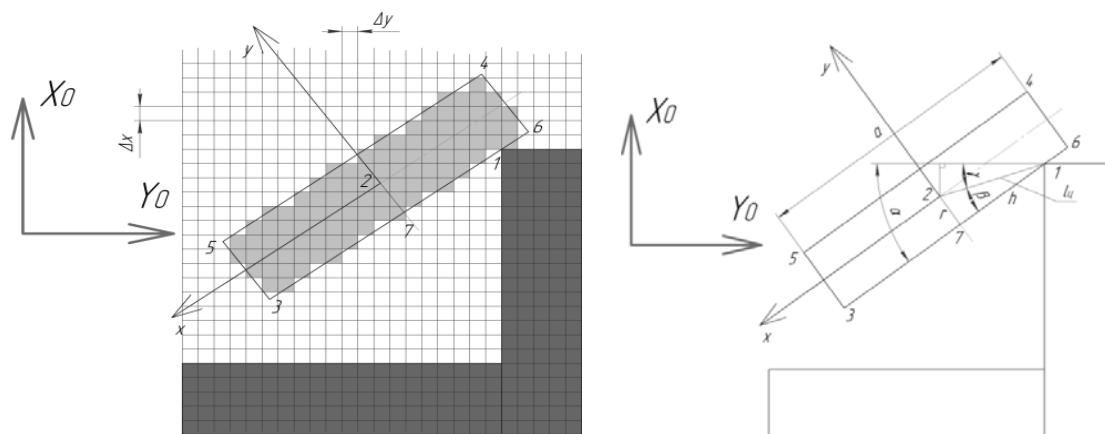


Рис. 4. Заполнение элементов массива и определение координат различных точек порохового элемента в системе OX_0Y_0 :

■ – элементы массива, соответствующие неподвижному пороховому элементу, ■ – элементы массива, соответствующие движущемуся пороховому элементу, 1 – точка контакта пороховых элементов, 2 – точка, соответствующая центру тяжести элемента, 3, 4, 5, 6 – точки, по которым в системе OX_0Y_0 строится контур падающего элемента, 7 – вспомогательная точка, X_0, Y_0 – оси основной системы координат, x, y – оси локальной системы координат, l_y – длина отрезка 1-2, γ – угол между осью OY_0 и отрезком 1-2, h – длина отрезка 1-7, r – длина отрезка 2-7, β – угол между отрезком 1-7 и отрезком 1-2, a – длина падающего порохового элемента вдоль оси x , α – угол поворота падающего элемента

В модели этот расчет реализован в виде проверки значений массива, располагающихся под участком, занятым пороховым элементом. Если хотя бы один из элементов массива под пороховым элементом имеет значение равное 1, то перемещение порохового элемента прекращается и процесс расчета падения элемента заканчивается. Значение 1 соответствует элементам массива, в которых располагается неподвижный пороховой элемент.

При моделировании движения порохового элемента, уравнения основной системы решаются численно, с помощью метода Эйлера. В данном случае используется регулярная временная сетка. Эта сетка образуется линиями $t_n = n \cdot \tau$ ($n = 0, 1, 2, \dots$), где τ – шаг по времени. Значения рассчитываемых параметров (v_x, ω, x, α) определяются в целых точках по времени $n \cdot \tau$. Таким образом, можно вычислить линейную скорость v_x и угловую скорость поворота ω в любой момент времени, а также значения координаты x и угла α :

$$v_x^{n+1} = v_x^n + \tau [g(\sin \alpha^n - f \cdot \cos \alpha^n)] \quad \omega^{n+1} = \omega^n + \tau \left[\frac{q \cdot g \cdot \cos \alpha^n (|x|^n + f \cdot r)}{I_x} \right]$$

$$x^{n+1} = x^n + \tau \cdot v_x^n$$

$$\alpha^{n+1} = \alpha^n + \tau \cdot \omega^n$$

При расчете по уравнениям для каждого момента времени определяются координаты центра тяжести порохового элемента и других точек в основной системе координат OX_0Y_0 . Схема расчета представлена на рисунке 4.

$$X2 = X1 - l_y \cdot \sin\gamma, Y2 = Y1 - l_y \cdot \cos\gamma$$

$$l_y = \sqrt{r^2 + h^2}, \gamma = \alpha - \beta$$

$$X3 = X1 - \left(h + \frac{a}{2}\right) \cdot \sin\alpha, Y3 = Y1 - \left(h + \frac{a}{2}\right) \cdot \cos\alpha$$

$$X6 = X1 + \left(\frac{a}{2} - h\right) \cdot \sin\alpha, Y6 = Y1 + \left(\frac{a}{2} - h\right) \cdot \cos\alpha$$

$$X5 = X2 - (X6 - X2), Y5 = Y2 - (Y6 - Y2)$$

$$X4 = X2 + (X2 - X3), Y4 = Y2 + (Y2 - Y3)$$

где X_i, Y_i – координаты точки с номером i в системе координат OX_0Y_0 ,

После определения координат точек 3, 4, 5 и 6 строится контур движущегося порохового элемента в момент времени t_n .

Если более 50% площади какого-либо элемента массива находится внутри построенного контура 4-6-3-5, то считается, что данный элемент массива занят движущимся пороховым элементом и ему присваивается значение, равное 2. Таким образом, формируется некоторая область из элементов массива, соответствующая движущемуся пороховому элементу. При этом, чем меньше размеры элементов массива (т.е. чем меньше значения Δx и Δy), тем с большей точностью построенная область будет соответствовать контуру движущегося порохового элемента.

После определения положения падающего порохового элемента проводится проверка выполнения условий прекращения расчета, если ни одно из условий не выполняется, расчет продолжается и определяется положение порохового элемента в следующий момент времени t_{n+1} , если какое-либо условие выполняется, порядок расчета изменяется в соответствии с правилами, описанными выше. После полной остановки порохового элемента, элементам массива, в которых он в данный момент находится, присваивается значение 1 и процесс расчета перемещений порохового элемента заканчивается, генерируется новый пороховой элемент.

После того, как общая масса пороховых элементов в цилиндре достигнет значения, равного номинальной массе порохового заряда, определяется значение пористости для всех горизонтальных сечений цилиндра, а также плотность заряжения для всего объема цилиндра.

При расчете пористости в каждом из горизонтальных сечений определяется число пустых элементов массива (то есть имеющих значение 0) и число за-

полненных элементов (имеющих значение 1). Затем вычисляется значение пористости для данного горизонтального сечения:

$$m_K = 1 - \frac{i_K}{n_0} \quad (2)$$

где m_K – значение пористости для горизонтального сечения, имеющего координату K ,

i_K – число заполненных элементов массива для сечения с координатой K .

На основе составленной модели был проведен ряд расчетов по формированию порохового заряда для пушки АК-230. На рис. 5 показана картина заполнения цилиндра пороховыми элементами. Рисунок соответствует одному из расчетов и изображает часть заснарядного пространства (длиной 48 мм) в начале (а) и в конце (б) его заполнения.

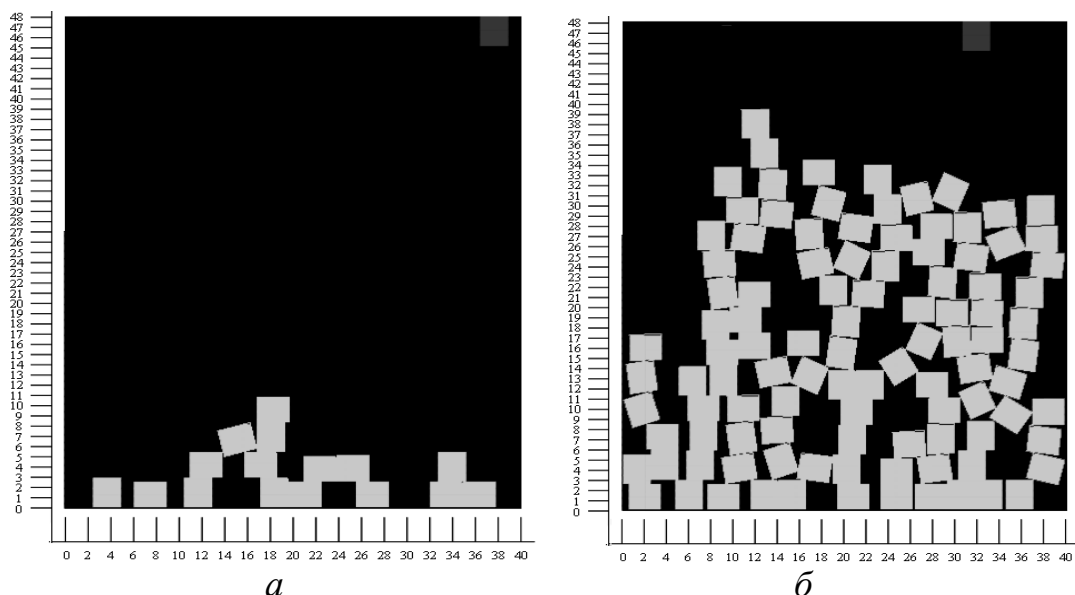


Рис. 5. Начало (а) и окончание (б) заполнения цилиндра; $D = 40$ мм, $L = 48$ мм, $d = 2,5$ мм, $l = 2,9$ мм, $\Delta x = \Delta y = 0,1$ мм

В табл. 1 приводятся результаты 20 расчетов, выполненных при начальных данных, соответствующих конструктивным параметрам 30-мм пушки АК-230. В таблице: $\bar{m}$ – средняя по объему пористость, $m_{\partial k}$ – пористость у дна каморы, $m_{снар}$ – пористость на верхнем срезе рассматриваемого цилиндра (у дна снаряда).

Анализ полученных данных показывает, что значения пористости для различных горизонтальных сечений цилиндра могут значительно отличаться друг от друга. Средняя пористость заряда также изменяется в некоторых пределах – она зависит от уровня заполнения гильзы пороховыми элементами (вдоль оси OY_0).

Таблица 1

Результаты расчетов

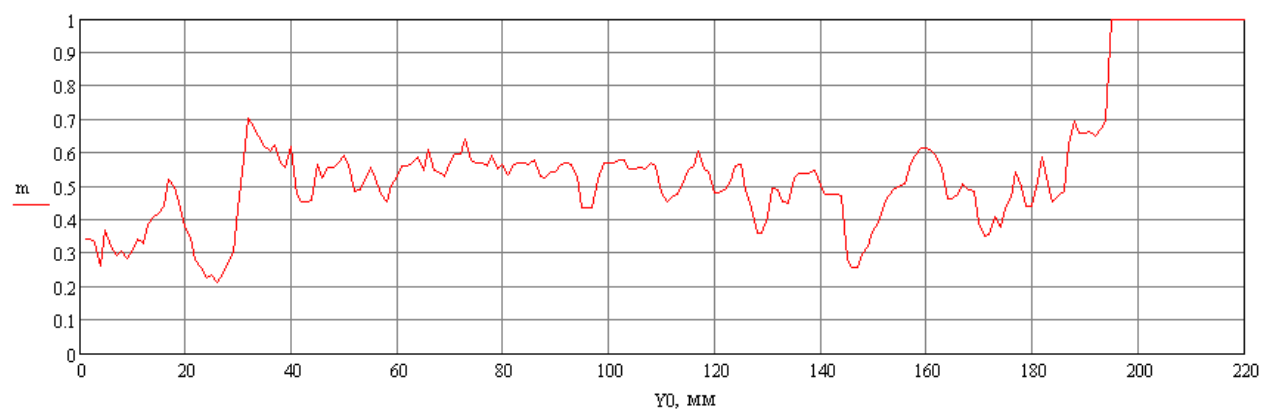
№	$\bar{m}$	$m_{снар}$	$m_{дж}$	№	$\bar{m}$	$m_{снар}$	$m_{дж}$
1	0,4649	0,9540	0,3324	11	0,4623	0,5618	0,5466
2	0,5419	0,7042	0,3485	12	0,5330	0,8011	0,3738
3	0,4934	0,6947	0,3406	13	0,4955	0,8136	0,4399
4	0,5194	0,8019	0,5116	14	0,5000	0,7120	0,3904
5	0,5422	0,8878	0,3732	15	0,5042	0,8687	0,4839
6	0,5060	0,8088	0,4876	16	0,4879	0,8363	0,3283
7	0,4811	0,7179	0,3192	17	0,5060	0,7029	0,3457
8	0,4836	0,5658	0,4794	18	0,4889	0,7079	0,4597
9	0,5232	0,8496	0,3256	19	0,4815	0,7501	0,3477
10	0,4977	0,6772	0,3933	20	0,5433	0,8872	0,3501

На рис. 6 представлены два графика распределения пористости по длине камеры. Первый график соответствует расчету №3 таблицы 1 с резким изменением пористости в районе дна камеры, второй – расчету №8 с наиболее равномерным из всех расчетов распределением пористости по длине заряда.

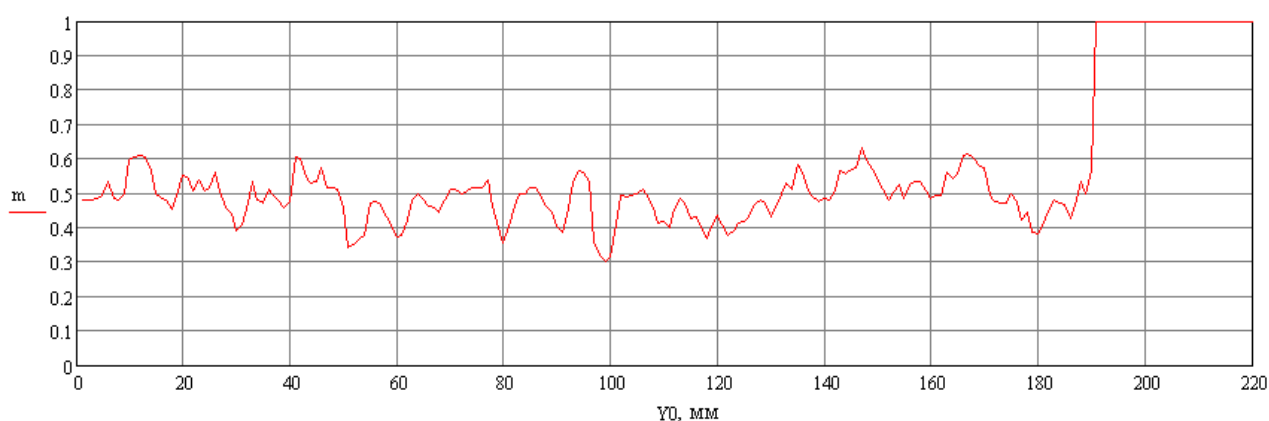
При моделировании формирования заряда наблюдалась значительная разница в пористости для соседних сечений, например в расчете № 3 для сечений с координатами от 26 мм до 32 мм, значение пористости изменяется от 0,2217 до 0,7322. Такое неравномерное распределение пористости может приводить к значительным перепадам давления пороховых газов для соседних сечений камеры при расчете внутрибаллистических параметров.

Для того, чтобы определить, как влияет распределение пористости по длине заряда на величину давлений пороховых газов при выстреле, для всех сформированных зарядов на основе газодинамического подхода были проведены расчеты внутрибаллистических параметров.

Графики изменения давлений пороховых газов в районе дна боеприпаса - $p_c(x)$, в районе дна камеры - $p_k(x)$, а также графики изменения скорости боеприпаса V представлены на рис. 7. На рисунках представлены также кривые изменения давления пороховых газов в случае постоянной пористости по длине заряда. Все кривые на графиках представляют собой зависимости давлений пороховых газов от координаты дна боеприпаса x . Нулевое значение по оси x соответствует дну камеры орудия.



а)



б)

Рис. 6. Распределение пористости по длине каморы:

а) расчет №3, б) расчет №8; Y_0 – координата (значение «0» соответствует дну каморы), $m(Y_0)$ – среднее значение пористости в данном сечении

На основании полученных данных установлено, что характер распределения пористости по длине заряда значительно влияет на процесс горения порохового заряда и, соответственно, на величину давлений пороховых газов, наблюдаемых в процессе выстрела. Для зарядов с одинаковой средней пористостью, но разным характером распределения пористости, максимальные давления пороховых газов могут отличаться весьма значительно. Так, например, в расчетах № 7 и № 8 при близких значениях средней пористости разница между максимальными давлениями пороховых газов составляла около 70 МПа.

Наблюдаемое явление связано с тем, что в некоторых зарядах существуют области с резким перепадом пористости на относительно коротком отрезке длины заряда, что приводит к локальному повышению (или снижению) давления в этих областях в процессе горения пороха.

Значения максимальных давлений пороховых газов, полученные в результате расчетов, представлены в табл. 2. В табл. 2: P_{max} – максимальное давление пороховых газов за все время расчета для всего заснарядного пространства, $P_{см}$ – максимальное давление пороховых газов за все время расчета у дна бое-

припаса, $P_{\text{км}}$ - максимальное давление пороховых газов за все время расчета у дна камеры, V - скорость боеприпаса при вылете.

Таблица 2

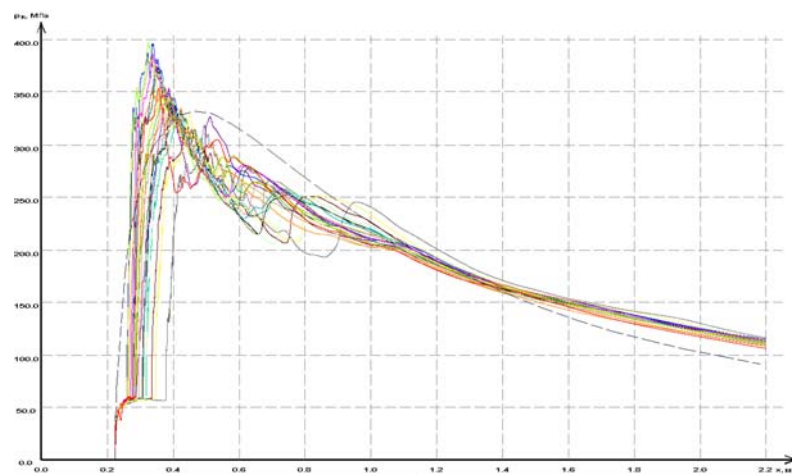
Результаты расчета горения порохового заряда

№	$P_{\text{max}},$ МПа	$P_{\text{см}},$ МПа	$P_{\text{км}},$ МПа	$V,$ м/с	№	$P_{\text{max}},$ МПа	$P_{\text{см}},$ МПа	$P_{\text{км}},$ МПа	$V,$ м/с
1	351,4	331,4	344,9	937,3270	11	358,1	344,4	353,8	941,9278
2	354,9	349,8	347,5	941,9752	12	381,9	367,8	374,1	958,8528
3	366,6	346,2	352,9	949,8618	13	398,9	381,3	397,8	962,9275
4	343,6	340,9	340,8	936,2384	14	360,1	347,9	355,4	948,0645
5	343,7	336,2	325,5	932,0225	15	386,0	369,2	386,0	960,4690
6	375,2	366,1	374,4	952,9121	16	393,3	357,7	384,2	957,2190
7	406,8	364,8	395,4	966,4742	17	347,2	342,7	347,2	936,8406
8	336,9	331,3	316,1	926,0701	18	376,1	357,4	354,1	949,2211
9	323,9	323,9	318,2	916,1988	19	345,6	334,0	332,2	929,4771
10	357,7	343,1	353,4	941,7435	20	333,2	328,2	328,6	924,8652

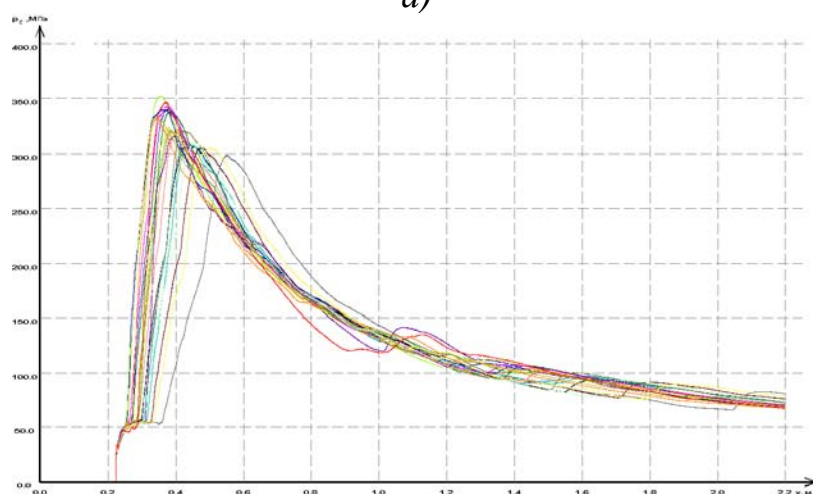
Таким образом, учет неравномерного распределения пороховых элементов по длине заряда при расчете внутрибаллистических параметров приводит к серьезным изменениям в результатах; подобная модель формирования заряда позволяет значительно лучше описать процесс горения реального порохового заряда, она может быть использована для вычисления начальных значений пористости в уравнениях газодинамического подхода.

Для расчета при условии постоянной пористости, значения максимальных давлений пороховых газов и скорости боеприпаса при вылете составили: $P_{\text{max}} = 377,8$ МПа, $P_{\text{см}} = 369,9$ МПа, $P_{\text{км}} = 353,3$ МПа, $V = 946,5602$ м/с.

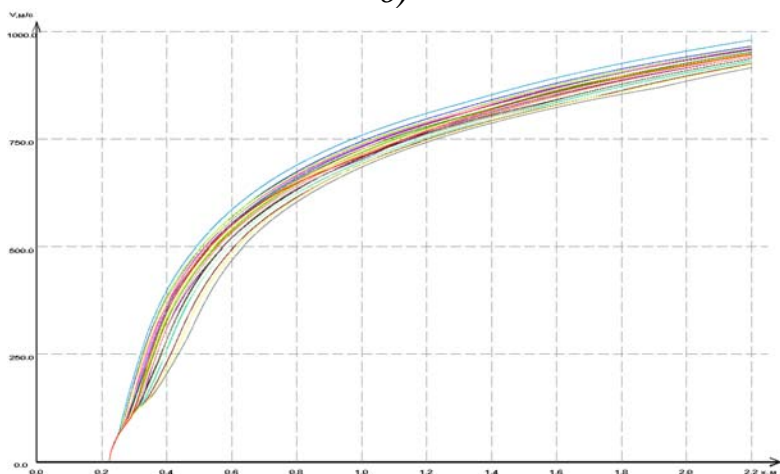
Экспериментальные значения максимальных давлений пороховых газов при выстреле для этого же орудия находятся в пределах от 307,034 МПа до 362,012 МПа (данные получены при испытаниях артиллерийской системы на полигоне ФКП «НТИИМ») – один из экспериментальных графиков показан на рис. 7.



а)



б)



в)

Рис. 7. Кривые изменения давления пороховых газов при выстреле:

а) в районе дна камеры $p_k(x)$, б) в районе дна боеприпаса $p_c(x)$, в) графики изменения скорости боеприпаса; — - расчет № 1, — - расчет № 2, — - расчет № 3, — - расчет № 4, — - расчет № 5, — - расчет № 6, — - расчет № 7, — - расчет № 8, — - расчет № 9, — - расчет № 10, — - расчет № 11, — - расчет № 12, — - расчет № 13, — - расчет № 14, — - расчет № 15, — - расчет № 16, — - расчет № 17, — - расчет № 18, — - расчет № 19, — - расчет № 20, — - расчет при условии равномерного распределения пористости, — - экспериментальный график

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.
2. Баллистика ствольных систем/ РАРАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М. Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
3. Русяк И.Г., Липанов А.М., Ушаков В.М. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах. – М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 456 с.
4. «Математические модели проектирования боеприпасов на основе уравнений механики гетерогенных реагирующих сред», Русяк И.Г., «Вопросы оборонной техники», серия 14, выпуск 2, Москва, 2011, стр. 3-11.

*© М. Е. Давлятова, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова,
К. В. Смагин, С. Ф. Дубинина, 2018*

УСТАНОВОЧНЫЕ РЕЗОНАНСЫ ВИБРОДАТЧИКА, ЗАКРЕПЛЕННОГО НА ПЕРЕХОДНИКЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ

Пётр Иванович Остроменский

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, доктор технических наук, профессор, e-mail: piostr@mail.ru

Александр Васильевич Волошин

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-конструктор, e-mail: volosh7@yandex.ru

Андрей Викторович Салов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 1-й кат., e-mail: salov.andrew88@gmail.com

Денис Сергеевич Лощёнов

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, слесарь-испытатель 4-го разряда, e-mail: loshcenov_444@mail.ru

Григорий Владиславович Суменко

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, слесарь-испытатель 4-го разряда, e-mail: grunya_15@mail.ru

Показано, что при измерении пространственной вибрации однокомпонентными пьезоэлектрическими вибродатчиками их рабочий диапазон частот должен быть ограничен частотой, составляющей 1/3 минимальной частоты поперечного установочного резонанса вибродатчика. Методом компьютерного моделирования получены частоты поперечных резонансов для вибродатчиков, закрепленных на объекте с помощью переходного куба и уголкового переходника и определены рабочие диапазоны частот при разных видах крепления датчиков.

Ключевые слова: пространственная вибрация, вибродатчик, переходной куб, уголкового переходник, рабочий диапазон частот установочный резонанс, компьютерное моделирование установочных резонансов вибропреобразователей.

LOCATING THE RESONANCES OF THE VIBRATION SENSOR MOUNTED ON THE ADAPTER FOR MEASURING THE SPATIAL VIBRATION

Peter I. Ostromensky

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, D. Sc., Professor, e-mail: piostr@mail.ru

Alexander V. Voloshin

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Leading Design Engineer, e-mail: volosh7@yandex.ru

Andrey V. Salov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Engineer 1 category, e-mail: salov.andrew88@gmail.com

Denis S. Loschenov

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Locksmith-Tester 4 category, e-mail: loschenov_444@mail.ru

Grigory V. Sumenko

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Locksmith-Tester 4 category, e-mail: grunya_15@mail.ru

It is shown that the spatial vibration is measured by one-component vibrationspiezoelectric vibrators their operating frequency range should be limited to a frequency of 1/3 of the minimum frequency of the transverse resonance of the vibratory sensor. With computer modeling, the received frequency transverse resonances for vibration sensors attached to the object using the cube transition and the angled adapter and defined the operational ranges of frequencies for different types of mounting sensors.

Key words: spatial vibration, vibration sensor, transition cube, angle adapter, operating frequency range of the installation resonance, computer simulation of the installation resonances of vibration transducers.

При измерении пространственной вибрации однокомпонентными вибродатчиками (виброизмерительными преобразователями - далее ВИП) их рабочий диапазон частот должен быть существенно уменьшен по сравнению с паспортными данными [1].

На рис. 1 показаны рабочие диапазоны частот ($f_H - f_B^{np}$) для одномерной вибрации в продольном направлении, совпадающем с рабочей осью ВИП, и для пространственной вибрации ($f_H - f_B^{поп}$) при измерении её компоненты в этом же продольном направлении.

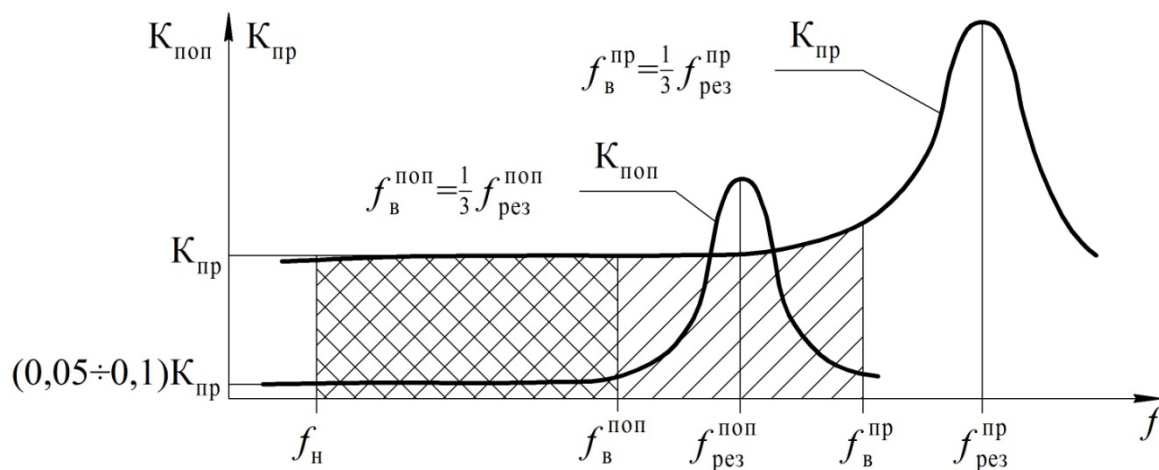


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики однокомпонентного ВИП, закреплённого на вибрирующем объекте

Паспортные значения рабочего диапазона частот ($f_H - f_B^{np}$), относительного коэффициента поперечного преобразования $K_{поп} = 5 \div 10 \%$, коэффициента продольного преобразования $K_{пр}$ задаются для одномерной вибрации [2]. При про-

пространственной вибрации в области ($f_{\text{в}}^{\text{поп}}$ - $f_{\text{в}}^{\text{пр}}$) ВИП перестаёт быть измерительным средством компонент пространственной вибрации объекта из-за резкого возрастания $K_{\text{поп}}$, связанного с поперечным установочным резонансом. При этом собственная частота этого резонанса $f_{\text{рез}}^{\text{поп}}$ (рис. 1) не указывается в паспортных данных и даже не предусмотрена ГОСТом [2].

Экспериментальное определение $f_{\text{рез}}^{\text{поп}}$ является очень сложным и связано с использованием специальных образцовых испытательных средств.

Расчетную величину $f_{\text{рез}}^{\text{поп}}$ можно определить методом компьютерного моделирования динамики многомерной колебательной системы «ВИП + упругий контактный слой + объект испытаний». ВИП и объект испытаний считаем абсолютно твёрдыми телами. С помощью упругого контактного слоя моделируется стыковое соединение ВИП с объектом испытаний [1].

Моделирование проводится с помощью программы UMExpress, входящей в состав библиотеки приложений к САПР КОМПАС-3D. Программа UMExpress позволяет не только рассчитать все значения резонансных частот многомассовой колебательной системы, но и визуализировать все формы колебаний. Упругий контактный слой характеризуется коэффициентами поперечной $k_{\text{поп}}$ и продольной $k_{\text{пр}}$ жёсткости, связанными соотношением [1]:

$$k_{\text{поп}} = \frac{G}{E} k_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{пр}}}{2(1+\mu)} \approx 0,4 \cdot k_{\text{пр}},$$

где G – модуль сдвига; E – модуль упругости слоя при растяжении-сжатии; μ – коэффициент Пуассона ($\mu \approx 0,35$).

При моделировании использовались паспортные данные вибропреобразователя AP2037: масса 12 г; рабочий диапазон частот (при неравномерности $\pm 10\%$) 0,5 ÷ 15000 Гц для одномерной осевой вибрации; частота установочного резонанса в осевом направлении $f_{\text{рез}}^{\text{пр}} = 45$ кГц; материал корпуса – нержавеющая сталь. Результаты моделирования для случая крепления ВИП к стальной поверхности шпилькой М5 (рис. 2, а) следующие:

минимальная частота поперечного установочного резонанса $f_{\text{рез}}^{\text{поп}} = 15079$ Гц; продольного резонанса $f_{\text{рез}}^{\text{пр}} = 43148$ Гц.

При измерении поперечных компонент пространственной вибрации для крепления ВИП необходимо использовать переходные устройства (переходники). Такие измерения проводятся при аттестации электродинамических вибростендов [3] и приспособлений для крепления испытуемых изделий на столе вибростенда.

В качестве переходников используют переходные кубы, резьбовые переходники для клеевого крепления ВИП, если не допускается резьбовое крепление ВИП к вибрирующему объекту [4]. Переходники расширяют эксплуатационные возможности однокомпонентных ВИП, но дополнительно сужают рабочий диапазон частот ($f_{\text{н}} - f_{\text{в}}^{\text{поп}}$) за счёт появления новых, меньших собственных частот поперечных установочных резонансов.

Таким образом измерительные возможности однокомпонентного ВИП, закреплённого на переходнике, ограничены наименьшей частотой $f_{\text{рез}}^{\text{поп}*}$ поперечного установочного резонанса ВИП с учетом крепления к объекту через переходник. При этом верхняя частота рабочего диапазона такой колебательной системы будет равна $f_{\text{в}}^{\text{поп}*} = (1/3) \cdot f_{\text{рез}}^{\text{поп}*}$.

Для определения $f_{\text{в}}^{\text{поп}*}$ вновь воспользуемся программой UMExpress. Сначала рассмотрим установочные резонансы вибродатчика AP2037 массой 12 г, закреплённого резьбовой шпилькой М5 на переходнике [3] в виде куба массой 17 г из сплава Д16 с размерами грани 19 мм, установленного на объекте испытаний с помощью тонкого слоя восковой мастики (рис. 2, а и 2, б). Жёсткости упругих контактных слоёв определялись из [1, 2].

Минимальная частота поперечного установочного резонанса при установке датчика вертикально на верхнюю грань куба (рис. 2, б) составила $f_{\text{рез}}^{\text{поп}*} = 8488$ Гц; при установке на боковую грань куба - $f_{\text{рез}}^{\text{поп}*} = 9312$ Гц (рис. 2, в). Следовательно, при измерении пространственной вибрации для первого ВИП (рис. 2, б) рабочий диапазон частот составит $0,5 \div 2830$ Гц, для второго ВИП, установленного горизонтально (рис. 2, в), составит $0,5 \div 3100$ Гц.

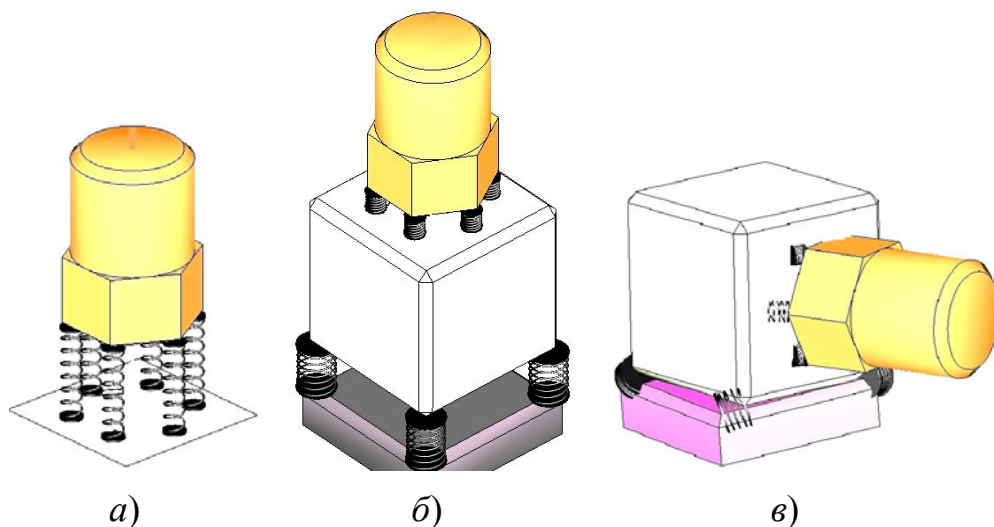


Рис. 2. Расчётные схемы систем: «ВИП + объект испытаний» (а); «ВИП+переходный куб + объект испытаний» (б, в).

Для исключения больших систематических погрешностей, возникающих в диапазоне $(f_{\text{в}}^{\text{поп}} - f_{\text{в}}^{\text{пр}})$ при пространственной вибрации в данном случае в измерительные каналы ВИП следует ввести нестандартные фильтры с верхним пределом частоты $f_{\text{ф}} = 2800$ Гц.

Для исключения использования нестандартных фильтров в измерительных цепях была предложена конструкция уголкового переходника (рис. 3), позволяющая крепить ВИП на объекте в двух разных положениях.

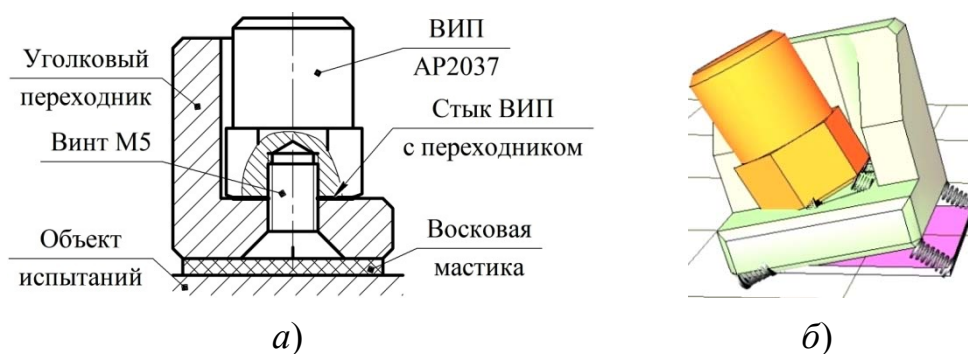


Рис. 3:

а) ВИП на угловом переходнике; б) модель

В результате компьютерного моделирования было установлено: минимальная частота поперечного установочного резонанса при установке датчика вертикально (рис. 4) составляет $f_{\text{рез}}^{\text{поп}*} = 10816$ Гц; при установке переходника на боковую грань (ось ВИП ориентирована горизонтально) - $f_{\text{рез}}^{\text{поп}*} = 11138$ Гц. Рабочие диапазоны частот при этом соответственно составляют $0,2 \div 3605$ Гц и $0,2 \div 3713$ Гц. Видно, что рабочий диапазон ВИП в этом случае можно ограничить в измерительной цепи стандартным фильтром с $f_{\phi} = 3000$ Гц.

Экспериментальная проверка ВИП с угловым переходником подтвердила его метрологические свойства при измерении пространственной вибрации в диапазоне частот от 50 до 2500 Гц.

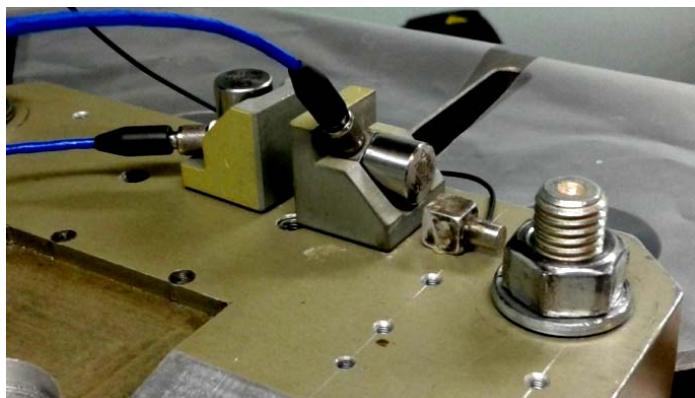


Рис. 4. Экспериментальная проверка

Применение переходного куба, рекомендованного ГОСТом [3] для крепления ВИП на объекте, не позволяет использовать в измерительной цепи ВИП стандартные фильтры с верхним пределом частоты 3000 Гц. Использование стандартных фильтров может обеспечить ВИП, который крепится на предложенном угловом переходнике, имеющем две взаимно ортогональные установочные поверхности, одну из которых приклеивают к объекту испытаний вме-

сто резьбового крепления. Такое крепление существенно расширяет эксплуатационные возможности ВИП при аттестации вибростендов и приспособлений, с помощью которых крепят изделия на столе электродинамического вибростенда, в диапазоне частот 5 -2000 Гц. Однако при аттестации этих вибростендов [3] более целесообразно использовать трехкомпонентные ВИП без переходников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Остроменский П. И., Волошин А. В. Метод расчёта собственных частот составных тел с плоским стыком // Вестник СГУПС. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2014. Вып. 30. С. 71-79.
2. ГОСТ Р ИСО 5348-99. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.
3. ГОСТ 25051.3-83. Установки испытательные вибрационные электродинамические. Методы и средства аттестации.
4. GLOBALTEST. Датчиковая измерительная аппаратура. Каталог 2018. Саров, 2018.– 266 с.

© П. И. Остроменский, А. В. Волошин, А. В. Салов,
Д. С. Лощёнов, Г. В. Суменко, 2018

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИК ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА НА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: V.S.Ayrapetyan@ssga.ru

В работе рассмотрены вопросы воздействия сверхкоротких лазерных импульсов высокой мощности на системы управления летательных объектов. Рассчитаны предельные параметры лазерной системы и дальность действия энергии лазерного импульса на исследуемый объект. Разработана оптическая схема ИК параметрического лазерного комплекса с плавной и/или дискретной перестройкой частоты излучения лазера, необходимая для эффективного воздействия лазерного импульса на исследуемый объект.

Ключевые слова: параметрический лазер, беспилотные летательные аппараты, сверхкороткие лазерные импульсы.

INFLUENCE OF AN ULTRASHORT IR LASER PULSE ON THE CONTROL SYSTEMS OF FLYING OBJECTS

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31, e-mail: V.S.Ayrapetyan@ssga.ru

The paper deals with the effects of ultrashort laser pulses of high power on the control systems of flying objects. The limiting parameters of the laser system and the range of energy of the laser pulse on the object under study are calculated. An optical scheme was developed for an IR parametric laser complex with a smooth and/or discrete laser frequency tuning required for the effective action of a laser pulse on the object under study.

Key words: parametric laser, unmanned aerial vehicles, ultrashort laser pulses.

Возможность создания эффективных и компактных лазерных систем, способных генерировать импульсы предельно короткой длительности и сверхвысокой мощности, открывает замечательные перспективы их применения в области военной техники.

В данной работе рассмотрено одно из многочисленных применений мощных лазерных источников как средство воздействия на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в первую очередь малогабаритные мини- и микро БПЛА.

БПЛА принято делить по таким взаимосвязанным параметрам, как масса, время, дальность и высота полета. Выделяют следующие классы аппаратов [1]:

- «микро» (условное название) массой до 10 кг, временем полета около 1 ч и высотой полета до 1 км;

- «мини» массой до 50 кг, временем полета несколько часов и высотой до 3–5 км;
- средние («миди») до 1000 кг, временем 10–12 ч и высотой до 9–10 км;
- тяжелые с высотами полета до 20 км и временем полета 24 ч и более;

Основное требование, предъявляемое к лазерной системе, заключается в том, что она должна поражать БПЛА малой дальности и снаряды при помощи лазерного луча, нагревая боевую часть боеприпасов до разрушения.

Воздействие лазерного излучения на корпус БПЛА определяется длительностью лазерного импульса $\tau_{\text{имп}}$, и температурнопроводностью материала θ , с помощью которой можно определить, за время прогрева слоя вещества толщиной δ , согласно формуле: $\tau_{\text{прогр.}} = \delta^2/\theta$. Следовательно, глубина прогрева можно вычислить как $\delta = \sqrt{\tau\theta}$ при известных значениях θ .

Значения температурнопроводности θ и другие теплофизические свойства некоторых материалов, в том числе конструкционных, применяемых в ракетной технике, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Некоторые технические характеристики конструкционных материалов

Материал	Плотность 10^3 , кг/м ³	Теплоемкость c_p , кДж/(кг. К)	Теплопроводность α , кВт/(м.К)	Температурно- проводность θ , м ² /с 10^{-7}
Алюминий	2,70	0,92	0,21	840,0
Титан	4,50	0,53	0,02	93,0
Сталь	7,80	0,50	0,03	120,0
Углерод	2,50	0,75	0,34	2200,0
Магний	1,74	1,00	0,1	1110,0
Медь	8,90	0,38	0,401	-
Фенольформальдегидные смолы	1,73	0,80	$1,6 \cdot 10^{-4}$	1,2
Углепластики	1,3-1,9	0,6-1,5	$0,75 \cdot 10^{-3}$	5,7
Стеклопластики	1,6-2,2	0,7-4,2	$0,25 \cdot 10^{-3}$	0,6

Предварительный расчет порога разрушения лазерным излучением элементов конструкции БПЛА показывает, что для поражения различных летательных объектов на горизонтальных дистанциях от 8 до 20 км интенсивность лазерного импульса должна быть порядка 10^{14} Вт/см².

С экономической точки зрения и по эффективности воздействия на БПЛА представляется наиболее целесообразным использование ИК лазерное излучение с длительностью импульса менее 10 пс.

Современные лазеры с ультракороткой длительностью импульса обеспечивают пиковую мощность порядка 10^{15} Вт, а при фокусировании пучка – интенсивность излучения свыше 10^{21} Вт/см². Это означает, что превышение порога

разрушения элементов конструкции БПЛА можно достигнуть не за счет температурного прогрева, а градиентом давления, т.к. давление светового импульса на корпус БПЛА составляет порядка 300Гбар [2, 3]. Примером служит пробивание спичечной головки ультракоротким лазерным импульсом (рис. 1).

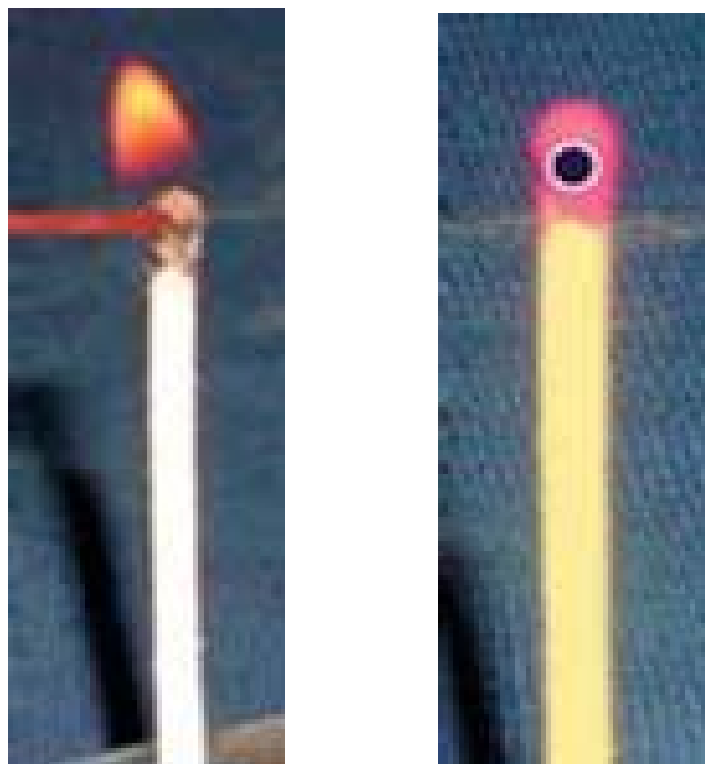


Рис. 1. Излучение наносекундного импульсного лазера зажигает спичечную головку, а сильно сжатый, «гигантский импульс» пробивает ее – горючий состав не успевает вспыхнуть

Немаловажное значение имеет прохождение лазерного излучения через открытую атмосферу.

Классические лазеры с фиксированной частотой излучения, используемые для дистанционного воздействия на системы управления летательных объектов в открытой атмосфере не всегда эффективны, из-за неоднородного пропускания атмосферой электромагнитного излучения (рис. 2). Для решения этой задачи необходимо выполнение двух условий:

1. Ширина спектра излучения лазера должна быть уже диапазона пропускания атмосферы;
2. Длина волны лазерного излучения должна совпадать с максимумом поглощения материала корпуса БПЛА.

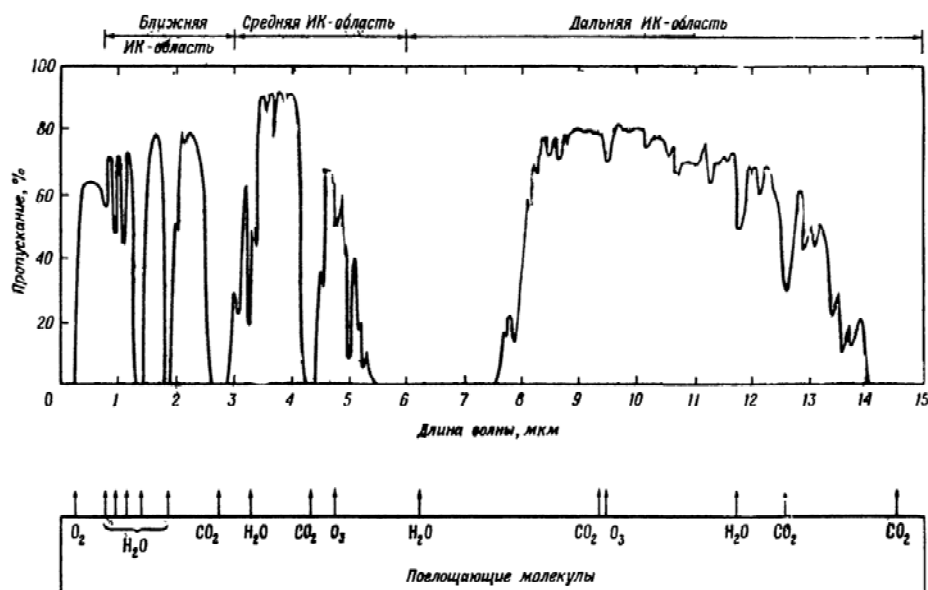


Рис. 2. Спектр пропускания атмосферы Земли от вакуумного ультрафиолета до дальней инфракрасной области длин электромагнитных волн [4]

В работе предложен другой подход к решению данной проблемы, а именно: разработка и создание высокомонохроматичного ИК параметрического лазера с эффективным энергосъемом [5,6], позволяющего плавную и/или дискретную перестройку частоты излучения в широком диапазоне длин волн (рис. 3).

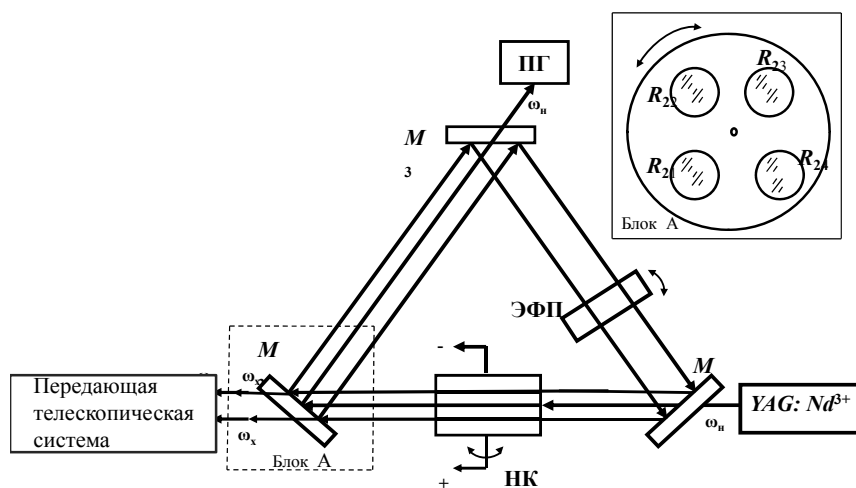


Рис. 3. Оптическая схема ИК параметрического лазера с перестройкой частоты излучения. YAG: Nd³⁺ – лазер накачки, M₁, M₂, M₃ – зеркала резонатора, НК – нелинейный кристалл, ЭФП – эталон Фабри-Перо

Плавным сканированием частоты лазерного излучения достигается высокое совпадение области прозрачности атмосферы, максимальное поглощение материала корпуса БПЛА и длины волны лазера. По этому каналу прозрачности атмосферы энергия сверхкороткого лазерного импульса без потерь доставляется на цель, находящаяся на максимальном расстоянии. Основные технические характеристики ИК параметрического лазера:

- выходная энергия в импульсе 50 мДж;
- длительность импульса < 10 нс;
- диапазон перестройки длины волны 1,41 – 4,24 мкм;
- расходимость излучения < 0,5 мрад;
- спектральная ширина излучения $\leq 0,5 \text{ см}^{-1}$;
- диаметр пятна на выходе 5 мм;

С учетом данных приведенных в таблице 1 и основываясь на технических характеристиках ИК параметрического лазера можно оценить максимальную дальность действия лазерного импульса, способного нанести достаточный ущерб микроБПЛА. Для случая ИК параметрического лазера с плотностью мощности 250 МВт/см^2 на выходе такое расстояние составляет от 5 до 10 км, в зависимости от влияния атмосферы и характеристик материала корпуса БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борейшо В. А., Клочков Д. В., Коняев М. А., Никулин Е. Н. Военные применения лазеров, БГТУ, С.-Петербург, 2015, с. 103
2. Diels J.- C., Rudolph W. Ultrashort laser pulse phenomena: fundamentals, techniques, and applications femtosecond time scale (Boston, Academic Press, 1996).
3. Femtosecond Laser Pulses (Claude Rulliere, ed.) (Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1998).
4. The Infrared and electro-optical systems handbook/J.S.Acceta, D.L.Shumacher/ SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, 1996.
5. Ayrapetyan V.S., Hakobyan A. V., Apresyan G.M., Pogosyan E.M., Sargsyan K.A., Sargsyan T.K., IR Lidar Based on OPO //Proc. SPIE. Twelfth Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics. – 2005. V.6160, 708-713.
6. Айрапетян В. С. Внерезонаторная параметрическая генерация с плавной и (или) дискретной перестройкой частоты излучения, Вестник НГУ, Серия: Физика, 2009, т.4, вып. 3, С. 20–24.

© В. С. Айрапетян, 2018

**ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ
ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЛАМЕНИ В ЗАКРЫТОМ СОСУДЕ,
ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОМ ПОРИСТОЙ СРЕДОЙ**

Ярослав Владимирович Козлов

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, ведущий инженер, тел. (383)333-22-96, e-mail: yaroslav@kinetics.nsc.ru

Алексей Анатольевич Коржавин

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, доктор технических наук, тел. (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Павел Кондратьевич Сеначин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, доктор технических наук, тел. (3852)29-87-22, e-mail: senachinpk@mail.ru

Проведено исследование процессов горения в закрытом сосуде, частично заполненном пористой средой. Экспериментально изучены процессы нагрева и охлаждения газа в пористой инертной среде, в процессе распространения пламени в свободном объеме и в пористой среде.

Ключевые слова: горение, взрыв, пористая среда, закрытый сосуд.

**DYNAMICS OF GAS TEMPERATURE IN A POROUS MEDIUM WITH THE FLAME
PROPAGATION IN A CLOSED VESSEL PARTIALLY FILLED WITH A POROUS
MEDIUM**

Yaroslav V. Kozlov

Institute Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Leading Engineer, phone: (383)333-22-96, e-mail: yaroslav@kinetics.nsc.ru

Alexey A. Korzhavin

Institute Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., phone: (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Pavel K. Senachin

Polzunov Altai State Technical University, 46, Lenin St., Barnaul, 656038, Russia, D. Sc., phone: (3852)29-87-22, e-mail: senachinpk@mail.ru

The study of combustion processes in closed vessel partially filled with a porous medium was carried out. The process of heating and cooling of the gas in the porous medium during flame propagation in the free volume and porous medium was experimentally studied.

Key words: combustion, explosion, porous medium, closed vessel.

Исследование процессов сгорания газа в закрытых сосудах с пористой средой (ПС) имеет практический интерес, как способ предотвращения взрывных процессов в сосудах с топливно-воздушными смесями [1, 2].

Особенностями горения в подобных системах является малый прирост давления в закрытом объёме, ввиду высокой теплоемкости пористой среды относительно газа [3, 4].

В отличие от сосудов с пористой средой, в незаполненных закрытых сосудах конечные давления многократно превосходят начальные [5]. Поэтому присутствие в закрытом сосуде, одновременно, как пористой среды, так и объемов без ПС вызывают трудности при расчете термодинамических параметров процесса. В предыдущих работах [2, 6, 7] были получены данные об особенностях распространения пламени в подобной системе: динамике давления, предельных параметрах, температуре сжатия свежего газа в объёме, свободном от ПС. Также была дана теоретическая оценка максимального давления.

В работе [8] была предложена модель горения в частично заполненном сосуде, в которой учитывался теплообмен газа со стенкой. Модель предсказывает динамику температуры свежего газа в ПС в зависимости от коэффициента теплообмена, скорости роста давления и текущего давления.

Теоретическая модель связывает относительную температуру T/T_0 со скоростью роста относительного давления $d\pi/dt$. При линейном росте давления от времени температура в пористой среде асимптотически стремится к постоянному значению.

В настоящей работе, для качественного подтверждения этих теоретических оценок были измерены температуры газа в ПС.

Эксперименты проводились в вертикальной трубе квадратного сечения 48x48 мм, длиной $L = 1.66$ м. В стенке трубы были установлены фотодиоды и датчик давления. Пористая среда засыпалась в трубу на высоту 30 см. Остальной объём был свободен от ПС. Труба закрывалась с торцов фланцами, в одном из которых находились электроды зажигания, откачивалась и заполнялась смесью пропана и воздуха. Эксперименты проведены для двух смесей: 3% (бедная смесь) и 4 % (стехиометрия) пропана в топливно-воздушной смеси. Начальное давление порядка 0.11 МПа. В качестве пористой среды использовались кольца Рашига с характерным диаметром 5мм. Для измерения температуры газа в пористой среде, на расстоянии 12 см от границы раздела *свободный объём/пористая среда* была установлена термопара W/Re (5/20), диаметром 15 мкм. Спай термопары помещался между зёрнами пористой среды, и не соприкасался с поверхностью зёрен. Газовая смесь поджигалась у верхнего фланца и пламя распространялось вниз по свободному от ПС объёму. При достижении границы раздела *свободный объём/пористая среда* пламя могло войти в ПС и распространяться дальше, либо погаснуть. Второй случай имеет место для бедных смесей.

На рис. 1 представлена зависимость относительного давления π и прироста температуры газа $\Delta T = T - T_0$ в пористой среде от времени, где $\pi = p/p_0$ – текущее

безразмерное давление, p_0 – начальное давление, T – текущая температура газа в ПС, T_0 – начальная температура смеси.

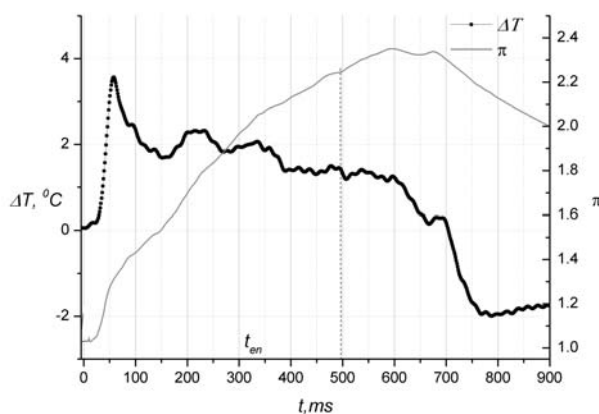


Рис. 1. Динамика давления и прироста температуры газа в пористой среде: 3 % пропано-воздушная смесь, t_{en} – время входа волны горения в ПС

Температура для 3% смеси изменяется следующим образом. При $t=0$ газ воспламеняется и начинается распространение пламени по свежему газу в свободном объеме. С этого момента в сосуде наблюдается быстрый рост давления. Также быстро возрастает температура. Начиная с момента времени $t=50$ мс рост давления начинает замедляться ($d\pi/dt$ уменьшаются), что приводит к падению температуры газа в ПС. А с $t \geq 150$ мс $d\pi/dt$ снова возрастает, и температура газа дает небольшой прирост. В момент подхода пламени к пористой среде происходит замедление роста давления (в окрестности t_{en}) и температура газа уменьшается. В момент $t=500$ мс пламя подходит к границе раздела *свободный объём/пористая среда*, где происходит гашение пламени, т.к. для данной смеси достигается предел распространения пламени в пористой среде. После гашения пламени, за счет охлаждения продуктов сгорания стенками в свободном объеме, происходит понижение давления в сосуде и, как следствие, происходит расширение свежего газа в свободный объем. Из рис.1 следует, что температура свежего газа в ПС непрерывно падает и в точке $t \sim 700$ мс становится ниже начальной температуры, после чего постепенно, в течение, примерно, 4 секунд восстанавливается до начальной температуры. Иная ситуация наблюдается для 4%-ой смеси (рис. 2).

Сначала, так же как и в первом случае, температура газа в пористой среде возрастает до некоторого значения в соответствии с ростом давления в сосуде. Как видно на рис. 2, начиная с $t \sim 25$ мс $d\pi/dt$ уменьшаться и температура также следует за этим уменьшением. Далее, при $t \sim 60$ мс $d\pi/dt$ снова возрастает, температура газа в ПС также увеличивается и потом опять начинает падать в соответствии с поведением $d\pi/dt$. В момент времени $t \sim 180$ мс пламя входит в ПС. До подхода волны горения к термопаре (в течении 180 мс) средняя температура

газа в ПС меняется слабо. В момент подхода племени к термопаре, температура начинает быстро возрастать (при $t > 200$ мс).

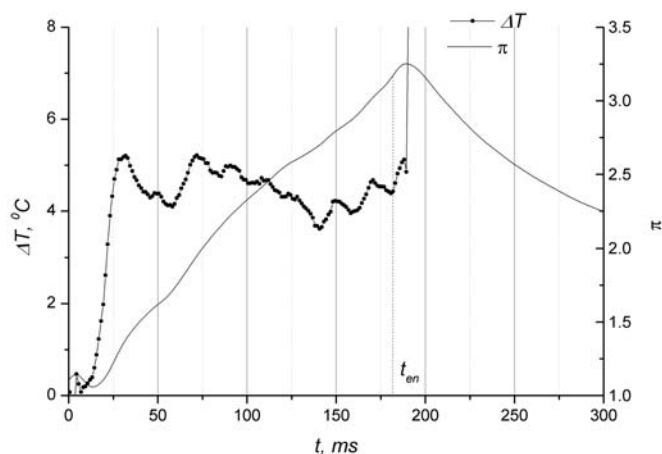


Рис. 2. Динамика давления и прироста температуры газа в пористой среде:
4% пропано-воздушная смесь, t_{en} – время входа волны горения в ПС

Для сопоставления масштабов температурных процессов в свежем газе, находящемся в ПС, на рис.3 представлены температуры для 3% и 4% смеси. Как показали эксперименты, для случая бедной пропано-воздушной смеси (3%) скорость роста безразмерного давления $\sim 3.8 \text{ сек}^{-1}$, а для 4% значительно больше $\sim 15 \text{ сек}^{-1}$. Из рис.3 следует, что для 4% смеси, во-первых, температура газа в ПС выше чем для 3% смеси. Это объясняется большей скоростью роста давления в системе, хотя для 3% смеси начальное давление 0.13МПа, а для 4% 0.11МПа.

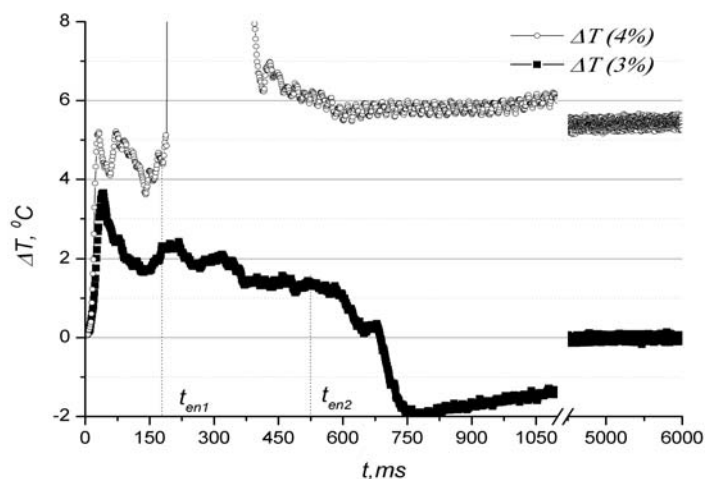


Рис. 3. Прироста температур газа в пористой среде для двух смесей:
 t_{en1} –время входа пламени в ПС для 4% смеси
 t_{en2} –время входа пламени в ПС для 3% смеси

Во-вторых, для 3% смеси, по окончании процесса распространения пламени, температура газа в ПС сначала падает до температуры ниже начальной ($t \sim 750$ мс) и, затем, возвращается к начальной температуре T_0 (рис.1. $t \sim 5$ с). Для 4% смеси, после прохождения пламени, температура газа в ПС падает не до начальной, а до равновесной температуры газ/пористая среда, обусловленной тепловым эффектом горения при текущем давлении. И затем, по прошествии достаточно большого времени (минуты), пористая среда остывает и температура газа уменьшается до начальной.

Выводы

Экспериментально подтверждены теоретические предположения о том, что на текущую температуру газа в ПС оказывает влияние скорость роста давления.

Для бедной смеси, после гашения волны горения на границе раздела, температура свежего газа в ПС сначала убывает до температур ниже начальной, что обусловлено высокой скоростью падения давления из-за охлаждения продуктов в свободном пространстве, а затем стремится к начальной температуре.

При распространении пламени через пористую среду, температура газа стремится к равновесной температуре газ/пористая среда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Robert Zalosh. Deflagration suppression using expanded metal mesh and polymer foams. J. Loss Prevention in the Process Industries 20 (2007) p. 659-663
2. Козлов Я. В., Коржавин А. А., Вьюн А. В. Использование пористых сред для предотвращения взрыва в закрытых объемах, содержащих горючие смеси // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 60–65.
3. Babkin V.S., Korzhavin A.A., Bunev V.A. Propagation of premixed explosion flames in porous media. // *Combust.Flame.* – 1991. – Vol. 87, N 2. – P. 182-190.
4. Korzhavin A.A., Bunev V.A., Babkin V.S. Dynamics of Gas Combustion in Closed Systems with an Inert Porous Medium. // *Combustion and Flame.* – 1997. Vol. 109. – P. 507–520.
5. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения // отв. редактор Солоухин Р.И. - М.: Наука, 1980. -478 с.
6. Козлов Я. В., Коржавин А. А., Сеначин П. К. Распространение пламени в сосуде, частично заполненном пористой средой // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 235–241.
7. Козлов Я.В., Коржавин А.А., Сеначин П.К. Горение в сосуде, частично заполненном пористой средой [Электронный ресурс] // Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием: «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения», Новосибирск, 16–18 ноября, 2015 г. – Новосибирск: Института теплофизики СО РАН, 2015. URL: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D2_S3-10.pdf (дата обращения: 29.03.2018)
8. Kozlov Y., Korzhavin A., Senachin P. Dynamics of pressure and temperatures under flame propagation in a closed vessel with porous medium // 9th International Seminar On Flame Structure. Novosibirsk, Russia, July 10–14, 2017. Book of Abstracts. Novosibirsk, 2017. –P.62

© Я. В. Козлов, А. А. Коржавин, П. К. Сеначин, 2018

ПРЕДЕЛЫ ЗАЖИГАНИЯ ВОЛН ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ГАЗА НАГРЕТЫМ УЧАСТКОМ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Евгений Витальевич Манжос

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, ведущий инженер, тел. (383)333-02-17, e-mail: eugen.manzhos@kinetics.nsc.ru

Наталья Александровна Какуткина

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь, тел. (383)333-22-96, e-mail: kktk@kinetics.nsc.ru

Алексей Анатольевич Коржавин

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, доктор технических наук, доцент, зав. лабораторией физики и химии горения газов, тел. (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Александр Дмитриевич Рычков

Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

Проведено численное моделирование зажигания волны фильтрационного горения газа (ФГГ) нагретым участком инертной пористой среды. Получены зависимости времени зажигания волны от скорости течения газовой смеси, температуры нагретого участка пористой среды и его длины. Установлено наличие пределов зажигания волны ФГГ и обсуждается их природа.

Ключевые слова: фильтрационное горение, горение газа, зажигание.

THE LIMITS OF IGNITION OF FILTRATION GAS COMBUSTION WAVES WITH HEATED AREA OF THE POROUS MEDIUM

Evgeny V. Manzhos

Institute Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Leading Engineer, phone: (383)333-02-17, e-mail: eugen.manzhos@kinetics.nsc.ru

Natalya A. Kakutkina

Institute Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Senior Researcher, Academic Secretary, phone: (383)333-22-96, e-mail: kktk@kinetics.nsc.ru

Aleksey A. Korzhavin

Institute Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Associate Professor, Head of Laboratory of Gas Combustion Chemistry and Physics, phone: (383)333-22-96, e-mail: korzh@kinetics.nsc.ru

Alexander D. Rychkov

Institute of Computational Technologies SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Professor, Chief Researcher

The numerical simulation of ignition of waves of filtration gas combustion (FGC) with heated portion of the porous medium was carried out. The dependencies of the wave ignition times on gas mixture flow rate, the temperature of the heated portion of the porous medium and his size were obtained. It was established existence of ignition limits of the FGC waves and discusses their nature.

Key words: filtration combustion, gas combustion, ignition.

Распространение волны горения в пористых средах при фильтрации газа или фильтрационное горение (ФГ) в настоящее время активно исследуется. Процессы ФГ включаются в технологические схемы различных производств. К таковым, например, относятся доменная выплавка чугуна, обжиг и агломерация руд, регенерация катализаторов методом выжигания коксовых отложений, добыча нефти с помощью внутрискластового горения и др. [1, 2].

Среди процессов ФГ благодаря особым свойствам и закономерностям как самостоятельный вид гетерогенного горения выделено фильтрационное горение газов (ФГГ) [3] также находящее широкое применение в различных устройствах.

В настоящее время изучены закономерности стационарных процессов ФГГ: построены модели, интерпретирующие экспериментально наблюдаемые явления и закономерности [3, 4]. Проведена классификация режимов ФГГ [3, 4]. Изучены определяющие параметры и параметрические зависимости скорости распространения и температуры волн горения. Исследованы особенности протекания химических превращений в процессах ФГГ [5].

Недостаточно исследованными остаются нестационарные процессы фильтрационного горения газа, включающие зажигание, гашение волн ФГГ, распространение в нестационарных параметрических условиях. Такие процессы происходят при работе любого устройства на основе ФГГ.

Ранее были получены зависимости минимально необходимой для зажигания волны ФГГ температуры нагретого участка пористой среды от его длины, скорости потока газовой смеси, эффективной теплопроводности пористой среды и от диаметра зерна пористой среды [6]. Целью настоящей работы является исследование пределов зажигания волн ФГГ нагретым участком пористой среды в зависимости от скорости подачи газа, температуры нагретого участка и его длины.

Удобным и информативным методом исследования нестационарных процессов ФГГ является метод численного моделирования [7]. В настоящей работе использовался тот же метод, что и в работе [6]. При этом параметры газа и пористой среды приняты наиболее близкие практическим.

Для газовой смеси приняты параметры: теплоемкость $C_p=1$ кДж/(кг·К), коэффициент теплопроводности $\lambda_g=0.1$ Вт/(м·К), адиабатическая температура горения смеси $T=2320$ К. Моделирование проводилось для случая адиабатического горения – отсутствия теплообмена с окружающей средой.

Характеристики пористой среды выбраны следующими: теплоемкость $c_s=800$ Дж/(кг·К), плотность $\rho_s=3900$ кг/м³, теплопроводность $\lambda_s=2$ Вт/(м·К), по-

ристость $\varepsilon_g=0.5$; диаметр зерна d_s от 3.7 мм. Длина участка с пористой средой принята равной $L=200$ мм, диаметр моделируемой трубы $D=50$ мм, длина размещенного в пористой среде нагретого участка $l=50$ мм.

В начальный момент времени задавался нагретый до температуры T_{ign} участок пористой среды длиной l расположенный симметрично от краев, возможность зажигания которым исследовалась численно. Количественной характеристикой процесса формирования волны ФГГ выбрано время зажигания t_{ign} – время от начала моделирования до возникновения квазистационарной волны ФГГ.

На рис. 1 представлены результаты расчета зависимости t_{ign} от скорости подачи газовой смеси v при постоянных l и T_{ign} .

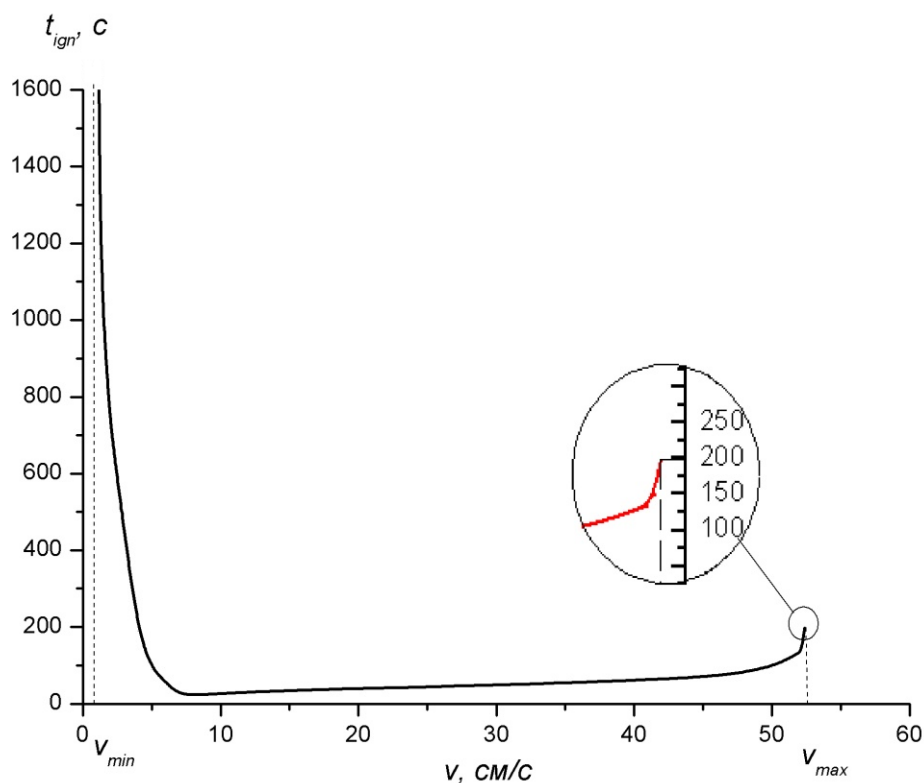


Рис. 1. Зависимость t_{ign} от скорости подачи газа v при $T_{ign} = 1145\text{K}$, $l = 50$ мм

Зависимость t_{ign} от v носит U-образный характер. Со стороны низких скоростей подачи газа при стремлении v к некоторому значению v_{min} время зажигания волны ФГГ асимптотически стремится к бесконечности. Далее, по мере увеличения скорости подачи, время зажигания волны ФГГ сначала уменьшается, достигая минимального значения, и затем снова начинает возрастать. Начиная с некоторого значения скорости подачи газа v_{max} зажигание невозможно. При этом t_{ign} не стремится асимптотически к бесконечности, как в случае нижнего предела, а достигает определенного максимального значения при некотором значении v_{max} .

Предположительно наличие нижнего предела зажигания обусловлено малым количеством поступающей горючей смеси, вследствие низкой скорости подачи газа. При этом скорость выделения тепла реагирующего газа может оказаться ниже скорости оттока тепла за счет теплопроводности.

Наличие верхнего предела предположительно обусловлено тем, что вследствие высокой скорости движения поступающего газа он не успевает набрать нужной для воспламенения температуры при перемещении по нагретому участку пористой среды.

Обнаружен предел по температуре нагретого участка T_{ign} при постоянных ν и l . При малых значениях T_{ign} зажигания волны ФГГ не происходит. Предел вероятно обусловлен недостаточным нагревом свежей смеси при прохождении нагретого участка, вследствие его низкой температуры.

При больших значениях T_{ign} время зажигания волны ФГГ изменяется слабо, стремясь к некоторому значению t_{ign} .

Также обнаружен нижний предел зажигания по длине нагретого участка пористой среды l при постоянных ν и T_{ign} . При малых l зажигания волны ФГГ не происходит. Как и в случае верхнего предела по скорости подачи газа этот предел имеет конечное значение. Конечная величина l обусловлена тем, что газ успевает приобрести температуру, нужную для вспышки, только при определенном времени нахождения в нагретом участке прямо пропорциональном его длине.

При больших значениях длины нагретого участка время зажигания волны ФГГ изменяется слабо, стремясь к некоторому конечному значению.

Выводы

1. Проведено математическое моделирование нестационарного процесса фильтрационного горения – зажигания волн ФГГ нагретым участком пористой среды.
2. Получены зависимости времени зажигания волны ФГГ от скорости потока газовой смеси, от температуры нагретого участка пористой среды и его длины.
3. Сделаны предположения о природе пределов зажигания волны ФГГ по скорости подачи горючего газа, по температуре нагретого участка пористой среды и его длине.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория фильтрационного горения: общие представления и состояние исследований/ Алдушин А.П., Мержанов А.Г. // Распространение тепловых волн в гетерогенных средах. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.
2. Applications of porous media combustion technology – A review. M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, M.Z. Abu Bakar, A.A. Mohamad, M.K. Abdullah. AppliedEnergy 86 (2009), pp. 136-1375
3. Лаевский Ю. М., Бабкин В. С., Фильтрационное горение газа// Распространение тепловых волн в гетерогенных средах / Ю. Ш. Матрос. – Новосибирск: “Наука”, 1988.

4. Доброго К.В., Жданок С.А. Физика фильтрационного горения газов. Минск: Национальная Академия наук Беларуси. Институт тепло-массообмена им. Лыкова А.В., 2002.
5. Футько С.И., Жданок С.А. Химия фильтрационного горения газов. Минск: Беларуская навука. 2004.
6. Зажигание волн фильтрационного горения газа нагретым участком пористой среды / Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. В. Вьюн // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 223–229.
7. Моделирование нестационарных процессов фильтрационного горения газа. Какуткина Н.А., Рычков А.Д. Физика горения и взрыва. 2010. Т.46. №3. С. 44–51.

© Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. Д. Рычков, 2018

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

Софья Федоровна Дубинина

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Татьяна Евгеньевна Заводова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, аспирант, зав. лабораторией кафедры специального машиностроения, тел. (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

Рассмотрен газодинамический метод для определения внутрибаллистических характеристик при выстреле. Дана система уравнений газодинамического метода. Приведены графики изменения давления пороховых газов при выстреле и распространения волн давления по каналу ствола орудия.

Ключевые слова: внутрибаллистические характеристики, газодинамический подход.

THE GAS-DYNAMIC APPROACH IN CALCULATING INTRA BALLISTIC PARAMETERS OF THE SHOT

Sofia F. Dubinina

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, phone: (922)604-06-33, e-mail: kitolov18@gmail.com

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Tatiana E. Zavodova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D. Stu-

dent, Head of Laboratory of Department of Special Engineering, phone: (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

A gas-dynamic method for determining the interior ballistic characteristics of a shot is considered. The system of equations for the gas dynamic method is given. Graphs of the change in the pressure of powder gases during the shot and the propagation of pressure waves along the channel of the gun barrel are given.

Key words: interior ballistic characteristics, gas-dynamic approach.

Для вычисления внутрибаллистических параметров при выстреле в настоящее время используют два метода: термодинамический и газодинамический.

Основным допущением термодинамического метода является осреднение плотности и температуры по всему заснарядному пространству, таким образом, для этого метода характерен «нуль-мерный» порядок решаемой задачи. Потери энергии (связанные с перемещением массы пороховых газов, порохового заряда, преодоления трения и т. д.) учитываются введением коэффициентов фиктивности, которые искусственно увеличивают фактическую массу снаряда.

Термодинамический метод имеет существенные недостатки: невозможно описать распространение волн давления по заснарядному пространству, точно описать движение газа в канале ствола, не учитываются многие факторы, влияющие на процессы горения пороха: теплотери, форма зарядной камеры, процессы перемещения пороховых зерен вдоль камеры и т.п. В связи с этим в настоящее время широко используется газодинамический подход.

Газодинамический подход основан на рассмотрении движения газопороховой смеси по заснарядному пространству. При этом все внутрибаллистические процессы описываются с помощью системы дифференциальных уравнений. В этом методе учитывается неравномерное распределение давления, плотности и температуры по длине камеры, порядок задачи может быть одно-, двух или трехмерный. При этом хорошо описываются и волновые процессы, происходящие при перемещении пороховых газов. Таким образом, достигается большая точность вычислений и лучшее соответствие реальным процессам, происходящим при выстреле, по сравнению с термодинамическим подходом.

При использовании газодинамического метода расчета в случае одномерного порядка задачи делаются следующие основные допущения [1-3]

- все газодинамические параметры изменяются только вдоль оси ствола, для одного и того же поперечного сечения канала ствола их значения в любой точке одинаковы;
- деформирование стенок ствола и зарядной камеры не рассматривается;
- стенки ствола и зарядной камеры газонепроницаемые;

- порох, расположенный в канале ствола и в зарядной камере несжимаем;
- газовая фаза сжимаема,
- действие силы тяжести и вязкости не учитываем (кроме межфазного взаимодействия);
- течение газа между пороховыми элементами и внутри пороховых элементов (в каналах трубок и зерен) одинаково;
- термохимические реакции, происходящие в процессе образования и движения пороховых газов не рассматриваются;
- расстояния, на которых газодинамические параметры меняются существенно, значительно превышают размеры частиц и расстояния между частицами.
- в каждой точке пространства присутствует смесь из различных фаз (газовой фазы и пороховых элементов), каждая фаза занимает часть объема этой смеси.
- расчет движения газовой фазы и пороховых элементов производится независимо друг от друга, при этом учитываются межфазные взаимодействия.
- теплоотдача к горячей поверхности пороховых элементов не учитывается.
- предварительный период не рассматривается; движение снаряда начинается после того, как давление в заснарядном объеме достигнет давления форсирования p_0 .

В начале горения порохового заряда границы распространения твердой и газообразной фаз совпадают, но, по мере развития процесса, твердая фаза отстает от газообразной фазы, так как скорости движения пороховых элементов ниже, чем у пороховых газов. За боеприпасом образуется область чистого газа, таким образом, часть заснарядного пространства будет занимать смесь из пороховых элементов и пороховых газов, а часть только пороховые газы (рис. 1).

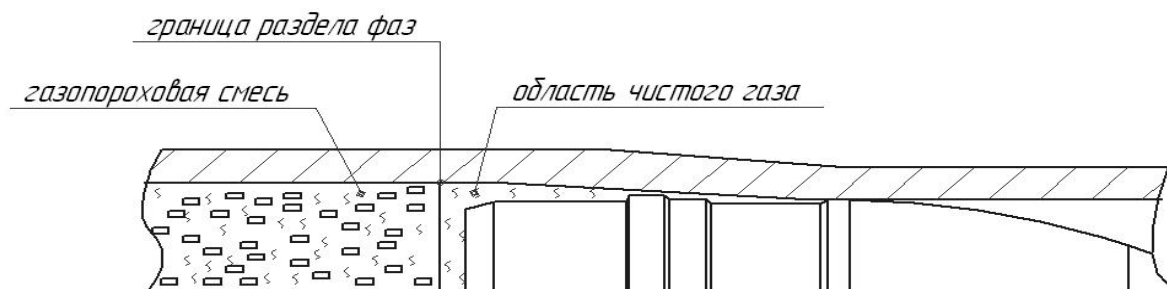


Рис. 1. Распространение газопороховой смеси

Пороховой заряд может иметь различную конструкцию, состоять из зернового или трубчатого пороха или из комбинации нескольких видов порохов. При моделировании для случая комбинированного заряда делается еще ряд допущений [1-3]:

- пороховые газы, образовавшиеся в результате горения различных частей заряда, составляют однородную смесь.
- горение трубчатого заряда с торцов не учитывается.

– пороховые элементы различных зарядов не перемешиваются между собой и на границе между зарядами скорости движения составляющих их элементов равны между собой.

В систему уравнений, используемых при газодинамическом подходе входят: уравнение неразрывности, уравнение движения, уравнение энергии, а также дополнительные уравнения, используемые для вычисления сил межфазного взаимодействия и других параметров, начальные и граничные условия. При этом расчет движения каждой фазы (т.е. пороховых элементов и пороховых газов) производится независимо друг от друга (индекс j обозначает номер части заряда – для комбинированных зарядов, $j = 1, 2$) [1]:

- уравнения для области течения, занятой газовой фазой

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_j m S}{\partial t} + \frac{\partial \rho_j m S v}{\partial x} &= S G_j \\ \frac{\partial \rho m S v}{\partial t} + \frac{\partial \rho m S v^2}{\partial x} &= -m S \frac{\partial p}{\partial x} - S(\tau_{w1} + \tau_{w2}) + S(G_1 + G_2)w - \Pi_c \tau_c \\ \frac{\partial \rho m S \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho m S v \varepsilon}{\partial x} &= -p \frac{\partial [m S v + (1 - m) S w]}{\partial x} + \\ &+ S(\tau_{w1} + \tau_{w2})(v - w) + S G_1 \left[Q_1 + \frac{(v - w)^2}{2} \right] + \\ &+ S G_2 \left[Q_2 + \frac{(v - w)^2}{2} \right] - \Pi_c \tau_c v - \Pi_c q_c \\ p(1 - \alpha \rho) &= \theta \rho \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

- уравнения для области течения, занятой зерненным порошком

$$\begin{aligned} \frac{\partial a_j S}{\partial t} + \frac{\partial a_j S w}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial \delta_j (1 - m) S w}{\partial t} + \frac{\partial \delta_j (1 - m) S w^2}{\partial x} &= -(1 - m) S \frac{\partial p}{\partial x} + S \tau_{wj} - S G_j w \end{aligned} \quad (2)$$

- уравнения для области течения, занятой трубчатым порошком

$$\begin{aligned} n_j &= const \\ (1 - \bar{\psi}_j) \omega_j \frac{dw}{dt} &= [(1 - m) S]_0 p_0 - [(1 - m) S]_{L_j} p_{L_j} + \\ &+ \int_0^{L_{0j}} \left[p \frac{\partial (1 - m) S}{\partial x} + S \tau_{wj} \right] dx \end{aligned} \quad (3)$$

- уравнение горения

$$\frac{\partial \psi_j}{\partial t} + w_j \frac{\partial \psi_j}{\partial x} = \frac{S_{0j}}{\Lambda_{0j}} \sigma_j(\psi_j) u_{kj} = \frac{\alpha_{pj}}{e_{1j}} \sigma_j(\psi_j) u_{kj}$$

где t – время,

x – координата,
 ρ_j – плотность газа для части заряда с индексом j ,
 $\rho = \rho_1 + \rho_2$ – суммарная плотность смеси продуктов горения первой и второй частей заряда,
 v, w – скорость движения газа и твердой фазы в канале ствола соответственно,
 m – пористость смеси,
 S – переменная площадь поперечного сечения камеры и канала ствола,
 p – давление,
 ε – внутренняя энергия единицы массы пороховых газов,
 α – коволюм,
 $\theta = k - 1, k = c_p/c_v$ – показатель адиабаты,
 c_p, c_v – теплоемкость газа при постоянном давлении и объеме,
 Q_1, Q_2 – теплотворная способность (потенциал) пороха,
 Π_c – периметр ствола,
 G_1, G_2 – газоприход с поверхности пороха в единице объема за единицу времени,
 τ_c – сила трения газа о поверхность ствола, приходящаяся на единицу площади,
 τ_{w1}, τ_{w2} – сила взаимодействия приходящаяся на единицу объема, вызванная разностью скоростей между фазами,
 q_c – тепловой поток, направленный на поверхность канала ствола.
 δ – плотность материала пороха,
 a – счетная концентрация зерновых пороховых элементов.
 $\bar{\Psi}_j$ – средняя относительная доля сгоревшего пороха,
 n – число трубок в пучке трубчатого пороха,
 ω – масса заряда,
 L_0 – начальная длина порохового элемента.
 Ψ_j – относительная доля сгоревшего пороха,
 Λ_0, S_0 – начальный объем и поверхность порохового зерна,
 $\sigma(\Psi)$ – отношение текущей поверхности горения к первоначальной,
 u_k – линейная скорость горения пороха,
 α_p – коэффициент формы порохового элемента,
 e_1 – половина начальной толщины горящего свода.
 Начальные условия имеют следующий вид [1-3]:

$$\begin{aligned}
 v &= w = 0 \\
 p &= p_0 \\
 \alpha_j &= \frac{\omega_j}{W_j \delta_j \Lambda_{0j}}
 \end{aligned}$$

$$n_j = \frac{\omega_j}{\Lambda_{mj} L_{0j} \delta_j}$$

$$p_0 \left[W_{\text{км}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} (1 - \psi_1) - \frac{\omega_2}{\delta_2} (1 - \psi_2) - \alpha_1 \omega_1 \psi_1 - \alpha_2 \omega_2 \psi_2 \right] = \\ = \omega_1 \psi_1 \theta_1 Q_1 + \omega_2 \psi_2 \theta_2 Q_2$$

$$\psi_1 = \frac{p_0 \left(W_{\text{км}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} - \frac{\omega_2}{\delta_2} \right)}{\omega_1 \left[\theta_1 Q_1 + p_0 \left(\alpha_1 - \frac{1}{\delta_1} \right) \right] + \omega_2 \left[\theta_2 Q_2 + p_0 \left(\alpha_2 - \frac{1}{\delta_2} \right) \right] \frac{e_{p1} e_{11} u_{12}}{e_{p2} e_{12} u_{11}} p_0^{\nu_2 - \nu_1}}$$

$$\psi_2 = \psi_1 \frac{e_{p1} e_{11} u_{12}}{e_{p2} e_{12} u_{11}} p_0^{\nu_2 - \nu_1}$$

$$\rho_1 = \frac{\omega_1 \psi_1}{W_{\text{км}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} (1 - \psi_1) - \frac{\omega_2}{\delta_2} (1 - \psi_2)}$$

$$\rho_2 = \frac{\omega_2 \psi_2}{W_{\text{км}} - \frac{\omega_1}{\delta_1} (1 - \psi_1) - \frac{\omega_2}{\delta_2} (1 - \psi_2)}$$

$$e_{mj} = \frac{p_0 \left(\frac{1}{\rho_j} - \alpha_j \right) - f_j}{\theta_j}$$

где W_j – объем камеры, занятый j -ым полужарядом,

$W_{\text{км}}$ – объем камеры орудия,

u_{1j} – скорость горения пороха при атмосферном давлении,

ν_j – показатель степени,

f_j – сила пороха,

Λ_{mj} – начальная площадь поперечного сечения пороховой трубки

При расчете внутрибаллистических параметров в уравнениях газодинамического подхода используется такая величина, как пористость – m . Пористость это – объем пустот в единице объема, занятого пороховыми элементами. Таким образом, пороховые элементы будут занимать объем: $1-m$. По мере выгорания пороха пористость будет увеличиваться. В начальный момент времени ее величина равна $m = m_0$. Значение m_0 можно определить, зная плотность заряжения Δ :

$$m_0 = 1 - \frac{\Delta}{\delta}$$

В этом уравнении расчета начального значения пористости считается, что эта величина постоянна для всего объема камеры, то есть пороховые элементы распределены равномерно по всему заснарядному объему. Таким образом, ус-

ловия горения пороха и перемещения пороховых газов при начале расчета будут одними и теми же для всей длины каморы, так как и начальное значение давления тоже определяется одним значением для всего объема каморы. Такой метод не соответствует реальным процессам, происходящим при выстреле. Поэтому правильной будет задавать в начальный момент времени переменную по длине заряда пористость, но для этого необходимо перед началом расчета смоделировать формирование порохового заряда.

В качестве граничных условий задаются скорости движения пороховых газов у дна каморы и у дна снаряда:

при $x = 0$ (у дна каморы):

$$v_{x=0} = w_{x=0} = 0$$

при $x = x_{\text{сн}}$ (у дна снаряда):

$$v_{x=x_{\text{сн}}} = v_{\text{сн}}$$

где $x_{\text{сн}}$ — координата дна снаряда в данный момент времени,

$v_{\text{сн}}$ — скорость снаряда в данный момент времени.

Скорость снаряда определяется через скорость движения его центра масс или при решении комплексной задачи по расчету процессов, происходящих при выстреле, включая расчет движения и деформирования снаряда и сил сопротивления движению.

Система уравнений, используемая для вычисления внутрибаллистических параметров, решается численно. В данном случае наиболее подходящим является совместный эйлера-лагранжев метод, который хорошо подходит для задач газодинамики. Уравнение движения центра масс трубчатого заряда (второе уравнение системы 3) решается методом Эйлера [1].

При расчете используется регулярная пространственно-временная сетка (рис. 2). Вся длина каморы и ствола разбивается на отдельные сечения с номерами от 0 до n . Значения скоростей и количества движения (v , w) определяются в целых точках пространственной координаты $k \cdot h$ и в средних точках по времени. Значения остальных величин определяются в средних точках пространственной координаты и в целых точках по времени.

При выполнении расчета основную систему уравнений можно использовать по всему заснарядному объему, но для расчета всех необходимых параметров на границах этого объема (в точках 0, $L+1$, $N+1$) искусственно вводится в рассмотрение ряд фиктивных элементов, в которых параметры задаются в зависимости от граничных условий.

При моделировании горения порохового заряда при условии постоянной пористости по длине заряда были получены зависимости давления от координаты боеприпаса при его движении по каналу ствола (рис. 3). На графике приводятся кривая изменения давления у дна боеприпаса, кривая изменения давления у дна каморы, кривая зависимости максимального для всего заснарядного пространства давления от координаты боеприпаса. Зависимость $p_c(x)$ описывает колебательный процесс. Это явление связано с тем, что при движении боепри-

паса, за ним образуется область разряжения с невысокими значениями давления, которая затем заполняется пороховыми газами, что приводит к резкому повышению давления. Процесс повторяется многократно, т.е. происходят постоянные резкие колебания величины давления, что отражают представленные на графике результаты расчета.

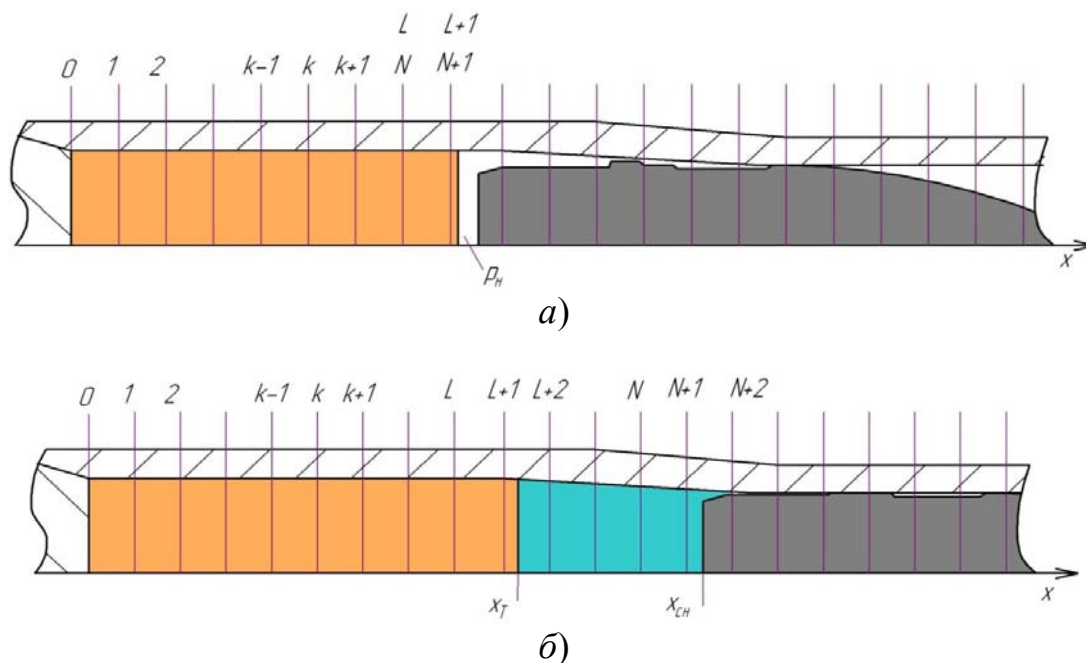


Рис. 2. Пространственная сетка:

а) в нулевой момент времени, б) после начала движения боеприпаса

В процессе горения пороховые элементы постоянно перемещаются в осевом направлении, что приводит к их неравномерному распределению по длине заряда, образуются области с высокой и низкой пористостью, поэтому может наблюдаться значительная разница в давлениях в различных сечениях заряда. Кроме того, вдоль заряда распространяются волны давления (рис.4). Это явление вызывает локальное увеличение скорости горения пороха в областях высокого давления, в том числе это явление может наблюдаться и в районе дна боеприпаса, в момент прихода «гребня» волны давления.

Применение газодинамического подхода позволяет учесть множество факторов, не рассматриваемых при термодинамическом подходе: распространение волн давления, перемещение пороха в камере, изменение давления пороховых газов по длине камеры, т.е. описать реальный процесс горения порохового заряда. Полученные данные могут быть использованы для расчета напряженно-деформированного состояния боеприпаса при выстреле.

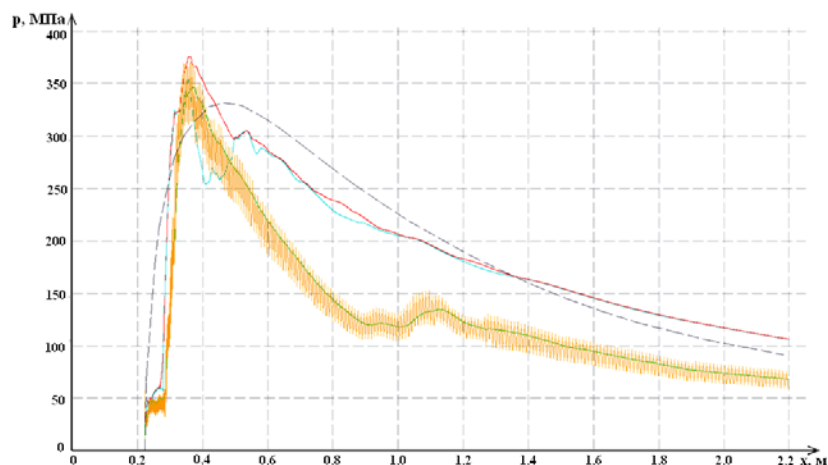


Рис. 3. Кривые изменения давления пороховых газов при выстреле:

x – координата боеприпаса, отсчитывается от дна камеры; — $p_k(x)$ – кривая изменения давления пороховых газов у дна камеры орудия; — $p_c(x)$ – кривая изменения давления пороховых газов у дна движущегося боеприпаса; — $p_{\text{син}}(x)$ – кривая, полученная интерполяцией зависимости $p_c(x)$; — $p_{\text{max}}(x)$ – кривая зависимости максимального для всего заснарядного пространства давления от координаты боеприпаса; — — -экспериментальный график

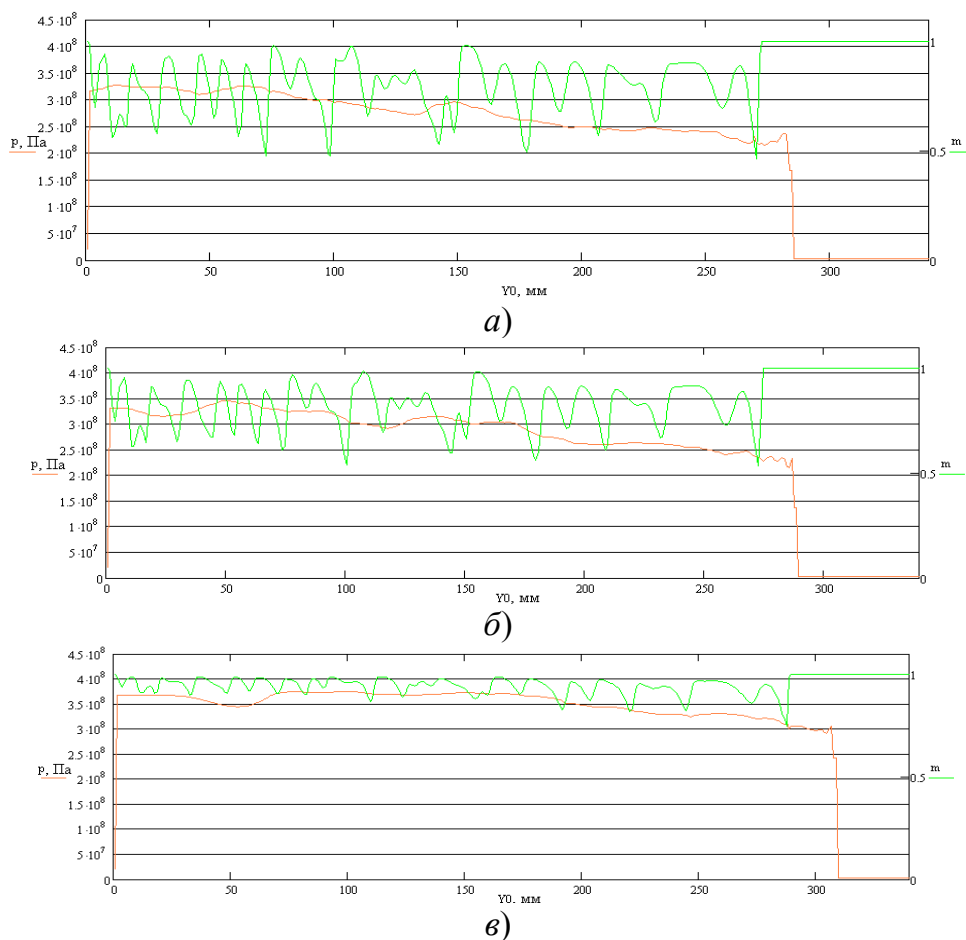


Рис. 4. Распространение волн давления:

а) $T = 0.0014170$ с, б) $T = 0.0014403$ с, в) $T = 0.0015544$ с; T – время, Y_0 – осевая координата, m – пористость, p – давление пороховых газов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.
2. Баллистика ствольных систем/ РАРАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М. Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
3. «Математические модели проектирования боеприпасов на основе уравнений механики гетерогенных реагирующих сред», Русяк И.Г., «Вопросы оборонной техники», серия 14, выпуск 2, Москва, 2011, стр. 3-11.

© С. Ф. Дубинина, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин, 2018

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм

Вероника Юрьевна Ширяева

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент, тел. (343)525-65-00, e-mail ver.schi2011@yandex.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Исак Иосифович Вендер

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, кандидат технических наук, доцент кафедры специального машиностроения, тел. (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

В статье рассматривается создание нового типа подкалиберного бронебойно-зажигательного боеприпаса для пушки калибра 57 мм. Производится сравнение характеристик предлагаемого боеприпаса с характеристиками штатного бронебойного боеприпаса калибра 57 мм. Рассматриваются преимущества предлагаемого боеприпаса.

Ключевые слова: бронебойный снаряд; подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд; твердосплавный сердечник; математическое моделирование.

DEVELOPMENT OF THE ARMOUR-PIERCING INCENDIARY AMMUNITION CONSTRUCTION TO THE CALIBER ARTILLERIC SYSTEM 57 mm

Veronika Yu. Shiryayeva

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Student, phone: (922)220-20-46, e-mail ver.schi2011@yandex.ru

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special Engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Isak I. Vender

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Special Engineering, phone: (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

The creation of a new type of sub-caliber armor-piercing incendiary ammunition for a 57 mm cannon is discussed in this article. The characteristics of the proposed ammunition are compared with the characteristics of the standard armor-piercing ammunition of 57 mm. The advantages of the proposed ammunition are considered.

Key words: armour-piercing ammunition, armour-piercing incendiary sub-caliber ammunition, hard-alloy core, math modeling.

Анализ развития современной броневой техники предполагает необходимость увеличения огневой мощи существующих и разрабатываемых образцов, например, на БМП предполагается установить более мощное вооружение – артиллерийскую систему калибра 57 мм вместо стоящей на БМП предыдущего поколения 30-мм артиллерийской системы. Предполагаемая артиллерийская система должна иметь увеличенную дальность прямого выстрела и повышенное могущество входящих в комплект боеприпасов. Следовательно, требуется спроектировать боеприпас, способный поражать бронированные цели, имеющие эквивалентную броневую защита толщиной порядка 100 мм.

Сегодня на вооружении находится бронбойный боеприпас марки БР-281 (рис. 1, а).

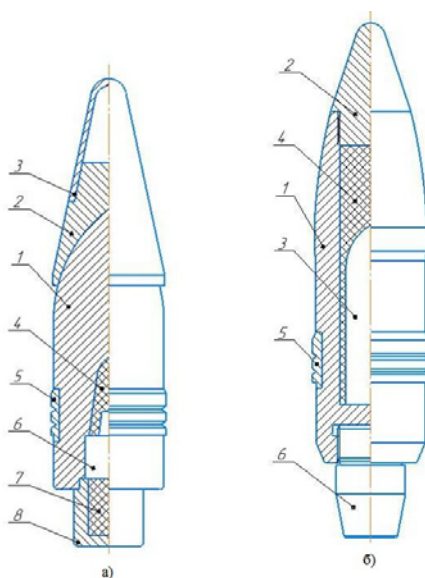


Рис. 1. Конструкции рассматриваемых боеприпасов:

- а) Бронбойно-трассирующий снаряд 57 мм БР-281 (1-корпус, 2-бронбойный наконечник, 3-баллистический наконечник, 4-заряд ВВ, 5-ведущий пояс, 6-взрыватель, 7-пиротехнический состав трассера, 8-корпус трассера); б) бронбойно-зажигательный снаряд 57 мм (1-корпус, 2-демпфер, 3-твердосплавный сердечник, 4-фторопласт, 5-ведущий пояс, 6-трассер)

По данным таблицы стрельб [1] такой снаряд при начальной скорости 1000 м/с и угле подхода к преграде 90° пробивает следующие толщины брони (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость толщины пробития брони от дальности

№ п.п.	Дальность, м	Пробитие, мм
1	500	110
2	1000	100
3	1500	85
4	2000	70

Недостатком такого боеприпаса является то, что с увеличением дальности стрельбы уменьшается скорость, и как следствие уменьшается глубина пробития.

В качестве альтернативы предлагается спроектированный на основе патента №2582322 от 18.11.2014 г. [2] подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд. Предлагаемый боеприпас (рис. 1б) включает в себя следующие элементы: 1- корпус из легированной стали 60ХНМ, 2 - демпфер из сплава ВНЖ, 3 - твердосплавный сердечник из сплава группы ВК, 4 - фторопласт.

Одним из преимуществ такого снаряда является его зажигательное действие, которое у штатного снаряда отсутствует. Зажигательное действие достигается путём применения nano смеси фторопласта с алюминием и титаном. Предлагаемая конструкция позволяет в процессе пробития брони занести за нее зажигательный состав и тем самым создать необходимый зажигательный эффект.

Основной задачей проведенных исследований является сравнение представленных конструкций. На первом этапе сравнения характеристик существующего и спроектированного боеприпасов проведен расчет параметров внешней баллистики обоим боеприпасов. Для расчета необходимо определить коэффициент аэродинамической формы (i) данного боеприпаса.

По закону сопротивления Ф. Сиаичи [3]:

$$i = c_1 \left(\frac{H}{d} \right)^5 + c_2 \left(\frac{H}{d} \right)^4 + c_3 \left(\frac{H}{d} \right)^3 + c_4 \left(\frac{H}{d} \right)^2 + c_5 \left(\frac{H}{d} \right) + c_6,$$

где $c_1 = 0,0049231$, $c_2 = -0,043823$, $c_3 = 0,097576$, $c_4 = 0,16973$, $c_5 = -1,0858$, $c_6 = 1,9086$, H – высота головной части снаряда, d – калибр снаряда, имеем коэффициент формы предлагаемого снаряда $i = 1,25$.

Расчет внешней баллистики (траекторных параметров) проводился в программном комплексе в «СПО РЛС ЛУЧ-83М ЛУЧ-88М» (СКБ измерительной аппаратуры ФКП НТИИМ). Начальные параметры расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Начальные параметры расчета внешнетраекторных параметров

	Штатный, 57-мм	Предлагаемый, 57-мм
Масса, кг	2,8	3,789
Длина, м	0,24	0,258
Длина головной части, м	0,105	0,101
Положение центра масс, м	0,07327	0,093522
Коэффициент формы	1,23	1,25

Анализ результатов расчетов внешней баллистики показал, что предлагаемый снаряд на дальности 1 км при начальной скорости 960 м/с, имеет большую скорость, чем штатный бронебойный. Это связано с тем, что при одинаковой начальной скорости подкалиберный снаряд имеет большую начальную кинетическую энергию (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

Изменение скорости от дальности полета

Время полёта, с	Штатный		Предлагаемый	
	Дальность, м	Скорость, м/с	Дальность, м	Скорость, м/с
0,1	95,15	943,17	95,36	947,26
0,2	188,65	926,82	189,46	934,80
0,3	280,53	910,93	282,33	922,61
0,4	370,85	895,48	373,99	910,68
0,5	459,64	880,44	464,47	898,99
0,6	546,95	865,82	553,80	887,54
0,7	632,82	851,59	641,99	876,33
0,8	717,28	837,73	729,07	865,36
0,9	800,37	824,23	815,07	854,60
1,0	882,14	811,08	900,00	844,06
1,1	962,60	798,26	983,88	833,73
1,2	1041,79	785,76	1066,74	823,60

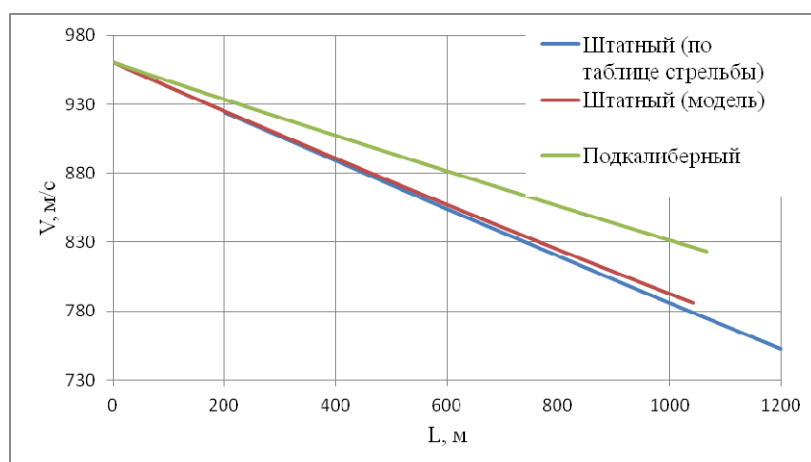


Рис. 2. График зависимости скорости снарядов от дальности полета

Большая масса и скорость предлагаемого снаряда говорят о том, что кинетическая энергия при подходе к броне больше, чем энергия штатного. Следовательно и величина внедрения в преграду должна быть больше.

Вторым этапом оценки действия бронебойно-зажигательного боеприпаса является моделирование процесса проникания снаряда в броню в программном комплексе ANSYS AUTODYN, предназначенном для расчёта задач механики сплошных сред на лагранжевых сетках (рис. 3).

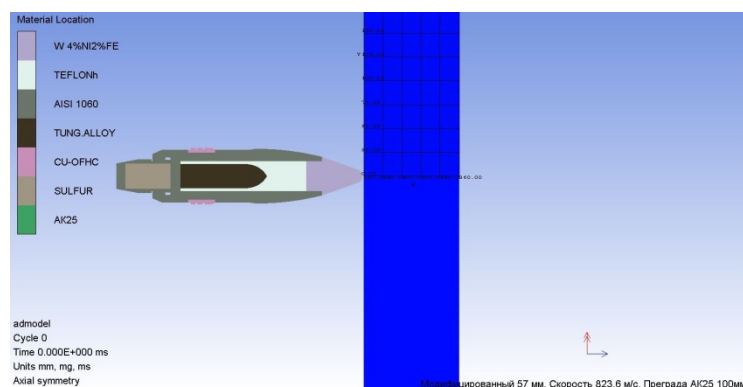


Рис. 3. Постановка задачи

Модель брони задавалась полубесконечной преградой из стали марки АК-25 толщиной 100 мм. УРС, модели прочности и условия разрушения основных элементов конструкций боеприпасов представлены в табл. 4.

Таблица 4

УРС, модели прочности и условия разрушения основных элементов

Элемент (Ш –штатный, П – предлагаемый)	Уравнение состояния	Модель прочности	Условие разрушения
Преграда	Shock	Johnson-Cook	Plastic Strain
Демпфер (П)	Shock	Steinberg Guinan	-
Сердечник (П)	Rigid (абсолютно жёсткий)		
Корпус (П)	Shock	Johnson-Cook	Johnson-Cook
Корпус (Ш)	Rigid (абсолютно жёсткий)		
Бронебойный након. (Ш)	Linear	Johnson-Cook	Johnson-Cook
Баллистический након. (Ш)	Linear	Johnson-Cook	Johnson-Cook

Применяемые в создании модели уравнения имеют следующий вид:

Уравнения состояния: Shock

$$p = p_H + \Gamma \rho (e - e_H),$$

$$U = c_0 + s u_p,$$

$$p_H = \frac{\rho_0 c_0^2 \mu (1 + \mu)}{[1 - (s - 1)\mu]^2},$$

$$e_H = \frac{1}{2} \frac{p_H}{\rho_0} \left(\frac{\mu}{1 + \mu} \right),$$

где Γ – коэффициент Грюнайзена, p_H и e_H – давление Гюгоньо и внутренняя энергия соответственно, ρ – плотность, U – скорость удара, u_p – скорость частиц, c_0 – скорость звука, μ – коэффициент Пуассона.

Linear

$$p = K\mu$$

где K – модуль объемной упругости, μ – степень сжатия среды.

Модели прочности: Johnson-Cook

$$Y = \left[A + B \varepsilon_p^n \right] \left[1 + C \ln \varepsilon_p^* \right] \left[1 - T_H^m \right]$$

где Y – динамический предел текучести, ε_p – эффективная пластическая деформация, ε_p^* – нормализованная эффективная скорость пластической деформации, T_H – гомологическая температура; A , B , C , m и n – постоянные материала.

Steinberg Guinan

$$Y = Y_0 \left\{ 1 + \left(\frac{Y_p'}{Y_0} \right) \frac{p}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G_r'}{G_0} \right) (t - 300)(1 + \beta \varepsilon)^n \right\},$$

$$G = G_0 \left\{ 1 + \left(\frac{G_p'}{G_0} \right) \frac{p}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G_r'}{G_0} \right) (T - 300) \right\},$$

где Y и G – предел текучести и модуль сдвига, ε – эффективная пластическая деформация, T – температура, η – сжатие.

Условия разрушения: Johnson-Cook

$$\varepsilon^f = \left[D_1 + D_2 e^{D_3 \sigma^*} \right] \left[1 + D_4 \ln |\dot{\varepsilon}^*| \right] \left[1 + D_5 T^* \right]$$

где $D_1 \dots D_5$ – параметры материала, ε^f – критическая интенсивность пластических деформаций, σ^* – отношение давления к эффективному

напряжению, $\dot{\epsilon}^*$ – скорость эффективной пластической деформации, T^* – гомологическая температура.

Скорость подхода снарядов к преграде на дальности 1 км: штатный – 786 м/с, предлагаемый – 823,6 м/с. Конечный шаг расчетов представлен ниже (рис. 4, рис. 5).

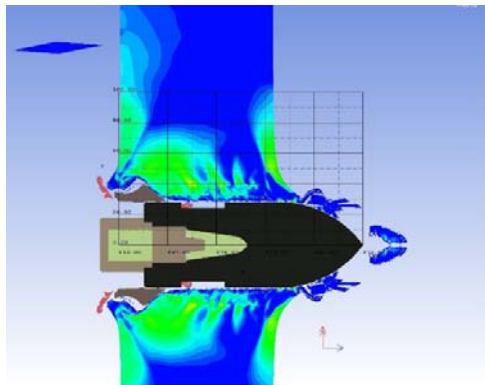


Рис. 4. Внедрение в броню штатного бронебойного снаряда со скоростью 786 м/с на дальности 1 000 м

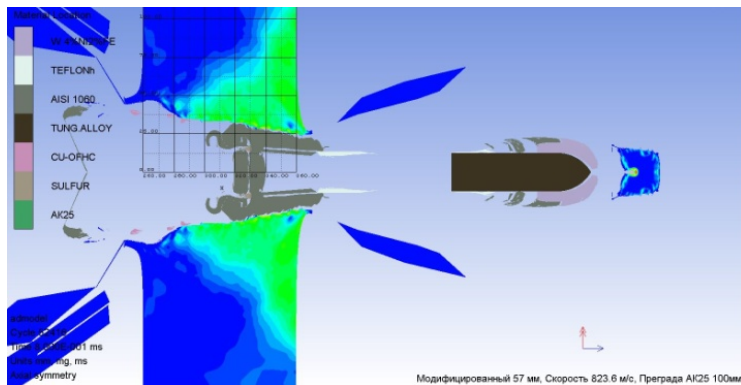


Рис. 5. Внедрение в броню бронебойно-зажигательного снаряда со скоростью 823,6 м/с на дальности 1 000 м

Адекватность выбранной модели подтверждает то, что штатный боеприпас пробивает при соответствующей скорости подхода плиту толщиной 100 мм, как указано в таблицах стрельбы. Анализ картины пробития предлагаемым подкалиберным боеприпасом показывает:

Подкалиберный боеприпас имеет увеличенную толщину пробивания брони по сравнению со штатным;

Конструкция предлагаемого снаряда позволяет занести зажигательный состав за броневую преграду.

Выводы

Предложен подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд к артиллерийской системе калибра 57 мм.

Проведенное сравнение внешней и конечной баллистики двух боеприпасов позволяет сделать вывод о преимуществе предлагаемого снаряда как в бронебойном, так и в зажигательном действии.

В предлагаемой конструкции исключен взрыватель и взрывчатое вещество, что делает подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд взрывопожаробезопасным, что является одним из важных критериев при проектировании современных боеприпасов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таблицы стрельбы 57-мм автоматической зенитной пушки С-60 по наземным целям [Текст]: Осколочно-трассирующая граната бронебойно-трассирующий снаряд. ТС/ГРАУ № 225 / М-во обороны СССР. - 3-е изд. - Москва : Воениздат, 1970. - 45 с.; 20 см.
2. Бронебойный подкалиберный снаряд // Патент России №2014146315.2014/Хмельников Е.А., Стыров А.В. Смагин К.В. [и др.]
3. Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 3. – 84 с.
4. А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В.В. Селиванова. – Средства поражения и боеприпасы: Учебник. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
5. LICENSE-ANSYS_hydryd_10-31-2012-4.39.12.

© В. Ю. Ширяева, Е. А. Хмельников,
И. И. Вендер, К. В. Смагин, 2018

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДИФфуЗИОННОГО ГОРЕНИЯ В РАСЧЕТАХ КОНЕЧНОЙ БАЛЛИСТИКИ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕАКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Семен Сергеевич Ильин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент, тел. (908)906-74-19, e-mail: semen.ilin.97@mail.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Исак Иосифович Вендер

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, кандидат технических наук, доцент кафедры специального машиностроения, тел. (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Татьяна Евгеньевна Заводова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, аспирант, зав. лабораторией кафедры специального машиностроения, тел. (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

В связи с постоянной модернизацией производства средств поражения и боеприпасов, в настоящее время возникла необходимость в поиске новых видов снаряжения. В этой статье авторы рассматривают возможность использования фторопласта в качестве реакционного материала способного заменить взрывчатые вещества в боеприпасах, применяемых для поражения легкобронированных и легкоуязвимых целей. В статье отражены результаты экспериментов и математического моделирования процесса проникания фторопластового ударника в преграды из легких сплавов. Для учета дополнительной энергии выделяющейся в результате взаимодействия во время моделирования, был использован метод противоточного диффузионного пламени.

Ключевые слова: противоточное диффузионное пламя; математическое моделирование.

APPLICATION OF DIFFUSION COMBUSTION MODEL IN THE TERMINAL BALLISTICS CALCULATION OF STRIKER ELEMENTS CONTAINING REACTION MATERIALS

Semen S. Ilin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, student of Department of Special engineering, phone: (908)906-74-19, e-mail: semen.ilin.97@mail.ru

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special Engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Isak I. Vender

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Special Engineering, phone: (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Tatiana E. Zavodova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D. Student, Head of Laboratory of Department of Special Engineering, phone: (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

In connection with the continuous modernization of the production of weapons and ammunition, now there is a need to find new types of equipment. In this article, the authors consider the possibility of using fluoroplastic as a reactive material capable of replacing explosives in ammunition used to defeat lightly armored and easily vulnerable targets. The article reflects the results of experiments and mathematical modeling of the penetration process of fluoroplastic ammunition into targets from light alloys. To account for the additional energy released as a result of the interaction during the simulation, the counterflow diffusion flame method was used.

Key words: counterflow diffusion flame, mathematical simulation.

Основная масса целей, против которых, преимущественно, используются малокалиберные боеприпасы, расположена на переднем крае (рис. 1).



Рис. 1. Легкобронированная и легкоуязвимая техника

Анализ современного боя показывает, что наибольшую эффективность малокалиберная ствольная артиллерия достигает в борьбе с легкоуязвимой и легкобронированной техникой. Для легкобронированной техники (ЛБТ), наблюдается тенденция перехода к броне из легких сплавов (на основе алюминия и титана) и комбинированной броне. Типовые бронетранспортеры (БТР) и боевые машины пехоты (БМП), предположительно, будут иметь броневую защиту на основе алюминиевых сплавов толщиной до 50 мм и более. Аэротранспортабельная и плавающая техника выполнена, как правило, также из легких сплавов.

Поражение легкобронированной техники происходит за счет следующих физических факторов: механического действия (экипаж, приборы, силовая установка, топливные баки); зажигательного действия (силовая установка, масло-системы, топливопроводы и топливные баки) и инициирующего действия (детонация боекомплекта).

Применяемая, для поражения ЛБТ и легкоуязвимой техники (ЛУТ) боеприпасы (БП) и поражающие элементы (ПЭ) можно разделить на две группы (рис. 2). Это пассивные (без энергоносителя) и активные (с энергоносителем). Цели поражаются пассивными БП за счет реализации диссипации кинетической энергии, а активными – в основном за счет энергии детонации взрывчатых веществ.

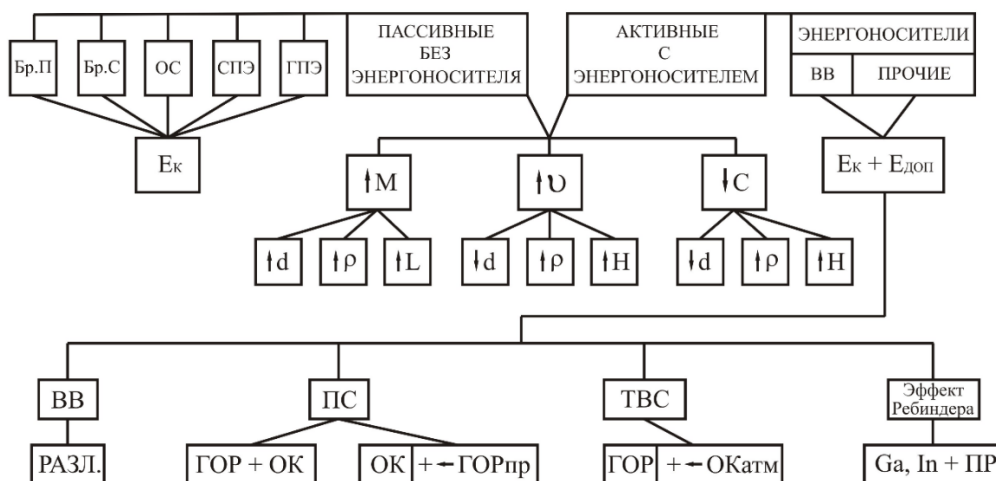


Рис. 2. Типы боеприпасов и способы поражения целей с их применением

К пассивным БП отнесем бронебойные пули (Бр.П), бронебойные снаряды малого калибра (Бр.С), осколки снарядов (ОС), стреловидные поражающие элементы (СПЭ) готовые поражающие элементы (ГПЭ).

Увеличение эффективности действия ПЭ можно достичь путем увеличения их кинетической энергии, т.е. повысив массу и скорость. Массу можно увеличить, применив более крупный калибр, однако это не всегда приемлемо, т. к.

увеличивается масса артиллерийской системы, она становится более громоздкой и менее маневренной.

Увеличить массу, не меняя калибра, можно путем применения материалов с более высокой плотностью. С этой целью для производства сердечников и корпуса, кроме стали, используют сплавы карбида вольфрама, а также обедненный уран. Однако, наряду с высокой бронепробиваемостью и высоким зажигательным эффектом, после пробития преграды сердечники из обедненного урана обладают серьезными недостатками:

– трещинообразование при хранении, отсутствие защитных покрытий, способных обеспечить срок хранения свыше 20 лет и предохранять изделия от повреждений;

– радиоактивность урансодержащих материалов;

– необходимость осторожного обращения.

Сердечники из вольфрама не уступают по пробиваемости сердечникам из обедненного урана. Они не имеют названных недостатков, однако они дорогостоящие и не обладают достаточной сырьевой базой.

Кроме пассивных боеприпасов существуют боеприпасы, поражающие цели не только за счет реализации диссипации кинетической энергии, но и дополнительной энергии. Активные боеприпасы содержат энергоноситель: детонирующие ВВ, либо вещества, способные при взаимодействии с другими материалами вступать в химические реакции с выделением дополнительной энергии.

Активные боеприпасы весьма эффективны для поражения ЛБТ и ЛУТ. Однако, снаряженные ВВ боеприпасы сложны в изготовлении, небезопасны в обращении. В случае малокалиберного снаряда для реализации ВВ также необходимы средства инициирования.

Таким образом, возникает необходимость в замене энергоносителя на менее опасное в обращении вещество.

С середины 80 годов 20 века в Уральском федеральном университете ведутся исследования по применению реакционных материалов в качестве снаряжения малокалиберных боеприпасов и готовых ПЭ [1].

С конца 1990-х годов ведутся масштабные программы по созданию новых типов энергетических материалов (ЭМ) в США, ряде стран Европы и Китае. Они в основном направлены на отработку новых принципов усиления различных видов поражающего действия за счет включения таких ЭМ в конструкцию БП.

РМ (RM, Reactive Materials) - это композиция двух или более твердых веществ, не являющихся взрывчатыми в обычных условиях, но в которой высокоскоростной удар и интенсивная деформация при попадании в цель инициирует экзотермическую химическую реакцию между компонентами, дополнительное энерговыделение за преградой (внутри цели), что приводит к существенному усилению поражающего воздействия. Таким образом, по существу, это класс пиротехнических систем, рассчитанных на специфические условия применения. В отличие от традиционного подхода с использованием установившегося

режима реакции (например, в форме детонации или послойного горения), концепция РМ принципиально подразумевает связь скорости реакции с условиями удара; при этом эффект действия РМ может меняться в широком диапазоне.

Данный тип материалов наиболее интересен с точки зрения использования в качестве снаряжения для малокалиберных боеприпасов. Однако, при применении РМ, возникают определенные трудности при проектировании и отработке новых типов БП, поскольку изучение и моделирование физико-химических процессов, сопровождающих срабатывание РМ находятся на начальной стадии разработки. Но очевидные преимущества применения РМ – значительное усиление поражающей способности БП, отчетливость факта поражения цели, упрощение конструкции БП и/или повышение их эксплуатационной безопасности – заметно перевешивают указанные выше недостатки. В силу особенностей данного типа РМ (умеренная прочность и плотность, высокая калорийность) они оказались наиболее эффективны при действии по слабозащищенным целям. В процессе удара такие ПЭ деформируются и разрушаются, что вместе со взрывоподобной реакцией приводит к увеличению пробоин и многофакторному (термобарическому и фугасно-зажигательному) действию в запреградном пространстве (рис. 3). Высокая температура и образующиеся мелкодисперсные конденсированные продукты нарушают работу электронных устройств приборных отсеков цели [2].

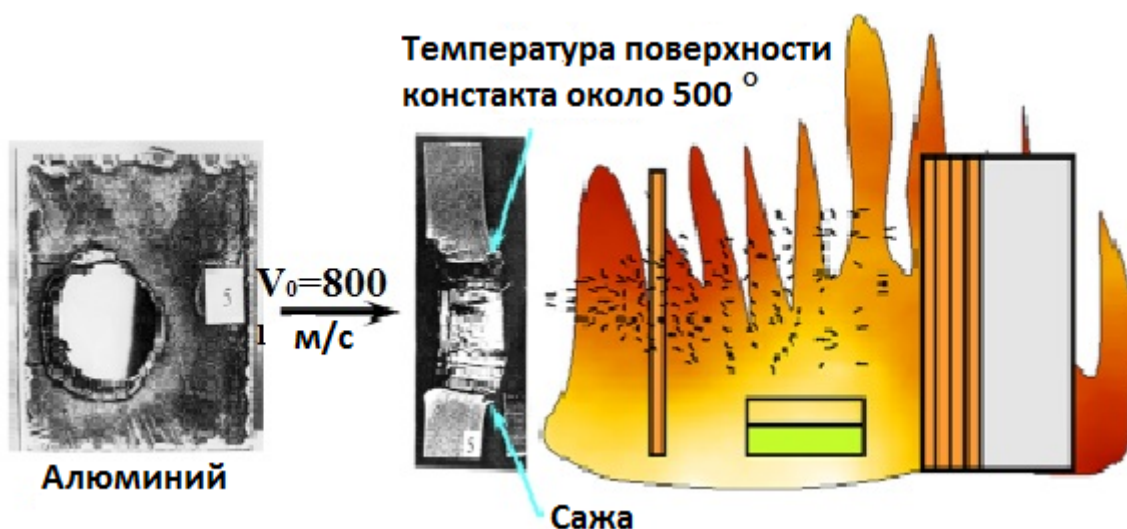


Рис. 3. Модель поражения цели РМ

Для изучения процессов, проходящих при взаимодействии боеприпасов малого калибра, снаряженных РМ с преградами из легких сплавов, авторами был проведен ряд экспериментов и численное моделирование процесса проникновения (рис. 4). При проведении исследований авторами была обнаружена химическая экзотермическая реакция, происходящая при ударе фторопластового ударника об алюминий содержащую преграду на скоростях встречи более 600 м/с. Для изучения данного феномена и его дальнейшего применения в конст-

руировании новых типов боеприпасов авторами было проведено всестороннее исследование данного процесса.

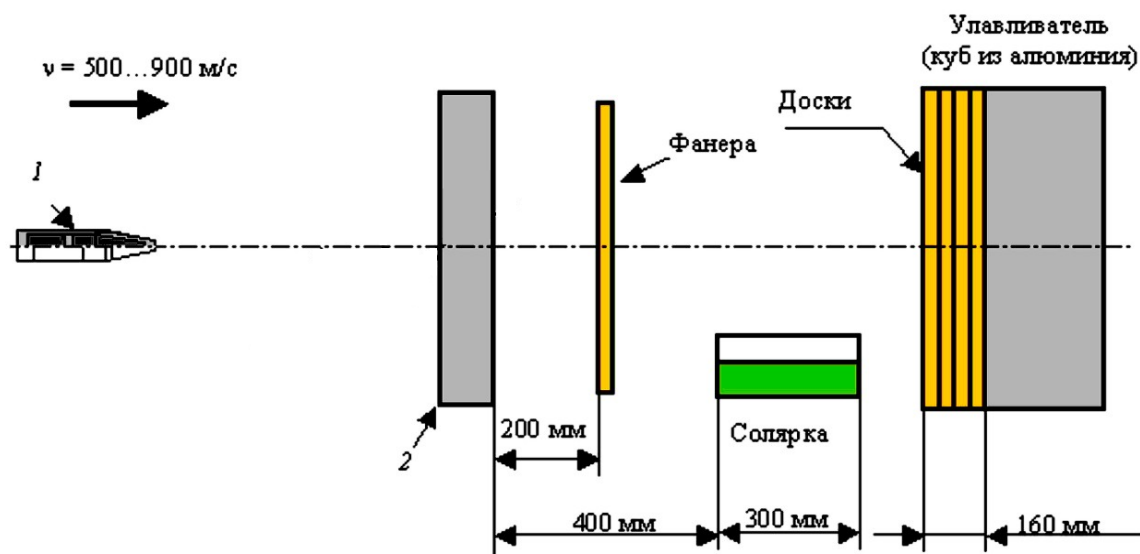


Рис. 4. Схема постановки эксперимента

Целью исследования является подбор физико-математической модели, адекватно отражающей условия динамического взаимодействия фторопластового ударника с преградами из алюминиевых сплавов.

Взрывоподобный процесс, возникающий при деформировании головной части ударника на преграды, вызывает механическую термоокислительную деструкцию материала ударника с реализацией энергии по поверхности контакта с головной частью ударника.

Решение проблемы расчета кинематических и динамических характеристик проникания ударника из РМ в упругопластической постановке было выполнено с использованием ряда методов, реализованных в следующих программных продуктах: «Конечная баллистика», «ТИМ-2D», «ANSYS Autodyn».

Для сравнения результатов, полученных вышеперечисленными методами, численное моделирование проводилось с входными параметрами, соответствующими параметрам эксперимента. Расчеты были проведены без учета влияния дополнительной энергии, реализуемой химической экзотермической реакцией. В процессе расчета были выбраны модели, описывающие упругопластическое деформирование ударника (Мизес) и преграды (модели Джонсона – Кука, Глушака, Мизеса), и различные уравнения состояния материала ударника и преграды (УРС Забабахина и «баротропная зависимость») для адекватного описания упругопластических процессов. Для расчетов в программах ТИМ-2D и Конечная баллистика использовался метод крупных частиц [3]. Для расчета в программе ANSYS Autodyn использовался метод сглаженных частиц.

В таблице показаны результаты расчетов и экспериментальные результаты для объема каверны. Графики зависимости объема каверны от скорости взаи-

модействия ударника из РМ и преграды на основе алюминиевого сплава АМц показаны на рис. 5.

Параметры объема каверны от взаимодействия фторопластового ударника с алюминиевой преградой ($\varnothing 13\text{mm}$, $m=8.6\text{гр}$)

Начальная скорость	Модель Мизеса, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Глушака, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Дж-Кука, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Мизеса, МКЧ, баротропная зависимость	Модель Дж-Кука, МСЧ, УРС Мизеса, скорость эрозии -1	Модель Дж-Кука, МСЧ, УРС Мизеса, скорость эрозии -3	Экспериментальные результаты
м/с	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³
507	0,065	0,077	0,015	0,073	0,756	0,269	1,200
685	0,537	0,682	0,064	0,693	1,859	1,182	1,450
930	3,270	3,147	0,620	2,607	2,723	4,259	4,000
1108	6,055	5,827	2,276	4,049	3,934	8,766	6,500
1406	13,010	11,742	6,369	7,050	6,904	17,309	11,500

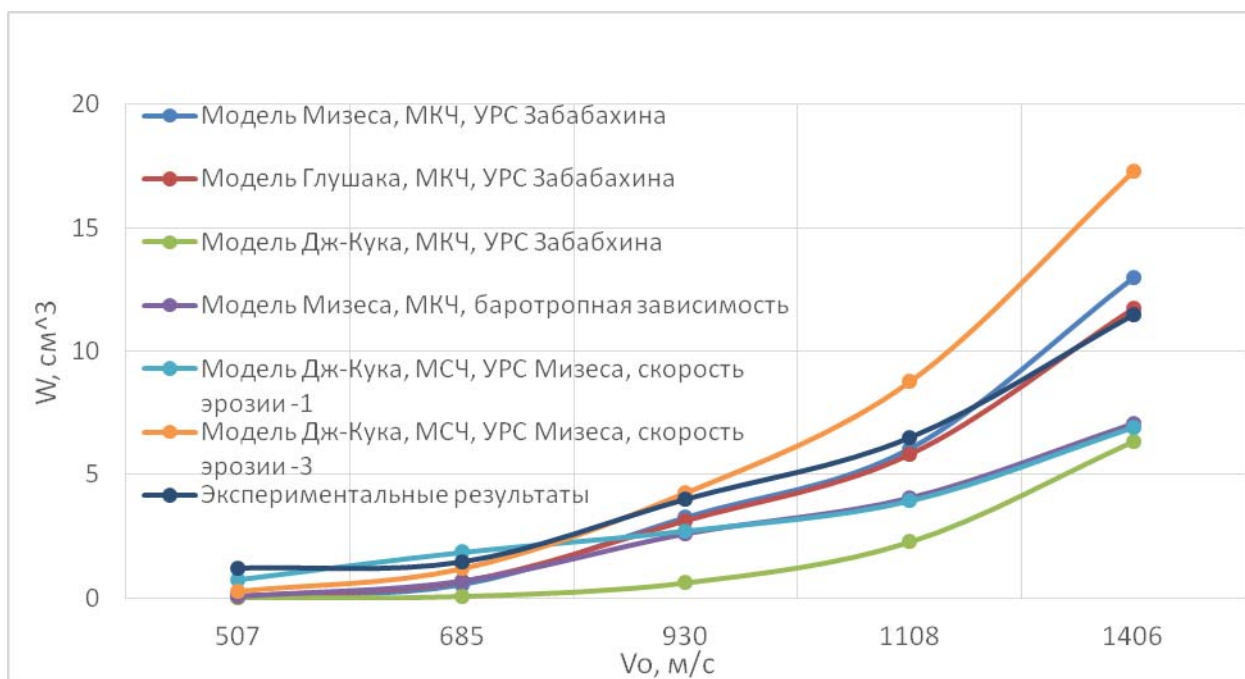


Рис. 5. Зависимость объема каверны от начальной скорости соударения фторопластового ударника в преграду на основе алюминия

Анализ графика (рис.5) показывает, что модели Мизеса и Глушака дают явно завышенные результаты по объему каверны и не учитывает влияние химической реакции при расчете с УРС Забабахина для алюминия. С точки зрения авторов, процесс упругопластического взаимодействия ударника из РМ и

преграды более точно описывается моделью Джонсона-Кука с УРС в форме баротропной зависимости.

При проведении экспериментов было отмечено, что на поверхности преграды появляется слой сажи (рис. 6). При проведении экспериментов в закрытой камере химический анализ воздуха после выстрела подтвердил наличие фторидов алюминия и титана, что доказало существование интенсивной окислительной реакции материала преграды при взаимодействии с ударником.



Рис. 6. Плита из алюминиевого сплава АМЦ после пробития фторопластовым ударником

Для учета дополнительной энергии, выделяющейся во время химической экзотермической реакции, протекающей между РМ и легкосплавной преградой, можно использовать следующее уравнение:

$$E_x = A_{y\partial} (W_{\text{оп}} - W_{\text{рас}}) \quad (1)$$

где $W_{\text{оп}}$ и $W_{\text{рас}}$ – опытный и расчетный объемы каверны.

Рассматривая процесс проникания любого срабатывающегося (теряющего массу в процессе проникания или деформирующегося) ударника в преграду можно отметить, что слои материала преграды и деформирующегося бойка движутся параллельно (рис. 7). При этом происходит и химическое окисление алюминий и титаносодержащей преграды при взаимодействии с фторопластом. Процессы параллельного окисления были рассмотрены на различные рода газовых смесях и сформированы в методе Counterflow Diffusion Flame (CDF), впервые предложенном Цудзи и Ямаока [4].

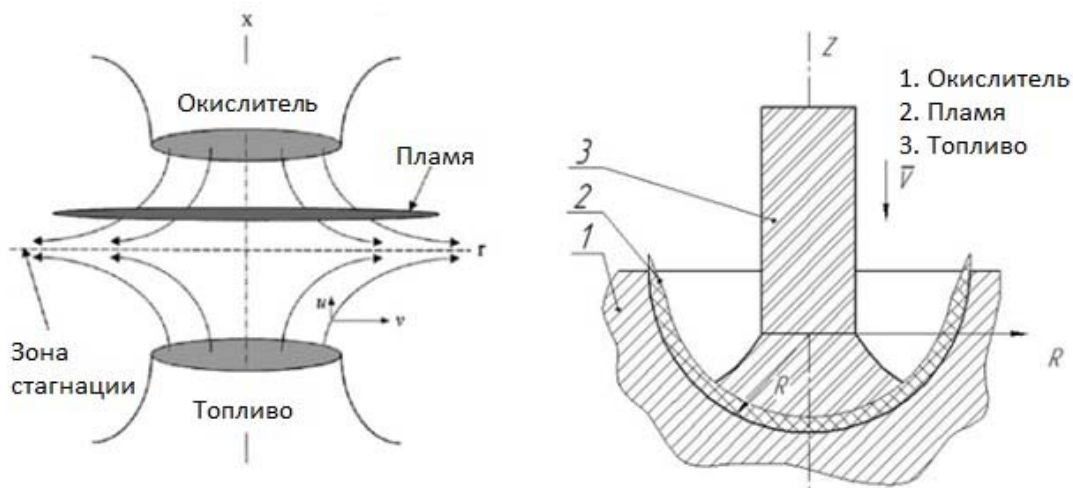


Рис. 7. Схема проникания ударника в преграду

Ламинарная противоточная диффузия пламени, как правило, рассматривается как чистое диффузионное пламя. Наиболее соответствующим процессам, протекающим при взаимодействии фторопластового ударника с преградой, является противоточное диффузионное пламя в передней критической области цилиндрической пористой горелки.

Ламинарное противоточное диффузионное пламя устанавливается в передней критической области проникающего фторопластового снаряда в алюминийсодержащую преграду. Скорость потока окислителя (фторопласта) можно рассчитать, как радиальный компонент скорости срабатывающейся части снаряда. Образующая боковой поверхности ударника, как показатели экспериментальные результаты, хорошо описывается в цилиндрической системе координат ORZ (рис. 8) уравнением вида:

$$ZR^n = \text{const} \quad (2)$$

где $n > 0$ - показатель степени, зависящий от материала ударника и условий его деформирования. Полагая, что уравнение линий тока для скорости частиц материала ударника в процессе его деформирования также будет описываться уравнением (2). Найдем функциональную связь между осевой g_z и радиальной g_r компонентами скорости данной частицы материала:

$$g_r = -\frac{R}{nZ} g_z \quad (3)$$

Компоненты скорости должны удовлетворять уравнению неразрывности, которое для несжимаемой среды в цилиндрической системе координат имеет вид

$$\frac{\partial g_z}{\partial Z} + \frac{\partial g_R}{\partial R} + \frac{g_R}{R} = 0 \quad (4)$$

Уравнение неразрывности с учетом (3) имеет вид

$$nZ \frac{\partial g_z}{\partial Z} - 2g_z - R \frac{\partial g_z}{\partial R} = 0 \quad (5)$$

На границе раздела жесткой и пластической областей ударника осевая компонента скорости частиц деформированного материала будет равна скорости жесткой части ударника, т.е. при $Z = h$, $g_z = -V$. Из решения уравнения (5) при заданном граничном условии находим выражение для осевой компоненты скорости частиц деформированного материала:

$$g_z = -V \left(\frac{Z}{h} \right)^{2/R} \quad (6)$$

где h - текущая высота деформированной части ударника.

Подставляя (6) в (3), получим:

$$g_R = V \frac{R}{nh} \left(\frac{h}{Z} \right)^{\frac{n-2}{n}} \quad (7)$$

Определяя из решения задачи пластического деформирования фторопластового снаряда при его взаимодействии с преградой величины радиальной и осевой компонент скорости, находим скорость движения окислителя вдоль образующей каверны g_R и величину давления на границе контакта снаряда с преградой.

С учетом того, что скорость потока окислителя (фторопласта), должна быть больше скорости потока топлива (алюминия), решение, представленное Цудзи и Ямаоко для вывода скорости реакции и оценки тепловыделения протекающего химического процесса модели противоточного диффузионного пламени, может быть применено для случая взаимодействия фторопластового бойка с алюминиевой преградой.

Скорость тепловыделения и скорость реакции может быть рассчитана по квази-одномерному уравнению сохранения энергии и уравнению неразрывности, соответственно.

$$Q = A^{-1} \left\{ \rho_0 v_0 \sum_i G_i C_{pi} \frac{dT}{dy} - \frac{d}{dy} \left(A \lambda \frac{dT}{dy} \right) \right\} \quad (8)$$

Чистая скорость реакции Ki , т.е. чистая молярная скорость генерации или потребления видов i в единицу объема за единицу времени химической реакции, рассчитывается по:

$$K_i = \frac{p\nu}{M_i} \frac{dG_i}{dy} \quad (9)$$

В этих уравнениях, A – соотношение поток-трубка-площадь в любой точке, T температура газа, ρ плотность газовой смеси, C_{pi} теплоемкость при i постоянном давлении, λ теплопроводность газовой смеси, и M_i молекулярная масса. Индекс 0 обозначает некоторую точку отсчета G_i .

Масса потока:

$$G_i = \rho Y_i (\nu + \nu_{di}) \quad (10)$$

где ν скорость потока.

Массовая концентрация Y_i задается:

$$Y_i = \frac{X_i M_i}{\sum_i X_i M_i} \quad (11)$$

где X_i молярная доля i частицы.

Скорость диффузии определяется:

$$\nu_{di} = -\frac{D_i}{X_i} \frac{dX_i}{dy} \quad (12)$$

где D_i это двоичный коэффициент диффузии.

Плотность газовой смеси рассчитывается исходя из измеренных температуры и концентрации стабильных уравнений состояния:

$$p = \frac{\rho R^\circ T}{\sum_i X_i M_i} \quad (13)$$

где p давление и R° универсальная газовая постоянная.

Соотношение поток-трубка-площадь A определяется из плотности и измеряемой скорости по общему уравнению неразрывности [10]:

$$\rho \nu A = \rho_0 \nu_0 \quad (14)$$

В предположении, что двоичные коэффициенты диффузии всех пар равны и что массовая концентрация Y_i это функция i консервативного скаляра ζ (или какой-либо функции Шваб-Зельдовича), уравнение состояния для скорости реакции может быть преобразовано в простую форму:

$$w_i = -\rho D (\mathcal{G}_{R\xi})^2 \frac{d^2 Y_i}{d\xi^2} \quad (15)$$

где w_i является чистой скоростью реакции (масса на единицу объема в секунду), g_r – единая скорость потока окислителя и D – молекулярная диффузия.

Отличительной чертой этого уравнения является то, что для получения скорости химической реакции необходимы измерения только состава и температуры. Необходимые параметры температуры мы получаем при решении задачи упруго-пластического деформирования в каждой ячейке.

Важным шагом является создание смешанной ячейки, в которой возникает химическая реакция и продукты химической реакции в форме фторида алюминия. Давление, которое возникает на поверхности контакта, способствует возникновению этой реакции. Расчет позволил оценить полученное давление (рис. 8). Анализ показывает, что максимальное давление намного превышает предельное давление, при котором инициируется химическая реакция (200 МПа).

Для учета влияния химической энергии на процесс проникания в метод крупных частиц введен блок расчета тепловыделения по модели CDF. Напрямую программный комплекс ANSYS Autodyn не может сочетать процессы горения и проникания, т.о., была предпринята попытка представить проникающий боеприпас как многослойную конструкцию, в которой четные слои проникают как твердое тело, а нечетные слои горят. Результат расчета объема каверны с использованием методики CDF, реализованный в двух программных комплексах, (рис. 9), показывают, что результаты, полученные в программном комплексе ANSYS Autodyn, превышают экспериментальные.

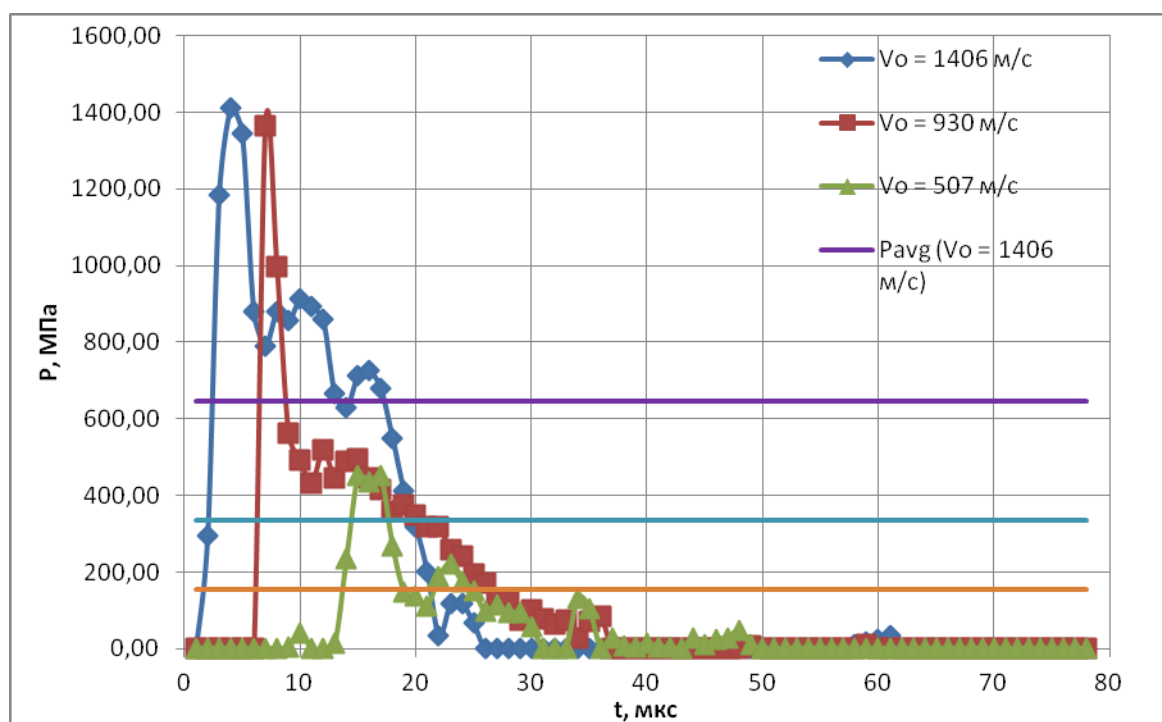


Рис. 8. Давления, возникающие на границе контакта, МПа

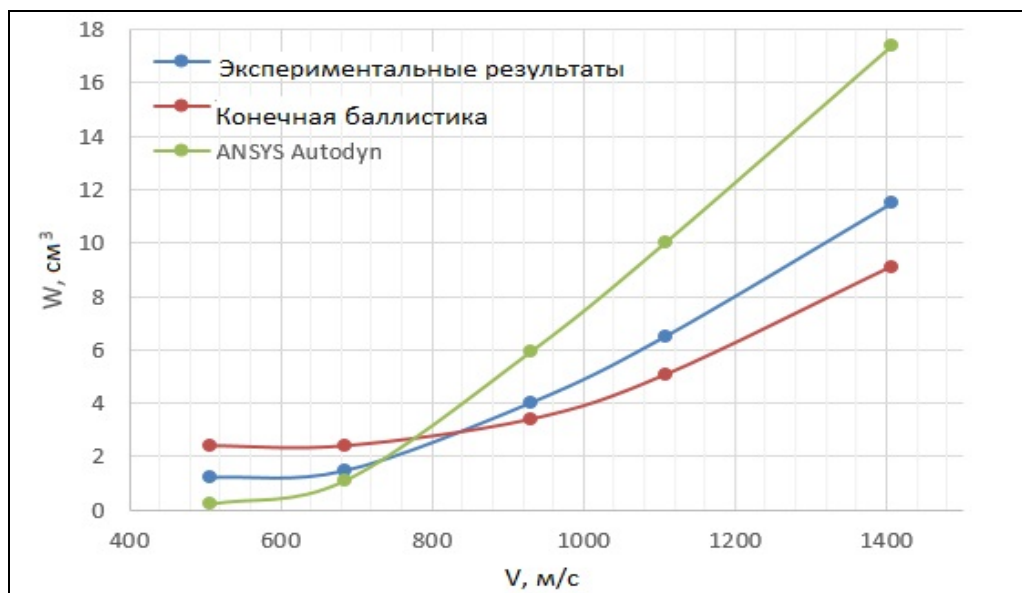


Рис. 9. Зависимость объема каверны от начальной скорости соударения фторопластового ударника с алюминией содержащей преградой с использованием методики CDF

Выводы

1. Предложенный метод позволяет оценить результаты взаимодействия фторопластового ударника с преградой на основе алюминия в широком диапазоне начальных скоростей со значительной степенью точности.
2. Предложенный метод расчета в программе «Конечная баллистика» позволяет рассчитывать кинетическую и химическую энергию проникающего боеприпаса одновременно.
3. Использование реакционных материалов, таких как фторопласт, в качестве энергоносителя делает возможным разработку новых типов малокалиберных боеприпасов (патенты №. 2582322, 2625991).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khmel'nikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Rudenko, V.L. etc.; 27th International Symposium on Ballistics, Vol.2, 2013, 1264.
ISBN: 978-160595106-5
2. Khmel'nikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Kravchenko, N.S etc.; Defence Technology, Vol. 11, Issue 1, 2015, 56.
DOI: 10.1016/j.dt.2014.09.006.
3. Belotserkovsky, O.M.; Davidov, Y.M.; Method of large particles in the gas dynamics. - M.: Nauka. Home edition of Physical and mathematical literature, 1982. – 392.
4. Tsuji, Hiroshi; Counterflow diffusions flames. 1982. Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Komaba, Merguro-Ku, Tokyo 153, Japan.

© С. С. Ильин, Е. А. Хмельников, И. И. Вендер,
Т. Е. Заводова, К. В. Смагин, 2018

АНАЛИЗ БРОНЕВОЙ ЗАЩИТЫ ТАНКОВ

Иван Дмитриевич Шадрин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент, тел. (960)787-21-47, e-mail: ivan.shadrin.91.91@mail.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Исак Иосифович Вендер

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, кандидат технических наук, доцент кафедры специального машиностроения, тел. (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Татьяна Евгеньевна Заводова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, аспирант, зав. лабораторией кафедры специального машиностроения, тел. (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

В работе рассмотрена эволюция броневой защиты танков, от времени их появления и до наших дней. Приведены описание, особенности, недостатки и преимущества всех видов и типов защиты танков от различных противотанковых средств. Рассмотрены современные способы защиты танков. Показаны перспективные разработки в области защиты танков.

Ключевые слова: бронетанковая военная техника, танк, кумулятивный снаряд, броневая защита, бронебойный оперённый подкалиберный снаряд, противотанковая управляемая ракета.

ANALYSIS OF THE TANK ARMoured PROTECTION

Ivan D. Shadrin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Student, phone: (960)787-21-47, e-mail: ivan.shadrin.91.91@mail.ru

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special Engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Isak I. Vender

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Special Engineering, phone: (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Tatiana E. Zavodova

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D. Student, Head of Laboratory of Department of Special Engineering, phone: (922)115-93-08, e-mail: zavodovat.e@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

In this project, the evolution of armor protection of tanks was considered from the time of their appearance to our days. The description, features, disadvantages and advantages are described for all types and kinds of tank protection against various anti-tank weapons. The method of operation of various means against engagement for armored vehicles was described. Modern methods of tank protection was considered. Promising developments was shown for the field of tank protection.

Key words: armored vehicles, tank, cumulative shell, armor protection, armor piercing fin-stabilized discarding sabot, anti-tank guided missile.

Проблема «броня – снаряд» достаточно стара. Появление и бурное развитие бронебойно-подкалиберных снарядов (БПС) и кумулятивных снарядов (КС), дало толчок к качественному развитию броневой защиты. Произошёл переход от монолитной стальной брони к комбинированным броневым структурам, которые включают в себя помимо стальных броневых слоёв ряд других материалов и устройств, обеспечивающих защиту бронетехники в рамках приемлемой массы бронирования.

Бронебойные сердечники снарядов типа APFSDS (Armor Piercing Fin-stabilized Discarding Sabot) в настоящее время, и в обозримой перспективе, будут представлять для лобовой защиты танка наибольшую угрозу. Эти снаряды являются одними из самых передовых, находящихся на вооружении в странах НАТО. В последние годы бронебойно оперённые подкалиберные снаряды (БОПС) в значительной степени вытеснили из боекомплектов танков КС. Из всего спектра средств поражения танков, реальную конкуренцию БОПС могут составить только противотанковые управляемые ракеты (ПТУР) с тандемными кумулятивными боевыми частями (БЧ).

Целью работы являлось исследование истории создания и развития броневой защиты танков. Поиск перспектив её дальнейшего развития.

Развитие бронирования происходило поэтапно: сначала была гомогенная броня, затем в начале 1960-х появляется комбинированная броня, после – появление в середине 1980-х первой серийной динамической защиты, и в 1983 году использование первого комплекса активной защиты. Но, обо всём по порядку.

В годы Первой Мировой войны, активные действия на фронте велись только один год, при этом, ни одна из стран не успела достигнуть каких-либо серьёзных успехов. В 1915 году война перешла в позиционную стадию борьбы. Любая атака стоила огромных человеческих потерь, при этом успеха они не приносили. Для преодоления позиционного тупика и обеспечения прорыва обороны противника требовалось новое средство. Этим средством в последствии стал – танк.

Основой, и начальной ступенью, при проектировании новых броневых преград и/или брони, для бронетехники, является выбор материала для них. Основу броневой стали составляют – высокопрочные стали.

По способу производства сталь подразделяется на катанную и литую.

- Катанная сталь (прокат) – это сталь, которая подвергается обработке на прокатном стане. Из-за этого её внешний слой становится твёрже, а сама она становится прочнее;

- Литая сталь – это сталь, которая отливается в формах для литья. Она менее устойчивая к воздействию снарядов чем катанная.

Катанная броня превосходит литую по противоснарядной стойкости при одинаковой твёрдости, а форма литой башни не даёт каких-либо преимуществ по стойкости по сравнению со сварными башнями из проката. Так к примеру, литая башня Т-34 имела стенки 53 мм, что соответствовало той же катанной башне, но с бронированием в 45 мм. При этом литая основа башни тяжелее по массе по сравнению со сварной, при одинаковой бронестойкости.

Согласно конструкционной классификации, общее бронирование танка делится на равнопрочное (весь корпус бронетехники собирается из плит равной толщины, исключая крышу и днище корпуса) и дифференцированное (неравномерность толщины брони в различных частях бронетехники). Примером использования равнопрочного бронирования можно видеть на основе бронирования танка Т-34, представленного на рис. 1, 2.

По принятой классификации стальная броня бывает двух видов: противопульная и противоснарядная.

- Толщина противопульной брони, как правило, не превышает 30 мм. Она должна защищать от пуль, также от осколков снарядов, гранат и мин.

- Броня толщиной 40 мм и более, является противоснарядной, и в зависимости от своей толщины должна служить защитой от снаряда соответствующего калибра.

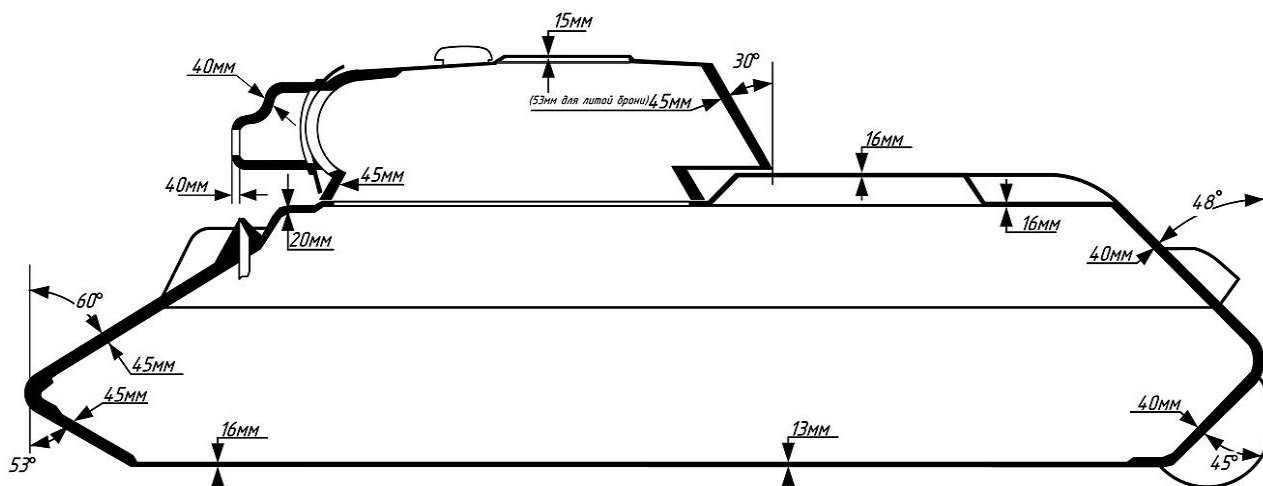


Рис. 1. Схема бронирования танка Т-34 обр. 1940 года (главный вид)

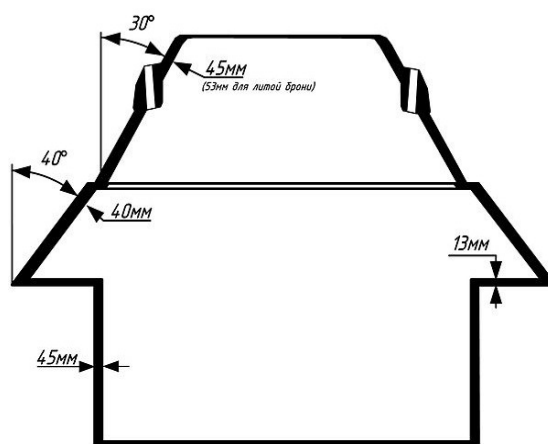


Рис. 2. Схема бронирования танка Т-34 обр. 1940 года (вид слева)

Противоснарядная стойкость в первую очередь связана с такими механическими свойствами, как прочность, упругость, вязкость, твёрдость.

Твёрдость является одним из главных параметров, определяющих сопротивление проникания средства поражения. Установлено, что наряду с высокой твёрдостью броневые стали должны обладать высокими пластичностью и вязкостью. Эти два свойства броневой стали являются основными.

Стальную броню по внутреннему строению и механическим свойствам подразделяют на два типа: гомогенную и гетерогенную. 1. Гомогенная броня – характеризуется относительной однородностью механических свойств и химического состава по толщине плит; 2. Гетерогенная броня – имеет различные механические свойства по толщине листа.

В связи с улучшением конструкции и повышением прочности корпусов и сердечников пуль и бронебойных снарядов гетерогенная стальная броня поте-

ряла своё преимущество по стойкости. Поэтому, основным типом современной танковой брони является стальная гомогенная броня.

Как катанная, так и литая гомогенная броня бывают высокой, средней и низкой твёрдости: 1. Броня высокой твёрдости ($HV = 3670...5440$ МПа) применяется в качестве противопульной, а также для защиты от снарядов малых калибров. В противоснарядной защите послевоенных средних и тяжёлых танков броня высокой твёрдости в качестве монолитной не применялась, так как имела склонности к хрупким разрушениям при увеличении калибра снаряда; 2. Броня средней твёрдости ($HV = 2700...3340$ МПа) используется для изготовления корпусов и башен современных ОБТ; 3. Броня низкой твёрдости ($HV = 2200...2560$ МПа) использовалась для производства корпусов, так как имела хорошие показатели защищённости от крупнокалиберных снарядов, потому что обладала высокой вязкостью. Также её ранее использовали для изготовления днищ корпусов и конструктивных деталей. Используется для изготовления отдельных деталей корпуса.

Основные проблемы монолитного стального бронирования были выявлены на завершающей стадии Второй Мировой войны (ВМВ), когда бронирование танков прошло настоящее испытание. Так, к концу войны, Германия обзавелась сверхтяжёлым танком Panzerkampfwagen VIII «Maus». Он наглядно показал свою неуязвимость от любого существующего противотанкового средства (ПТС). Но полная незащитность от воздушных атак, крайне низкие показатели мобильности, привели к полному принятию того факта, что монолитная стальная броня изжила себя. Требовалось новое средство броневой защиты техники.

К тому же, к концу войны, многие страны занимались разработками компактного оружия для пехоты, предназначенного для борьбы с танками. Германия в этом вопросе шагнула далеко вперёд с «Панцерфаустом» («Panzerfaust»); у Америки таким оружием выступала – «Базука» («Bazooka»); Англия активно применяла – PIAT (Projector Infantry Anti-tank). Появление таких ПТС, и развитие КС подтолкнули конструкторов к разработке брони, защищающей равно как от КС, так и от БПС.

Первыми разработками, призванными повысить стойкость броневых преград служили некоторые конструктивные приёмы. Одним из самых простых приёмов является придание угла наклона бронеплитам. То есть, броневые плиты получали угол отклонения от нормали. В результате этого на снаряд действуют ассиметричные силы, которые могут вызвать рикошет снаряда от плиты или же при его проникании в преграду необходимо будет пробить значительно большую толщину брони. В случае, когда угол наклона брони превышает 65° , это может привести к рикошету снарядов или к их разрушению.

Первая комбинированная противоснарядная броня представляла собой комбинацию стальных плит разной твёрдости. Такой способ бронирования танков назывался – броня с твёрдым слоем. Данная броня имела форму навесных плит с твёрдым верхним слоем ($HV = 3924$ МПа), она была установлена на некоторых немецких танках времён ВМВ. Данный способ бронирования больше не используется.

Одним из первых способов защиты от КС были экраны из стальных листов. Смысл заключается в их установке на некотором расстоянии от бортовой брони танков. Это вызывало детонацию взрывчатого вещества (ВВ) КС на расстоянии от основной брони. Впервые такие экраны были применены на немецких танках во время ВМВ. В данный момент используется их дальнейшая модификация, а именно – резиноктаневые экраны. Они служат для защиты ходовой части танка от КС. Танк с резиноктаневыми экранами представлен на рис. 3.



Рис. 3. Резинотканевые экраны, установленные на танке Т-80У

Ещё одно новшество, которое было призвано для снижения бронепробиваемости кумулятивных зарядов было найдено в установке на танк, пакетов из разнесённых листов. Но, как оказалось, они также эффективно справлялись и с БОПС, типа APFSDF. Суть конструкции заключается в нескольких листах, разнесённых воздушными зазорами. Такие пакеты использовались в ряде конструкций зарубежных танков. Но впоследствии, от применения таких многослойных пакетов отказались. Это было связано с их высокой массой.

Но самым значимым прорывом в вопросе защиты танков от КС, является разработка комбинированных броневых преград. Суть комбинированной брони заключается в использовании двух или более слоёв металлических и/или неметаллических материалов. По сравнению с гомогенной стальной бронёй, комбинированная броня имеет лучшую противокумулятивную стойкость. Первым серийным ОБТ, обладающим комбинированной бронёй был Т-64А.

В Т-64А комбинированная броня присутствовала только в верхней лобовой детали (ВЛД) корпуса, общая толщина которой составила 205 мм. Её конструктивный угол наклона составлял 68°. Верхний лобовой лист толщиной 80 мм был выполнен из стальной брони средней твёрдости, средний лист толщиной

105 мм – из листов бронестеклотекстолита, а подпорный тыльный лист толщиной 20 мм из стальной брони средней твёрдости. Такая ВЛД имела следующие параметры:

- Горизонтальная толщина элементов – $0,214 + 0,280 + 0,053 = 0,547$ м;
- Плотность стеклотекстолита – 1850 кг/м^3 ;
- Поверхностная плотность комбинированной брони – 2614 кг/м^2 ;
- Эквивалентная по стойкости горизонтальная толщина по БПС – $0,333$ м;
- Эквивалентная по стойкости горизонтальная толщина по КС – $0,377$ м;
- Эквивалентная поверхностная плотность и коэффициенты стойкости по БПС – 2614 кг/м^2 , $K_r = 1,64$ и $K_m = 1,0$;
- Эквивалентная поверхностная плотность и коэффициенты стойкости по КС – 2970 кг/м^2 , $K_r = 1,45$ и $K_m = 0,88$.

Данное техническое решение обеспечивало заданную противокумулятивную защиту, а также надёжную стойкость от 100-мм бронебойных калиберных снарядов типа Armor Piercing stabilized Discarding. Т-64А представлен на рис. 4.



Рис. 4. Т-64А (1972 год)

Следующей ступенью защиты танка от КС явилась динамическая защита. Термину «динамическая защита» (ДЗ) дано следующее определение – это защитное устройство, принцип действия которого состоит в том, что направленный взрыв заряда ВВ воздействует на попавший в танк снаряд в целях резкого снижения его пробивной способности. Для установки ЭДЗ на танк и обеспечения их эффективного функционирования требуется создание специальной конструкции с соответствующими узлами её крепления к основной броне. Эту конструкцию называют комплексом динамической защиты (КДЗ). Заряды ВВ, образуют элементы динамической защиты (ЭДЗ). Они располагаются в специальных броневых контейнерах.

По расположению броневых контейнеров на танке, вся динамическая защита делится на навесную ДЗ (или противокумулятивную; располагается на внешней поверхности танка, предназначена для снижения эффективности КС) и встроенную ДЗ (или универсальную, размещается внутри броневых узлов танка; действует против всех типов противотанковых снарядов).

Принцип действия ДЗ, можно рассмотреть на примере воздействия кумулятивной струи на устройство с применением плоского ЭДЗ. При прохождении струи через ЭДЗ металлические пластины, первоначально примыкавшие к слою ВВ, в результате его детонации начинают двигаться. При этом они пересекают траекторию кумулятивной струи, вследствие чего происходит последовательное пробитие струёй вновь подставляемых участков движущихся пластин. В ходе этого процесса струя подвергается динамическому воздействию продуктов взрыва; кроме того, на неё оказывает влияние боковой импульс от соударения с пластинами. При этом первоначально прямолинейная кумулятивная струя приобретает зигзагообразную форму, происходят её неравномерное растяжение и разрыв на отдельные части. Деформирование и разрушение кумулятивной струи вызывает снижение её бронепробиваемости, примерно на 50...80%.

Рассмотрим противокумулятивную ДЗ. Для установки ЭДЗ на броне танка применяют контейнеры противокумулятивной ДЗ. КДЗ представляет собой совокупность контейнеров и узлов их крепления к основной броне, установленных на башне, а также на лобовых и бортовых частях корпуса танка. Каждый контейнер выполнен в виде полого штампованного корпуса из листовой стали толщиной 3 мм; он состоит из двух частей: короба-крышки и плоского дна. В коробе под некоторым углом друг к другу установлены два ЭДЗ. Создание такого варианта обусловлено необходимостью полного перекрытия ДЗ брони, включая зоны размером 35...40 мм между контейнерами. Такая ДЗ представлена на рисунке 5.

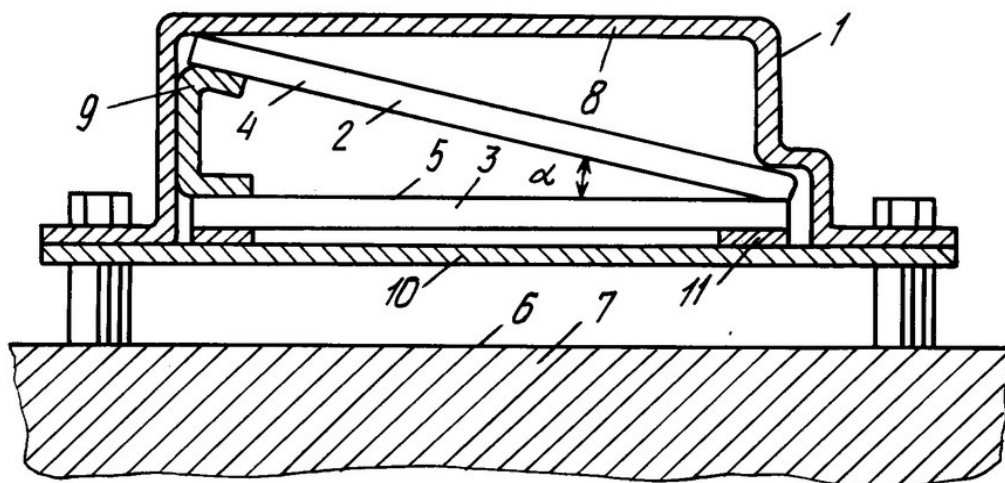


Рис. 5: 1 – корпус; 2, 3 – контейнеры с ВВ; 4, 5 – поверхности контейнеров образующие острый угол; 6, 7 – защищаемая поверхность; 8, 10 – стенка корпуса; 9 – распорный элемент; 11 – упругие элементы

Обстрел БОПС, противокумулятивной ДЗ, выявил, что ЭДЗ в них практически не детонируют, а в случае детонации заметного снижения бронепробиваемости БОПС не происходит. Наряду с этим было выявлено, что при детонации плоских (в виде пластин) зарядов ВВ, установленных на бронеплиту и прикрытых стальными пластинами, при увеличении до определённых значений толщин заряда ВВ и стальной крышки наблюдается уменьшение бронепробиваемости БОПС. Опыт данных исследований был применён при разработке универсальной ДЗ. В ней используется крышка из стали высокой твёрдости толщиной 20 мм и более; схема установки ЭДЗ такая же, как при защите только от КС. Схема универсальной ДЗ представлена на рис. 6.

Появление ПТУР с тандемными БЧ, подтолкнули к разработке активной защиты танка. Это система защиты, принцип действия которой состоит в том, что с помощью средств, установленных на танке, обнаруживается подлетающий к нему снаряд и на этот снаряд оказывается воздействие в целях его разрушения или, снижения его эффективности. Активная защита танков, появилась относительно недавно и является эффективным средством противодействия ПТС. По принципу воздействия КАЗ делится на систему опико-электронного подавления и систему с отстреливаемыми защитными зарядами.

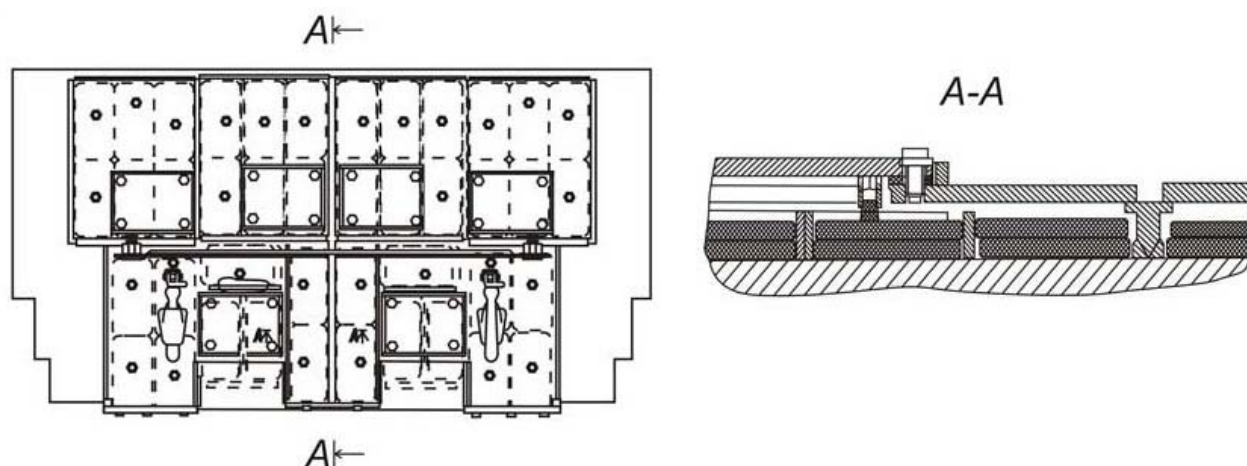


Рис. 6. Универсальная ДЗ Контакт-5

Система опико-электронного противодействия (КОЭП) – это средство противодействия, предназначенное для нарушения нормальной работы технических средств наведения и прицеливания, прежде всего высокоточных. Это достигается ухудшением их характеристики вплоть до полной нейтрализации, то есть обеспечением непопадания в танк снарядов, которые могут его поразить (срыв атаки противника).

В состав КОЭП входят источники направленных некогерентных излучений на основе высокоинтенсивных светотехнических излучателей (станция помех). Схема противодействия заключается в следующем: ПТУР с полуавтоматическим управлением на траектории имеет канал обратной связи «ракета – пелен-

гатор (координатор)», обеспечивающий выработку команд для совмещения траектории ракеты с линией визирования целей цели при воздействии на ракету внешних возмущений. При этом бортовой источник излучения работает в инфракрасном спектральном диапазоне, его излучение воспринимается наземной системой управления, которая с помощью координатора корректирует полёт ракеты. По мере удаления от пусковой установки воспринимаемая системой наведения интенсивность излучения ракеты. Таким образом происходит перехват координатором цели, то есть наземная система управления ПТУР захватывает более яркий источник излучения на танке и перестаёт управлять полётом ракеты; что приводит к промаху при стрельбе по танку.

Но несмотря на, всю развитость технологий в вопросе броневой защиты танков, разработки современных ПТС, тоже не стоят на месте. Поэтому, вопрос о бронировании техники будет всегда актуальным. Далее, представлены перспективные разработки в этой области. Некоторые из них уже начинают использоваться в танках.

Одним из перспективных броневых материалов, используемых для бронирования боевых машин, является керамика. Это связано с её уникальными физико-механическими свойствами. Для керамики характерно сочетание малой плотности, с чрезвычайно высокой прочностью, что позволяет использовать её в качестве одного из компонентов многослойной брони бронетанковой техники. Но, керамика – хрупкий материал, она деформируется только в упругой области и по достижению критических напряжений она разрушается, практически не переходя в пластическое состояние. Характеристики ряда видов керамики приведены в таблице.

Свойства керамик, применяющихся в бронезащитных конструкциях

Материал	ρ , кг/м ³	c_b , м/с	c_l , м/с	σ_g , МПа	σ_d , МПа
Карбид бора B_4C	2500	9630	13780	15000	11500
Карбид кремния SiC	3090	7710	11400	10000	6500
Сталь 35ХЗНМ	7850	4600	5900	2300	1300

Где ρ – плотность материала, c_b – скорость звука, c_l – скорость упругой волны в материале (продольная составляющая скорости звука), σ_g – упругий предел Гюгонио (продольное напряжение за фронтом предшествующей ударной волны, распространяющийся в материале), σ_d – динамический предел текучести.

Но одним из самых перспективных, и малоизученных способов бронирования танков является электромагнитные способы защиты. В отличие от динамических и активных методов защиты, основанных на поражении боеприпасов полем осколков, продуктами взрыва и метаемыми им навстречу пластинами, при использовании электромагнитной защиты снижение бронепробиваемости снижается путём воздействия на поражающий элемент (кумулятивную струю, снаряд и др.) проникающий в комбинированную броню, сильных импульсных

электромагнитных полей и токов. Преимущества данного способа защиты связаны с его быстродействием, широкими возможностями управления электромагнитной энергией и эксплуатационной безопасностью.

Различают три основных типа защиты, базирующихся на использовании сильных импульсных электромагнитных полей токов:

- Электродинамическая защита (ЭлДЗ) – воздействие мощным электромагнитным импульсом на средство поражения;

- Магнитодинамическая защита (МДЗ) – электромагнитное метание пластин на средство поражения. Сочетает в себе принципы активной и динамической защиты, с применением импульсных электромагнитных полей для разгона броневых пластин;

- Электротермическая защита (ЭТЗ) – использование мощных импульсов токов для образования газообразного рабочего тела, с помощью которого осуществляется метание поражающих пластин. На сегодняшний день является наименее изученным типом защиты.

В настоящее время разрабатываемые типы электромагнитной защиты уступают более простой и дешёвой ДЗ. Основным ограничителем при использовании электромагнитных способов защиты являются объём и масса накопителя электрической энергии, определяемые требуемой энергоёмкостью (до 20...30 Мдж/м³).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барятинский М. Б. Все современные танки – М. : Эксмо, 2013. – 464 с.: ил.
2. Григорян В. А., Белобородько А. Н., Дорохов Н. С. Частные вопросы конечной баллистики – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. – 592 с.: ил.
3. Григорян В. А., Юдин Е. Г., Терехин И. И. Защита танков – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2006. – 327 с.: ил.
4. Бабкин А. В., Велданов В. А., Грязнов Е. Ф., учеб. пособие, Средства поражения и боеприпасы – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. – 984 с.: ил.
5. Бирюков В. М. Применение брони в военном деле – М. : Воениздат, 1961. – 267 с.
6. Григорян В. А. Нужна ли современному танку современная защита – М. : Издательский дом, 2013. – 32 с.

© И. Д. Шадрин, Е. А. Хмельников, И. И. Вендер, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин, 2018

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ОБЪЕКТА И ЕГО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ОДНОПОЗИЦИОННЫМ ПАССИВНЫМ ЛОКАТОРОМ

Александр Григорьевич Черевко

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой физики, тел. (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

Рассмотрена возможность пассивного однопозиционного определения дальности и радиальной скорости объекта. Рассмотренное предложение обосновано патентом.

Ключевые слова: пассивный локатор, дальность, радиальная скорость.

POSSIBILITY OF DETERMINING THE DISTANCE TO THE OBJECT AND ITS RADIAL VELOCITY BY A SINGLE-PASSIVE LOCATOR

Alexander G. Cherevko

Siberian University of Telecommunications and Information Science, 86, Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Physics, phone: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

The possibility of a passive single-position determination of the distance to the object and its radial velocity of is considered. The proposal is justified by a patent.

Key words: passive locator, distance, radial velocity.

Известны [1, 2] три способа определения дальности и радиальной скорости объекта пассивным приемником (локатором) (ПЛ):

угломерный способ, когда искомые параметры определяются при помощи двух (или более) ПЛ, разнесенных на расстояние. Если объект и два ПЛ расположены в горизонтальной (вертикальной) плоскости, достаточно найти 2 азимута (2 угла места), а определение дальности осуществляется решением треугольника. Для определения координат объекта в общем случае необходимо измерить не менее 3 угловых координат.

Скорость объекта определяется по результатам измерения наклонной дальности в различные моменты времени.

Разностно-дальномерный способ определения дальности. Он предусматривает измерение разностей расстояний от излучаемого объекта до ПЛ. Для определения координат объекта на плоскости требуется определить не менее двух значений разности расстояний. Для этого необходимо иметь, по крайней мере, 3 разнесённых ПЛ. Местоположение объекта определяется точкой пересечения гипербол, соответствующих измеренным разностям расстояний, с фокусами в точках расположения ПЛ.

Угломерно-разностно-дальномерный способ определения дальности. Он является комбинацией первых двух.

Однако известные способы обладают следующими недостатками:

1 - эти способы не однопозиционные,

2 - для определения дальности и радиальной скорости объекта необходимо несколько ПЛ.

Указанные недостатки приводят к усложнению конструкции измерительной системы и повышению ее стоимости, а также к снижению живучести системы.

Нами для исключения указанных недостатков предлагается [3] использовать пространственное преобразование Фурье электромагнитной волны (ЭМ), излучаемой объектом. ЭМ принимается преобразователем Фурье одиночного однопозиционного ПЛ. Как будет показано, в этом случае для определения дальности и радиальной скорости движущегося объекта достаточно будет измерить частоту смены максимумов на минимумы в интенсивности результата пространственного преобразования Фурье ЭМ, излучаемой объектом. Дальность и радиальная скорость объекта вычисляются по полученным нами простым соотношениям. Они содержат данные по частоте и ее временной производной. При этом объект находится в диапазоне расстояний, соответствующих критерию действия дифракции Френеля. Оценка пеленга и угла места не входит в алгоритм обработки. Они предназначены для обнаружения излучения объекта, сопровождения объекта и ориентировки Фурье преобразователя ПЛ на объект.

Для объекта, рассматриваемого как точечный источник монохроматической электромагнитной волны, согласно [4, 5] число зон Френеля в круглом отверстии непрозрачного экрана диаметром D в первом приближении равно

$$m = \frac{D^2}{4\lambda} \frac{1}{a} + \frac{D^2}{4\lambda} \frac{1}{X}, \quad (1)$$

здесь, a – расстояние от апертуры до фотоприемника, X – расстояние от апертуры до объекта. Полагаем, что объект движется с постоянной скоростью V , скорость – положительна, если направлена от апертуры к объекту, т.е. если объект удаляется от апертуры; скорость – отрицательна, если направлена от объекта к апертуре, т.е. если объект приближается к апертуре. Учитывая знак скорости получаем: $X = X_0 + Vt$, если образец удаляется от апертуры; $X = X_0 - Vt$, если образец приближается к апертуре, здесь X_0 – расстояние до образца в начальный момент времени.

Первое слагаемое соотношения (1) и коэффициент перед вторым слагаемым определяются постоянными, но настраиваемыми параметрами установки. Если m – четное, то в центре картины пространственного преобразования Фурье (ППФ) – минимум, если нечетное – то максимум. Частота смены максимума на минимум равна:

$$F = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dX} \frac{dX}{dt}.$$

Дифференцируя (1) по времени и учитывая, что радиальная скорость равна, получим:

- для приближающегося образца ($X=X_0-Vt$),

$$F = \frac{D^2}{8\lambda} \frac{1}{X^2} V,$$

- для удаляющегося образца (X_0+Vt),

$$F = -\frac{D^2}{8\lambda} \frac{1}{X^2} V$$

Так как частота (показания частотомера) величина положительная, для модуля частоты, получаем:

$$F = \frac{D^2}{8\lambda} \frac{1}{X^2} V \quad (2)$$

Дифференцируя (2), с учетом того, что $V=\text{const}$, для $F' = \frac{dF}{dt} = \frac{dF}{dX} \frac{dX}{dt}$ получаем:

- при приближении образца, скорость отрицательна, ($X=X_0-Vt$),

$$F' = \frac{D^2}{8\lambda} \frac{2}{X^3} V,$$

- при удалении образца, скорость положительна (X_0+Vt),

$$F' = -\frac{D^2}{8\lambda} \frac{2}{X^3} V^2.$$

Следовательно, по знаку производной dF/dt определяется направление движения образца, а именно:

при положительной производной - образец приближается, т.е. скорость отрицательна;

при отрицательной производной- образец удаляется, т.е. скорость положительна. Таким образом,

$$F' = \pm \frac{D^2}{8\lambda} \frac{2}{X^3} V^2 \quad (3)$$

Решая (2) и (3) совместно получим расчетные формулы для дальности и радиальной скорости.

Дальность объекта равна

$$X = \frac{Q}{2} \frac{F'}{F^2}, \quad (4)$$

$Q = \frac{D^2}{8\lambda}$ - параметр установки.

Радиальная скорость объекта равна

$$V = \pm \frac{Q}{4} \frac{F'^2}{F^3} \quad (5)$$

Знак перед скоростью определяет вычислитель дальности и радиальной скорости объекта по знаку dF/dt (знаки скорости и производной противоположны).

Структурная схема для реализации предложенного алгоритма приведена на рис. 1. Электромагнитная волна (ЭМВ) от объекта, который находится в диапазоне расстояний, соответствующих критерию действия дифракции Френеля, принимается антенной 1. Сигнал от антенны обрабатывается в блоке обнаружения сигналов по пеленговому каналу 2 и в блоке обнаружения сигналов по угломестному каналу 3. Сигналы с выхода блоков 2 и 3 поступают на блоки сопровождения 4 и 5 пеленгового и угломестного каналов. Далее сигналы от блоков 4 и 5 поступают на соответствующие два сигнальных входа пространственного преобразователя Фурье 6 для его ориентации на объект. ЭМВ объекта, поступает в сориентированный пространственный преобразователь Фурье 6 через соответствующее окно, а с его выхода сигнал поступает на вход приемника пространственно-преобразованных электромагнитных волн 7, с выхода которого сигнал поступает на измеритель частоты сигнала 8, который измеряет частоту смены интенсивности результата пространственного преобразования Фурье с максимума на минимум. С выхода измерителя частоты 8 сигнал поступает в вычислитель дальности и радиальной скорости объекта 9.

Предложенное решение иллюстрируется компьютерной моделью экспериментальной установки (рис. 2). В качестве объекта служит источник монохроматической ЭМ 1, находящийся в диапазоне расстояний, соответствующих критерию действия дифракции Френеля. Пространственным преобразователем Фурье 2 служит диафрагма с круглой апертурой диаметром D . Интенсивность дифракционной картины, даваемой такой апертурой, представляет собой пространственное преобразование Фурье точечного источника электромагнитных волн. В качестве приемника пространственно-преобразованных электромагнитных волн 3 служит фотоприемник, помещенный в центр дифракционной картины. Его выходной сигнал поступает на частотомер 4, выход которого подключен ко входу вычислителя дальности и радиальной скорости объекта 5. Вычислитель, на который поступает сигнал частотомера, определяет dF/dt и рассчитывает дальность и скорость объекта по формулам (4) и (5).

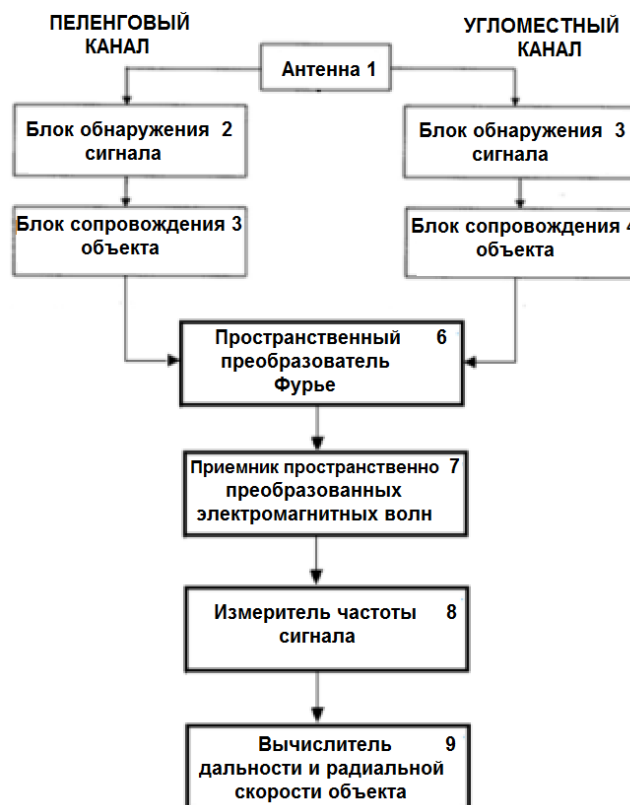


Рис. 1. Структурная схема однопозиционного пассивного лоатора

На рис. 2, 3 приведены фрагменты показаний частотомера и вычислителя дальности и радиальной скорости объекта, соответствующие различным дальностям при постоянной скорости объекта -3 м/с, знак « $\rightarrow$ » означает, что объект приближается к апертуре. Рассмотрим модель (Рис. 2): 1- точечный источник монохроматической электромагнитной волны с длиной волны 650 нм, 2 - пространственный преобразователь Фурье (диафрагма с круглой апертурой), 3 – фотоприемник, 4 – частотомер, 5 - вычислитель дальности и радиальной скорости объекта, 6 – сигнальный кабель, 7 – увеличенное изображение центрального пятна, 8 – оптическая скамья.

На рис. 2 представлен первый фрагмент, характеризующий процесс измерения дальности и скорости. Он соответствует максимуму интенсивности центра картины пространственного преобразования Фурье (на увеличенном изображении этого центра видно красное пятно). Как видно из показаний вычислителя дальности и радиальной скорости объекта 5: дальность объекта равна $X = 0,42449$ м, скорость объекта $V = (-3)$ м/с, т.е. объект приближается к апертуре, что подтверждается положительным знаком dF/dt .

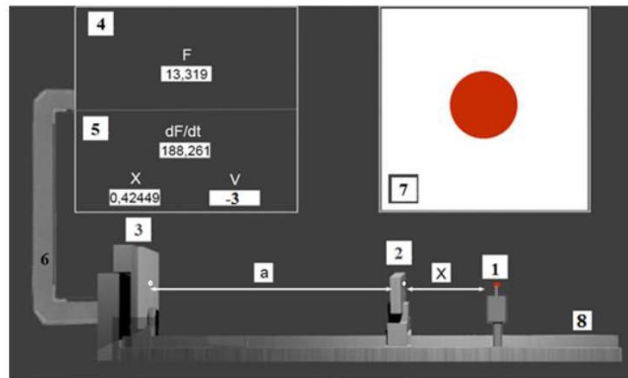


Рис. 2. Фрагмент 1, характеризующий процесс измерения дальности и скорости приближающегося объекта

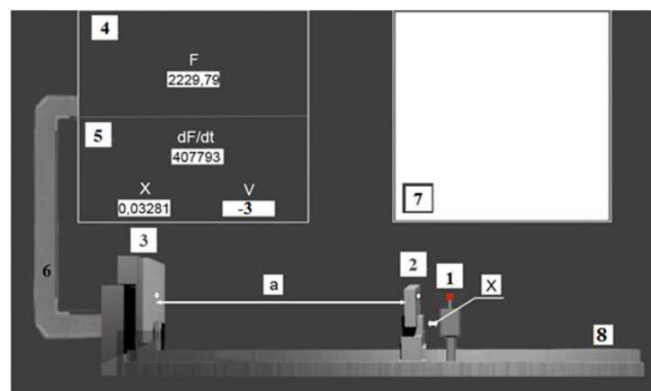


Рис. 3. Фрагмент 2, характеризующий процесс измерения дальности и скорости приближающегося объекта

На рис. 3 – представлена модель экспериментальной установки с фрагментом 2, где наблюдается минимум (пятно отсутствует). Как видно из показаний вычислителя дальности и радиальной скорости объекта 5: дальность объекта равна $X = 0,03281$ м, скорость объекта $V = (-3)$ м/с, т.е. объект приближается к апертуре, что подтверждается положительным знаком производной частоты по времени.

Предложенный и обоснованный способ пассивного однопозиционного определения дальности и радиальной скорости объекта позволяет повысить надежность определения дальности и радиальной скорости объекта, так как:

- позволяет перейти к однопозиционному измерению,
- уменьшает количество параметров, которые необходимо измерить для определения дальности и радиальной скорости с трех до одного.
- В предлагаемом способе используется один тип измерения – измерение частоты, которое является одним из наиболее простых и точных измерений. Измерение частоты менее чувствительно к помехам, связанным с атмосферными явлениями и техногенными факторами, чем измерение уровня сигнала.

Эти преимущества, в совокупности приводят к повышению надежности определения дальности и радиальной скорости объекта и, как результат, увеличению живучести объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быстров Р. П., Загорин Г. К., Федорова Л. В. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов. Монография/ Под ред. Р.П. Быстрова и А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2008. – 320 с.: ил.
2. Охрименко А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч.1. Основы радиолокации. – М. : Воениздат. 1983. – 456 с.
3. Черевко А. Г., Черевко А. А., Ильин Е. М. Способ пассивного однопозиционного определения дальности объекта и его радиальной скорости. Патент на изобретение №2634477. Приоритет 22.04.2016, Регистрация в реестре изобретений РФ 31.10.2017 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели» 2017. №31.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т.2 Теория поля. 7-е изд. – М.: Наука 1988. – 512 с.
5. Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы 7-е изд – М.: БИНОМ, 2015. – 263 с.

© А. Г. Черевко, 2018

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Василий Тимофеевич Семенов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ст. преподаватель кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, (953)796-82-64, e-mail: wassilii_vvs@mail.ru

Владимир Николаевич Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, зав. кафедрой автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)314-19-57, (905)955-96-69, e-mail: sniios@mail.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, чл.-корр. Российской Академии ракетно-артиллерийских наук, кандидат технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)216-05-63, e-mail: niiep2@mail.ru

Валерий Павлович Ющенко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

Приводится информация по обеспечению единства измерений типов средств измерений, о состоянии эталонной базы и организации поверки средств измерений, в том числе нестандартизированных, на оборонных предприятиях. Рассмотрены вопросы метрологической экспертизы, федерального государственного метрологического надзора, аттестации методик измерения. Особое внимание обращается на правильное понимание терминов и определений при использовании нормативных документов об обеспечении единства измерений на предприятиях ОПК.

Ключевые слова: метрология, единство измерений, поверка средств измерений, эталонная база, аттестация испытательного оборудования, государственный метрологический надзор, оборонно-промышленный комплекс.

UNIFORMITY OF MEASUREMENT ASSURANCE IN DEFENSE INDUSTRY

Vasyliy T. Semenov

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Senior Lecturer, Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: v.semenov@corp.nstu.ru

Vladimir N. Legkiy

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Head of Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)314-19-57, (905)955-96-69, e-mail: sniios@mail.ru

Valeriy G. Edvabnik

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Research institute of Electronic Devices Co J-st, Ph. D., Professor, Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383) 216-05-52, e-mail: niiep@oao niiep.ru

Valery P. Yushchenko

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Professor, Department of the Autonomous Information and Operating Systems, phone: (903)939-82-12, e-mail: jwp@aport2000.ru

The information about measurement assurance of measuring instruments types, reference base status and measuring instruments verification management on state defense order performing enterprises, including nonstandardized measuring instruments are presented. The problems of metrological testing, measurement procedures certification and the federal state metrological control are discussed. Special attention is paid for correct interpretation of terms and definitions during measurement assurance normative documents regulations study.

Key words: metrology, uniformity of measurements, measuring instruments, calibration, standard reference base, certification procedure, state metrological control, defense industry.

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) является одним из 12 опорных ВУЗов ОАК, а также базовым ВУЗом для предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) Сибирского федерального округа [1,2].

По ГОЗ (государственный оборонный заказ) на кафедре Автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета с 1992г. ведется целевая подготовка специалистов и научных сотрудников для организаций оборонно-промышленного комплекса по направлениям: Управление в технических системах, Информационно-измерительные и управляющие системы, Системы автоматического управления летательными аппаратами, Оружие и системы вооружений. Ведется целевая подготовка специалистов, бакалавров, магистров и аспирантов по разработке бортовых оптоэлектронных и радиочастотных измерительных систем [2, 5-10].

Широкий профиль подготовки, значительный объем лабораторных работ [3,4] по оптоэлектронным и радиотехническим устройствам, а также НИР студентов, магистрантов и аспирантов определяют особое значение дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Методика преподавания направлена на освоение студентами, особенно принятых по целевому набору, основ единства измерений с учетом нормативных документов, действующих на предприятиях и в научно-исследовательских организациях ОПК, где проводятся занятия и практики.

В соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 № 102 – ФЗ «Об обеспечении единства измерений» единство измерений – это состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Мероприятия по государственному регулированию обеспечения единства измерений осуществляются в формах утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, поверки средств измерений, метрологической экспертизы, федерального государственного метрологического надзора, аттестации методик (методов) измерений, а также аккредитации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Утверждение типа средств измерений является одной из важнейших форм государственного регулирования обеспечения единства измерений. На 1.02.2017г. количество зарегистрированных в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений типов средств измерений составляет более 80,4 тыс. единиц (в 2008 году - 39 тыс. единиц), но не все из них могут использоваться при контроле изделий, проектируемых и поставляемых по ГОЗ, так как существенное ограничение по типу используемых средств измерений накладывается спецификой поставляемых изделий. Перечни средств измерений, применяемых при поставках по ГОЗ, определяются соответствующими организациями Министерства обороны РФ.

Техническую основу обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства образуют система эталонов (государственных, военных и рабочих) единиц величин. Эталонная база Российской Федерации включает в себя систему государственных первичных эталонов, которые воспроизводят единицы величин с наивысшей точностью, достижимой при существующих научно-технических возможностях в данной области измерений. В настоящее время эталонная база Российской Федерации насчитывает 164 государственных первичных эталона единиц величин. Существует вид вторичных эталонов - военные эталоны единиц величин, разработанные по заказу Министерства обороны Российской Федерации и признанные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в качестве исходных для обороны и безопасности Российской Федерации. Это уникальный вид военной измерительной техники. Они обладают высокой мобильностью, способны в чрезвычайных ситуациях осуществлять дублирование государственных первичных эталонов.

Важнейшей формой государственного регулирования является поверка средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования. Поверку проводят аккредитованные в установленном порядке юридические лица и индивидуальные предприниматели, в том числе государственные научные метрологические институты и государственные региональные центры метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, например, ФГУП «Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии», ФБУ «Новосибирский ЦСМ».

В настоящее время количество ежегодно поверяемых средств измерений составляет около 60 млн. единиц. Примерно половину из них поверяют государственные метрологические организации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

На крупных предприятиях, выполняющих ГОЗ имеются сотни средств измерений, подлежащих поверке в соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 № 102 – ФЗ. Каждое из них подлежит поверке в свои сроки, установленные эксплуатационной документацией. Это, естественно, требует определенной системы в учете и контроле средств измерений, подлежащих поверке. С целью организации своевременного представления средств измерений для поверки, на предприятиях ежегодно разрабатывается, согласовывается с представителем заказчика график поверки средств измерений, выполнение которого, контролируется службой главного метролога.

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 19.04.2017 N 737-р «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года» в настоящее время на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, в организациях и подразделениях Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов до настоящего времени эксплуатируется большое количество нестандартизированных средств измерений. Данные средства измерений, поставленные до вступления в силу Федерального закона "Об обеспечении единства измерений", не проходили процедуру утверждения типа средств измерений и не могут быть в установленном порядке поверены. Для решения поставленной задачи обеспечения единства измерений в ОПК необходимо использовать механизм, применяемый для аттестации испытательного оборудования, который изложен в ГОСТ Р 8.568-97 «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

Документация на изделия, поставляемые по ГОЗ, начиная от ТТЗ (ТЗ) на разработку и кончая актом списания из эксплуатации, может подвергаться метрологической экспертизе в соответствии с РМГ 63-2003 «Метрологическая экспертиза технической документации». При этом порядок проведения метрологической экспертизы рассматривается на конкретных примерах (техническое задание, материалы эскизного или технического проектов, технические условия).

Федеральный государственный метрологический надзор это - контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий.

Государственный метрологический надзор в Сибирском регионе осуществляет Сибирское межрегиональное территориальное управление Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в соответствии с Административным регламентом. Проверки осуществляются плановые и внеплановые (повторные, для проверки устранения выявленных нарушений) за соблюдением юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем в процессе осуществления деятельности обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в том числе при

проектировании, изготовлении, поставках и ремонте изделий, поставляемых в рамках ГОЗ на предприятиях оборонно-промышленного комплекса.

Методика измерений – это документированная процедура, выполнение которой обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятыми методами. При проведении предусмотренных техническими условиями испытаний изделий, поставляемых в рамках ГОЗ (приемо-сдаточные, периодические и т.д.), в основном используются методы и методики испытаний, которые определены государственными стандартами, например, стандартами комплекса «Мороз-6». Аттестации методик (методов) измерений в этих случаях не требуется, так как выполнение их уже обеспечивает получение результатов измерений с необходимой точностью, но аттестация может потребоваться при проведении научно – исследовательских или опытно – конструкторских работ в процессе создания новой техники, когда отрабатываются новые методики измерений.

Особое внимание обращается на правильное понимание и употребление терминов и определений, изложенных в РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», так как в этом документе произошли существенные изменения по сравнению с РМГ 29-99. Изменения, прежде всего касаются определения единства измерений, истинного значения величины, неопределенности измерений и т.д. Изучение строится на сравнении формулировок, изложенных в этих двух документах и их отличий.

Систематизированы документы и материалы по обеспечению единства измерений, которые используются в учебном процессе кафедры АИУС целевой подготовки и в практической деятельности специалистов для ОПК.

Качественное обучение специалистов оборонного профиля обеспечивается преподаванием дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация», «Методы испытания автономных систем и средств поражения», при участии выпускающей кафедры в НИР по тематике ОПК, когда используются соответствующие нормативные документы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саленко С. Д., Курлаев Н. В., Легкий В. Н., Смирнов С. А., Эдвабник В. Г. Монография. Взаимодействие университетов и работодателей аэрокосмической отрасли // Раздел Комплексная подготовка оборонных кадров на факультете летательных аппаратов НГТУ. Москва. Издательство МАИ. 2017. 348с. – С. 117-125.
2. Легкий В.Н., Алямов А.Э., Баласов И.Ю., Батурин А.Г., Санков О.В., Эдвабник В.Г. Многофункциональные устройства управления действием высокоточных комплексов: направления развития, кадровое обеспечение. «Известия высших учебных заведений Поволжский регион Технические науки». Выпуск №1, 2012. Стр.211-220.
3. Легкий В. Н., Беланов Б.Е., Евсюков С.Г. и др. Физические основы специальных измерений. Учебное пособие. Под ред. Легкого В.Н. Новосибирск: НГТУ, 1997. 93с.
4. Легкий В. Н., Залесский И.С., Карлин М.В. Методы и средства обнаружения и измерения побочных электромагнитных излучений. Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 38с.
5. Легкий В.Н., Галун Б.В., Санков О.В., Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. Учебник, - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, - 455 с.

6. Легкий В. Н., Галун Б.В., Баласов И.Ю. Методика пересчета чувствительности фотоприемников многоспектральных оптоэлектронных систем // X международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения», том 5. НГТУ, - Новосибирск, 2010, с.50-54.
7. Легкий В. Н., Топорков В. Д., Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики. Под ред. В.Н. Легкого. Монография:– Новосибирск.: НГТУ, 2002. – 179 с.
8. Легкий В. Н., Орлов В.Н и др. Системы ближней локации. Учебное пособие. Ч.1, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. 135с.
9. Денисова Е.В., Легкий В. Н. Автономные информационные системы обнаружения скрытых объектов. Учебное пособие / - Новосибирск, НГТУ, 2012. - 128с.
10. Шебалкова Л.В., Легкий В. Н., Ромодин В.Б. Микроволновые и ультразвуковые сенсоры. Учебное пособие/ под редакцией Легкого В.Н. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 172 с.

© В. Т. Семенов, В. Н. Легкий, В. Г. Эдвабник, В. П. Ющенко, 2018

МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Евгения Владимировна Верёвкина

АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 3-й категории; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, магистрант, e-mail: verevkina95@inbox.ru

В данной работе представлены результаты проектирования микрополосковой антенны для малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой для беспилотного летательного аппарата. Приведены расчеты геометрических параметров излучателей, 3D-модель антенной решетки и результаты моделирования.

Ключевые слова: микрополосковая антенна, проектирование антенны, синтезированная апертура, электродинамическое моделирование, беспилотный летательный аппарат.

DRONE MICROSTRIP PATCH ARRAY

Eugenia V. Veryovkina

Joint-Stock Company «Scientific Research Institute on Electronic Devices», 53, Pisareva St., Novosibirsk, 630005, Russia, Engineer of 3 Category; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Graduate, e-mail: verevkina95@inbox.ru

The article describes the design process of a series-fed microstrip antenna array used for synthetic aperture radars for drones. The calculations of geometric parameters of patches, a 3D-model of the antenna array and the results are also described.

Key words: microstrip antenna, antenna design, synthetic aperture, electromagnetic modeling, drone.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и другая дистанционно управляемая техника имеют широкое применение в различных отраслях российской экономики. Они активно применяются в армии (видео- и фоторазведка, дистанционное разминирование), в добыче полезных ископаемых и энергетике (контроль состояния трубопроводов и ЛЭП), охране правопорядка и МЧС, а так же в картографии (аэрофотосъемка).

Назначение радара синтезированной апертуры для БПЛА – получение изображений поверхности в радиодиапазоне. Антенна для данного радара имеет следующие параметры (табл. 1).

Таблица 1

Исходные параметры

Рабочая частота	$F = 10$ ГГц
Значение волнового сопротивления питающей линии	$Z_0 = 50$ Ом
Количество излучателей	$2N = 12$
Уровень боковых лепестков	$q = -20$ дБ

Найдем токи и проводимости для четного количества излучателей ($2N$), используя полином Чебышева:

$$I_m = \sum_{k=m}^N (-1)^{N-k} * \frac{A^{2k-1} * (2N-1) * (k+N-2)!}{(k-m)! (k+m-1)! (N-k)!},$$

где A – параметр, определяющий уровень боковых лепестков и ширину луча при известном числе излучателей; $m = 1, 2 \dots, N$.

$$A = ch \left(\frac{1}{p} * \operatorname{arch} \frac{1}{q} \right),$$

где p – степень полинома Чебышева, q – уровень боковых лепестков [1].

Проводимости найдем по формуле: $g = \frac{I^2}{\sum I^2}$.

Ширина излучателя a связана с проводимостью g соотношениями:

$$g = 2G_{11}Z_0;$$

$$G_{11} = \frac{1}{120\pi^2} * \int_0^\pi \left(\frac{\sin(\pi a_{eff} * \cos\theta * \frac{f_u}{c})}{\cos\theta} \right)^2 (\sin\theta)^3 d\theta;$$

$$a_{eff} = a \left(1 + \frac{h}{a} * \left(1.393 + 0.667 * \ln \left(\frac{a}{h} + 1.444 \right) \right) \right),$$

где G_{11} – собственная проводимость, a_{eff} – эффективная ширина микрополосковой линии, f_u – рабочая частота, c – скорость света, h – толщина подложки [3].

Результаты расчетов токов I , проводимостей g и ширины излучателей a представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0.713	0.553	0.709	0.845	0.946	1	1	0.946	0.845	0.709	0.553	0.713
g	0,064	0,039	0,064	0,091	0,114	0,127	0,127	0,114	0,091	0,064	0,039	0,064
a	5,8	4,2	5,8	7,2	8,3	8,8	8,8	8,3	7,2	5,8	4,2	5,8

Длину излучателя вычисляем по формуле:

$$b \cong (0.48..0.49) * \lambda_0 / \sqrt{\epsilon}, \text{ где } \lambda_0 - \text{длина волны. Получаем } b \cong 9.$$

При максимальной рабочей частоте толщина подложки должна удовлетворять условию:

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_u \sqrt{\epsilon_r}} [2].$$

$h = 0.888$, примем $h = 0,5$ мм.

Для проектирования антенны мы используем программу HFSS (High Frequency Structural Simulator) от компании ANSYS для моделирования высокочастотных электромагнитных полей. Программа используется для проектирования антенн, а также для разработки сложных электронных элементов радиочастотной цепи, включая фильтры, линии передачи, разъемы, IC-упаковку и печатные платы.

Зная размеры излучателей, расстояние между ними и толщину подложки, можем смоделировать антенну (рис. 1).

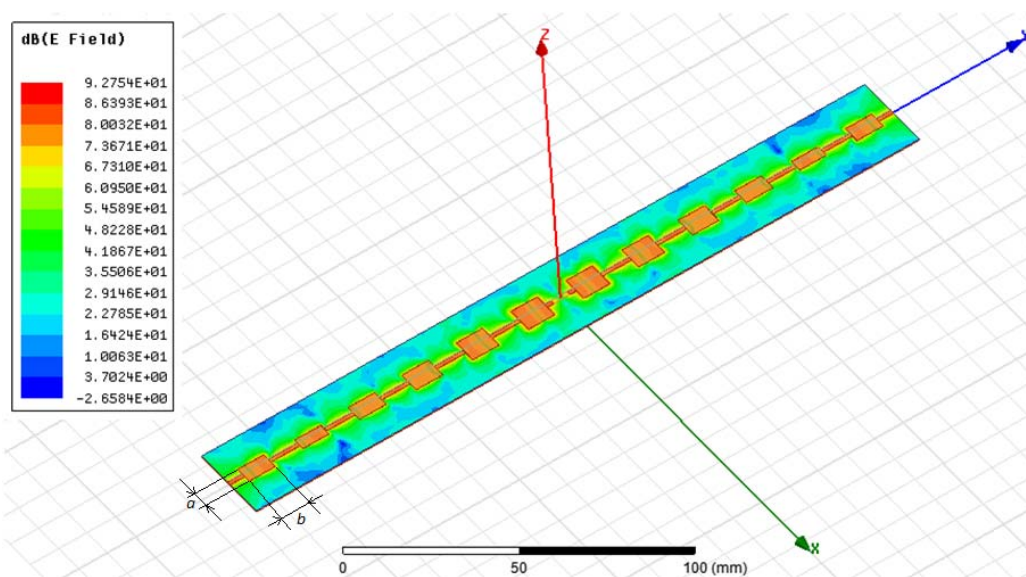


Рис. 1 – 3D-модель микрополосковой антенной решетки:

a – ширина излучателя; b – длина излучателя

Чтобы получить оптимальную диаграмму направленности, будем изменять длину излучателей и расстояние между ними. Построим диаграммы направленности для нескольких значений длин излучателей (8-11мм) и шага между ними (18-21мм) (рис. 2). Самой оптимальной является диаграмма для длины излучателей 10 мм и шага 19 мм: уровень боковых лепестков = -20,65 дБ, ширина главного лепестка $6,9^\circ$ (рис. 3). Коэффициент усиления данной антенной решетки составляет 15,2 дБ.

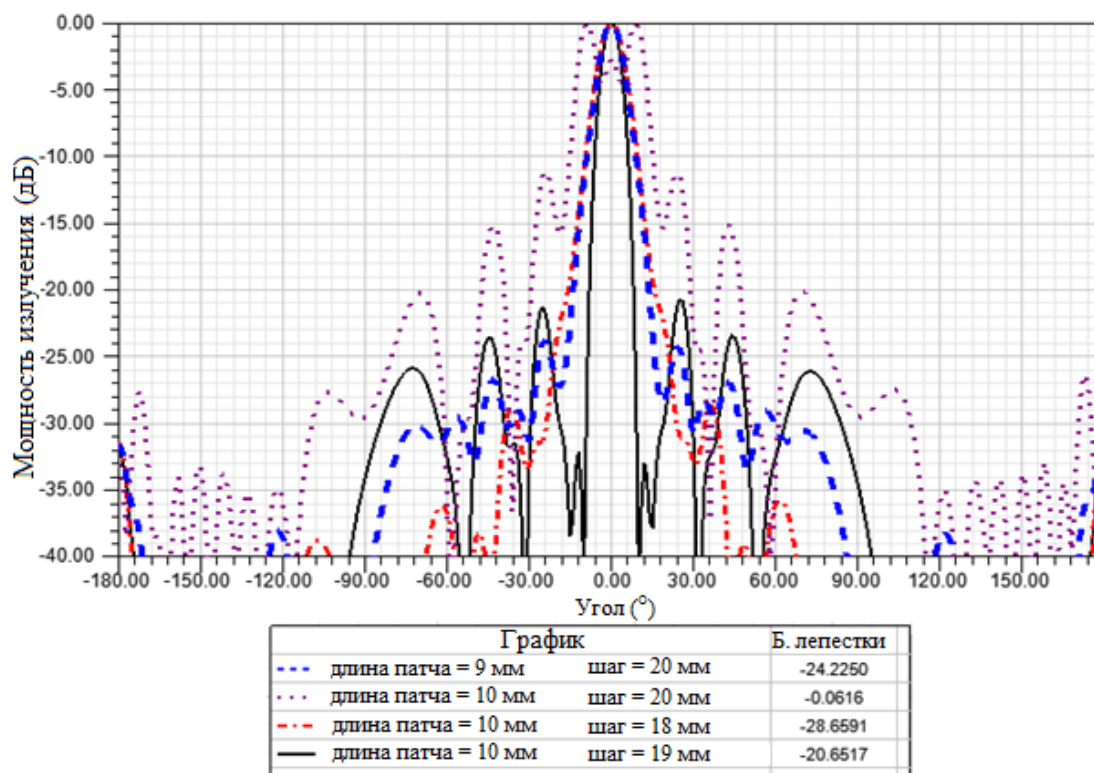


Рис. 2. Диаграммы направленности для разных длин патчей и шага между ними

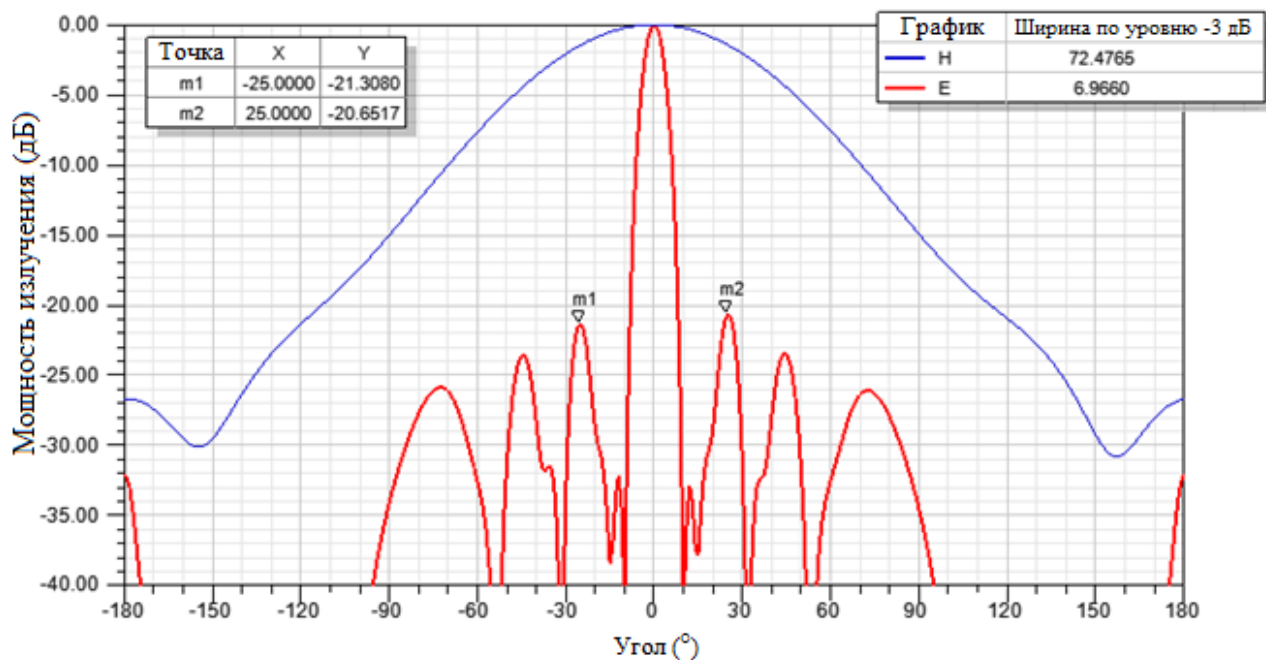


Рис. 3. Сечение нормированной диаграммы направленности в плоскостях E и H

Заключение

Рабочая полоса частот по уровню -10 дБ: 9,85–10,65 ГГц (рис. 4). В точке, соответствующей частоте 10 ГГц, значение коэффициента отражения -23,5 дБ. В этой точке КСВ равен 1,15.

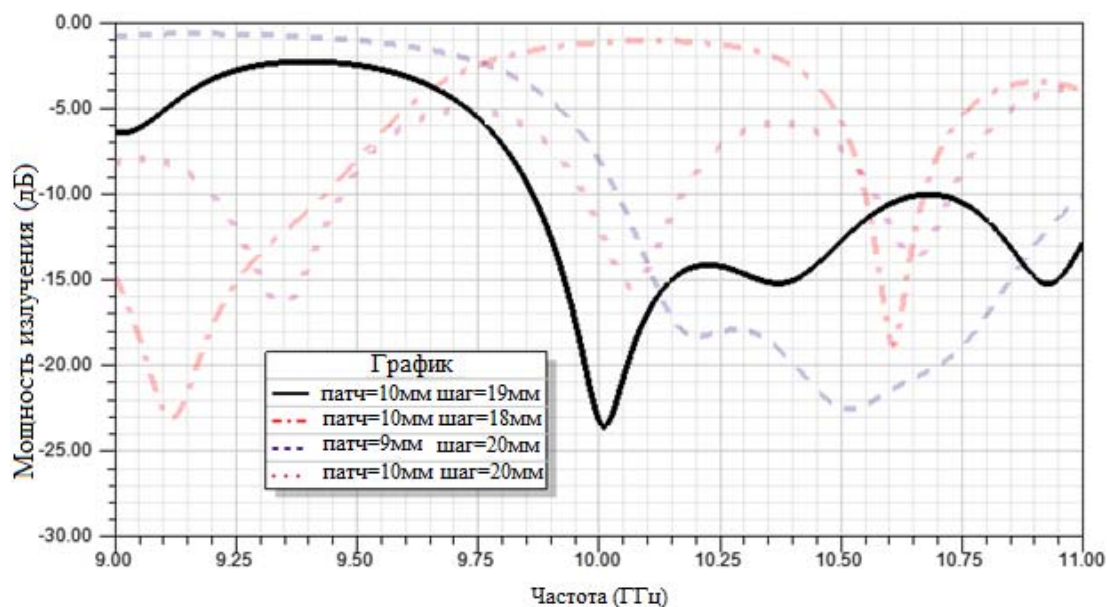


Рис. 4. Коэффициент отражения

Объемная диаграмма направленности данной антенной решетки представлена на рис. 5.

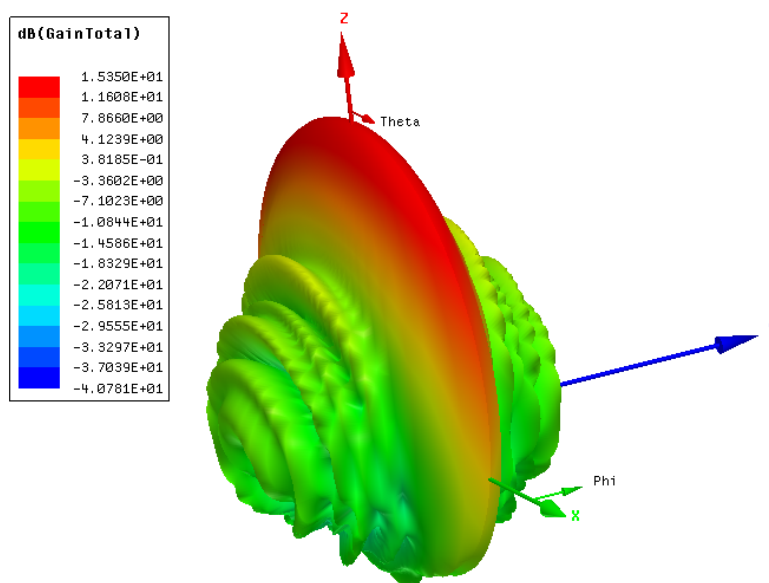


Рис. 5. Объемная диаграмма направленности

Разработанная антенна может быть использована в малогабаритных SAR для беспилотных летательных аппаратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов. Под редакцией профессора Воскресенского Д. И. Учебное пособие для вузов. М. Изд-во «Советское радио», 1972, стр. 320.
2. Robert A. Sainati «CAD of microstrip antennas for wireless applications», Artech House, London, 1998.
3. William F. Richards «Microstrip Antennas», Chapter 10 in Antenna Handbook: Theory Applications and Design (Y.T. Lo and S.W. Lee, eds.), Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1988.

© *Е. В. Верёвкина, 2018*

САМОДЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОР БЕЗ ИНИЦИИРУЮЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Евгений Владимирович Проскуряков

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры, тел. (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

Михаил Васильевич Сорокин

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, кандидат технических наук, доцент, преподаватель, тел. (383)332-50-45, e-mail: mv_sorokin@ngs.ru

Александр Иванович Пошехонов

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, курсант 3-го курса батальона Войсковой разведки, тел. (999)468-72-42

В данной работе представлено исследование по изготовлению электродетонатора без инициирующих взрывчатых веществ. Экспериментально опробованный самодельный электродетонатор без инициирующих взрывчатых веществ безопасен в изготовлении и может использоваться для подрывных работ при отсутствии штатных средств взрывания.

Ключевые слова: электродетонатор, электровоспламенитель, детонирующий шнур, ТЭН, переход горения взрывчатых веществ в детонацию.

THE SELF-MADE ELECTRIC DETONATOR WITHOUT INITIATING EXPLOSIVES

Evgeny V. Proskuryakov

The Novosibirsk Higher Military Command School, 49, Ivanov St., Novosibirsk, 630117, Russia, Ph. D., Associate Professor, Professor, phone: (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

Mikhail V. Sorokin

The Novosibirsk Higher Military Command School, 49, Ivanov St., Novosibirsk, 630117, Russia, Ph. D., Associate Professor, Lecturer, phone: (383)332-50-45, e-mail: mv_sorokin@ngs.ru

Alexander I. Poshekhnov

The Novosibirsk Higher Military Command School, 49, Ivanov St., Novosibirsk, 630117, Russia, Cadet 3 course battalion of the Army Intelligence, phone: (999)468-72-42

In this paper presents a study on the production of an electric detonator without initiating explosives. The experimentally tested electric detonator without initiating explosives is safe to manufacture and can be used for subversive operations in the absence of standard means of blasting.

Key words: electric detonator, electric igniter, detonating cord, PETN, transition of burning of explosives into detonation.

Анализ приемов и способов ведения боевых действий в современных локальных конфликтах показывает, что высокая боеспособность личного состава

зависит не только от наличия сил и штатных средств, применяемых для выполнения поставленных задач, но и от умения правильно их использовать. Опыт показывает, что разведывательные органы, выполняющие задачи в отрыве от основных сил, далеко не всегда имеют достаточное количество средств, в том числе минно-взрывных, определяющееся разными причинами. Одна из них – весовое ограничение снаряжения и экипировки разведчика.

Выходом из данной ситуации может служить применение простейших самодельных взрывных устройств, способных заменить штатные взрыватели, противопехотные мины и пр. Необходимость в знаниях и умениях применять самодельные взрывные устройства (далее – СВУ) также диктуется характером и способами ведения боевых действий в Чечне, Афганистане, Абхазии, Грузии и Сирийской Арабской Республике. Важность этих вопросов определяется еще и тем, что незаконные вооруженные формирования ведут минную войну, активно применяя самодельные взрывные устройства, по этой причине понимание конструкций типовых СВУ и принципа их действия может быть жизненно необходимо.

Изготовление любого самодельного взрывного устройства не обходится без применения средств взрывания (далее – СВ), т. к. инициирование заряда взрывчатых веществ (далее – ВВ) произвести без их помощи практически невозможно.

Известны варианты изготовления электродетонаторов (далее – ЭД) с использованием капсуля-детонатора (далее – КД) и лампочки с присоединенными проводами (рис. 1).

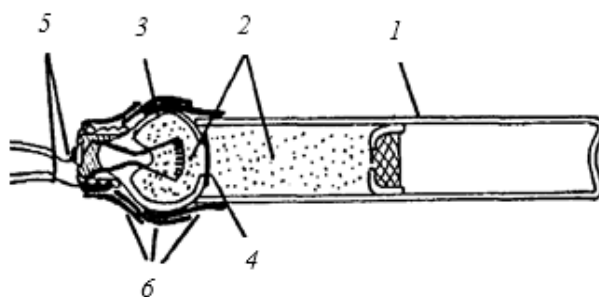


Рис. 1. Устройство самодельного ЭД (вариант):

1 – КД № 8; 2 – порох; 3 – лампочка; 4 – бумага; 5 – провода; 6 – изолента

Изготовить же КД из подручных средств проблематично, так как необходимо инициирующее ВВ, для производства которого требуется наличие специальной лаборатории, химических веществ и достаточной квалификации. Работа с инициирующим ВВ из-за его чрезвычайной чувствительности к любым внешним воздействиям (нагрев, искра, удар, трение и пр.) очень опасна. По этой причине для подготовки любого СВ как минимум нужен КД промышленного

производства (табельный, или применяемый в промышленности, или из состава взрывателя различных боеприпасов).

Ввиду этих обстоятельств вопрос изготовления ЭД без инициирующих ВВ является весьма актуальным.

Для производства подрывных работ в войсках применяются СВ на основе инициирующих ВВ: гремучая ртуть, азид свинца, ТНРС и др. Иницирующие ВВ опасны при изготовлении и применении. СВ бывают двух типов: КД, которые срабатывают от луча огня и ЭД, срабатывающие от электрического импульса [1]. Все СВ промышленного изготовления стандартизованы и безопасны в применении при правильном обращении с ними.

Известно, что бризантные ВВ могут воспламеняться от штатных средств воспламенения. При определенных условиях горение бризантного ВВ переходит во взрыв (горение в толстой металлической оболочке и др.), при этом инициирующее ВВ не требуется. В данной работе выполнен анализ имеющегося экспериментального и теоретического материала по переходу горения ВВ в детонацию (далее – ПГД) и предложен самодельный ЭД без инициирующих ВВ.

Любой детонации предшествует процесс горения ВВ. При воспламенении различных типов ВВ длина участка горения ВВ существенно различается [5]. В инициирующих ВВ ПГД происходит гораздо быстрее, чем в бризантных ВВ. Параметром, характеризующим склонность ВВ к детонации, является длина преддетонационного участка L_D : расстояние от места воспламенения ВВ до места возникновения детонации (рис. 2). Среди бризантных ВВ наиболее склонным к детонации является ТЭН [3].

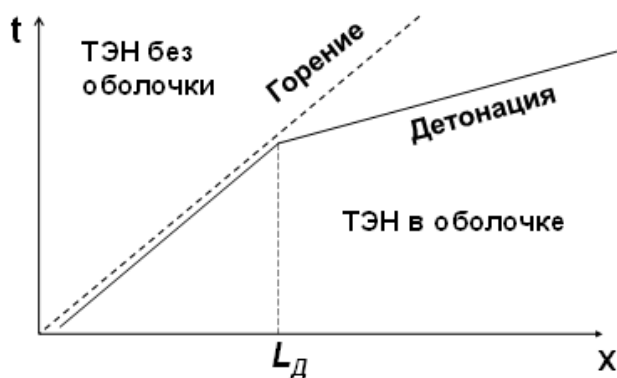


Рис. 2. Переход горения ТЭНа в детонацию

Рассмотрим воспламенение ТЭНа от стандартного электровоспламенителя (далее – ЭВ). При срабатывании ЭВ происходит воспламенение ТЭНа и его послойное горение путем теплопередачи от горящих продуктов реакции к ближайшему тонкому слою ВВ. Происходит плавление и испарение этого слоя ВВ, пары ВВ нагреваются до температуры самовоспламенения и осуществляется химическая реакция с выделением энергии, затем нагревается следующий слой

ВВ и так далее. Интенсивное газовыделение увеличивает скорость горения, послойное горение с малой скоростью переходит в конвективное горение с большой скоростью, на фронте горения формируется ударная волна, которая переходит в детонационную волну [4]. Выделяется четыре стадии процесса ПГД в ТЭНе:

1. Низкоскоростное послойное горение ВВ.
2. Ускоренное конвективное горение ВВ (100-800 м/с).
3. Низкоскоростная детонация ВВ (1000-3500 м/с).
4. Нормальная детонация ВВ (~ 8000 м/с).

В толстой стальной оболочке длина преддетонационного участка L_D не зависит от диаметра заряда и составляет 30-35 мм (диаметр заряда менялся в пределах 2-10 мм, плотность заряда $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$).

Длина L_D зависит от размера частиц ТЭНа: с уменьшением размера частиц ВВ Δ уменьшается L_D . Оптимальным является размер частиц $\Delta = 100\text{-}250 \text{ мкм}$, при этом преддетонационный участок минимален: $L_D = 30 \text{ мм}$.

Длина L_D зависит также от плотности ВВ: при уменьшении плотности ВВ ρ повышается газопроницаемость ВВ и фильтрация газообразных продуктов в поры ВВ, усиливается конвективное горение ВВ. При плотности заряда $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$ процесс фильтрации продуктов горения слабый и ПГД не происходит. При плотности заряда $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$ давление на фронте горения недостаточное и ПГД также не происходит, заряд ВВ просто выгорает.

Толщина стальной оболочки h существенно влияет на процесс ПГД. При воспламенении ТЭНа без оболочки горение не переходит в детонацию. Для выяснения вопроса о влиянии толщины оболочки на развитие детонации был проведен ряд экспериментов. Для этого гексоген с размером частиц 100-250 мкм запрессовывался в оболочки из стали марки СТ20 до плотности $1,2 \text{ г/см}^3$. Внутренний диаметр оболочки составлял 4 мм, длина заряда 45-60 мм. Толщина стенки менялась от 0,1 до 2,5 мм. При этом получились следующие результаты:

1. При толщине стенок $h = 0,2 \text{ мм}$ наблюдалось затухание процесса горения на расстоянии 10-15 мм от места воспламенения.

2. При толщине стенок $h = 0,3\text{-}0,6 \text{ мм}$ наблюдался линейный рост скорости горения (110-880 м/с), детонации не происходило, наблюдался прорыв продуктов горения через оболочку.

3. При толщине стенок $h = 0,7\text{-}1,4 \text{ мм}$ скорость фронта горения резко увеличивалась, наблюдалась неустойчивая детонация. Отказы детонации происходили из-за прорыва продуктов горения через оболочку.

4. При толщине стенок $h = 1,5 \text{ мм}$ наблюдалась стационарная детонация со скоростью 8000-8300 м/с, прорыв газообразных продуктов горения через оболочку не наблюдался.

Анализ данных опытов позволил установить, что оптимальная толщина стенки оболочки должна составлять 1,5-2,5 мм, что обеспечивало надёжную детонацию взрывчатого вещества. В случае $h \leq 1 \text{ мм}$ процесс ПГД нестабильный. Если $h \geq 1,5 \text{ мм}$, то наблюдался устойчивый процесс ПГД. Для устойчивого процесса ПГД необходима толщина стенки оболочки не менее 1,5 мм, при этом длина $L_D = 30\text{-}35 \text{ мм}$.

Таким образом, стабильный процесс ПГД происходит в стальной (СТ20) трубке диаметром 10 мм с толщиной стенки не менее 1,5 мм и длиной не менее 40 мм. При этом плотность ТЭНа в трубке около $1,2 \text{ г/см}^3$, а размер частиц ВВ 100-250 мкм.

Предлагаемая схема ЭД без инициирующих ВВ показана на рис. 3, б. Трубка изготавливалась из стального прутка (СТ20) диаметром 8-10 мм. Отверстие выполнялось сверлом диаметром 4 мм. Для снаряжения трубки использовался нефлегматизированный ТЭН, полученный из ДШ. Уплотнение ВВ осуществлялось вручную деревянной палочкой усилием пальцев до плотности $1,2 \text{ г/см}^3$. Для воспламенения ВВ использовался типовой ЭВ, который поджигался к ВВ гайкой.

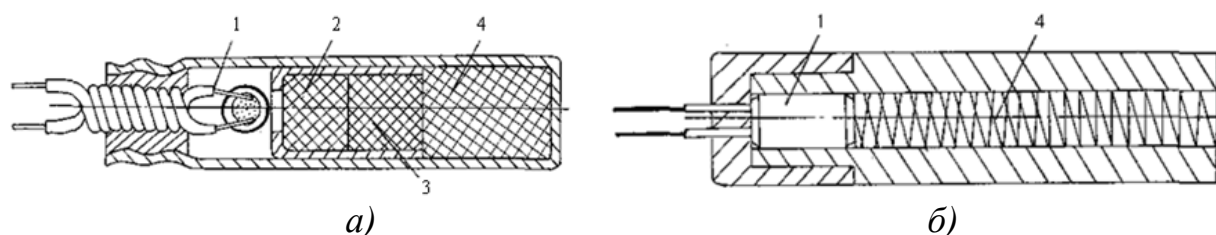


Рис. 3. Схемы ЭД:

а – типовой ЭД; б – ЭД без инициирующих ВВ;
1 – ЭВ; 2 – ТНРС; 3 – азид свинца; 4 – ТЭН

Первые результаты испытаний оценивались по состоянию трубки: если конец трубки разрушен, то детонация произошла. Трубку стабильно разрушалась. Далее ЭД помещался в заряд гексогена (прессованная шашка массой 20 г и плотностью $1,6 \text{ г/см}^3$), находящийся на алюминиевой пластине. Если шашка гексогена детонировала, то на алюминиевой пластине оставалась глубокая лунка (отпечаток). Отпечаток стабильно получался и ЭД надежно срабатывал.

Были попытки заменить ТЭН гексогеном, который имеет близкие физико-химические характеристики. Результат получился отрицательный: ЭД подрывал нестабильно. Возможно, частицы гексогена были флегматизированы, что резко понижает чувствительность гексогена.

Заключение

Таким образом, разработан и экспериментально опробован самодельный ЭД без инициирующих взрывчатых веществ. Предложена схема изготовления ЭД, не требующая значительных затрат и наличия дополнительного оборудования. Учитывая, что источником ВВ является штатный ДШ (не представляющий опасности при правильном обращении с ним), можно сделать вывод, что предложенный ЭД безопасен при изготовлении и может использоваться для подрывных работ при отсутствии штатных средств взрывания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Средства поражения и боеприпасы: учебник / А.В. Бабкин [и др.]; под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Т. 2. М.: Физматлит, 2004.
3. Ащепков, Н.В. О преддетонационном участке перехода горения ТЭНа в детонацию [Текст] / Н.В. Ащепков, В.В. Стенгач // Физика горения и взрыва. – 1974. № 5.
4. Изучение преддетонационных режимов в пористых ВВ / А.В. Обмелин [и др.] // Физика горения и взрыва. – 1969. № 4.
5. Беляев, А.Ф. Переход горения конденсированных систем во взрыв / А.Ф. Беляев, В.К. Боболев, А.И. Коротков. – М.: Наука, 1973.
6. Пономарев, А.С. Переход горения пористого гексогена в детонацию в зарядах малого диаметра. Моделирование в механике / А.С. Пономарев, Ф.В. Фомин. // сб. тр. ИТПМ. 1990. – Том 4 (21).

© *Е. В. Проскуряков, М. В. Сорокин, А. И. Пошихонов, 2018*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сергей Николаевич Новиков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, доцент кафедры информационной безопасности, e-mail: snovikov@ngs.ru

При анализе методов маршрутизации на сетях связи произвольной структуры, имеющих несколько десятков узлов коммутации, возникают проблемы, связанные с решением задач большой размерности. В данной статье предлагаются подходы, позволяющие проводить анализ методов маршрутизации с целью выявления тех методов маршрутизации, которые будут наиболее эффективно функционировать в предполагаемых сетях связи и в заданных условиях.

Ключевые слова: план распределения информации, метод маршрутизации, внешние деструктивные воздействия.

MODELING OF THE PERFORMANCE OF NETWORK COMMUNICATION IN TERMS OF EXTERNAL DESTRUCTIVE INFLUENCES

Sergei N. Novikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Associate Professor, Department of Information Security, e-mail: snovikov@ngs.ru

When analyzing routing methods on communication networks of arbitrary structure that have several dozen switching nodes, problems arise related to solving large-scale problems. This article proposes an approach that allows analysis of routing methods to identify those routing methods that will most effectively function in the intended communication networks and in specified conditions.

Key words: Information distribution plan, routing method, external destructive effects.

Введение

Спектр методов маршрутизации, которые можно применить на сетях связи, весьма широк – от простейших, фиксированных процедур, до весьма сложных. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. В работе [0] предложена классификация методов маршрутизации для сетей связи, учитывающая независимые процедуры: формирование плана распределения информации (ПРИ) на сети (протоколы маршрутизации); выбор исходящих линий, трактов, каналов связи в узлах коммутации (УК) (протоколы сигнализации). Данная классификация позволяет:

– выявить множество вариантов реализации как последовательных, так и параллельных (многопутевых) методов маршрутизации (например: "Детерми-

нированный диффузный последовательный с использованием лавинного метода формирования ПРИ» [0] – RIP, OSPF, BGP, PNNI и др.);

– провести целенаправленный анализ и синтез тех методов маршрутизации, которые будут наиболее эффективно функционировать в предполагаемых сетях связи и в заданных условиях.

Выбор метода маршрутизации в значительной мере влияет на эффективность использования ресурсов сети и качество обслуживания приложений, доступных пользователям. Вместе с тем проведение натурных исследований на действующих сетях сопряжено с существенными техническими, организационными и финансовыми трудностями. Поэтому в качестве инструментария для анализа влияния маршрутизации на QoS приложений сети связи применяют имитационное и математическое моделирование.

К настоящему времени в качестве математического аппарата используют теорию графов, массового обслуживания, цепей Маркова, нечетких множеств, нейронных сетей, игр, сетей Петри и др. Применение столь широкого диапазона математических подходов обусловлено сложностью и спецификой предмета анализа [2]. Особенно усложняется задача исследования методов маршрутизации на сетях связи больших размерностей и в условиях внешних деструктивных воздействий на ее элементы.

В данной статье предлагаются подходы моделирования методов маршрутизации на сети связи большой размерности, функционирующей в условиях внешних деструктивных воздействий.

Методика определения плана распределения информации на однородной ячеистой сети связи большой размерности

В тех случаях, когда структура сети связи приобретает некоторую регулярность, что характерно для ячеистых сетей связи, представляется возможным представить ее в виде регулярной правильной решетки. Результаты, полученные на таких структурах, могут дать асимптотические оценки для анализа методов маршрутизации и значительно уменьшить сложность алгоритмов, моделирующих эти методы.

Выберем для анализа методов маршрутизации ячеистую однородную структуру сети связи с квадратной ячейкой.

Вложим граф $G[A_S, M_S]$ ($A_S = \{a_i\}; i = \overline{1, S}$ – множество вершин, соответствующих УК; $M_S = \{m_{ij}\}; i, j = \overline{1, S}; i \neq j$ – , ребера, соответствующие линиям связи (ЛС)), описывающий структуру сети, в прямоугольную систему координат так, чтобы координаты вершин графа принимали только положительные целые числа с шагом, равным единице. Тогда каждая вершина $a_i; i = \overline{1, S}$ будет иметь свой адрес с координатами $\{i, j\}$.

Исходную вершину графа, соответствующую узлу-источнику (УИ) анализируемой сети связи, поместим в начало координат. Далее будем рассматривать процедуру нахождения маршрута между любой вершиной графа $G[A_S, M_S]$, соответствующую узлу-получателю (УП), и исходной (УИ).

Пусть β_{ij} определяет число кратчайших (по числу промежуточных вершин) маршрутов между УИ с координатами $\{0,0\}$ и вершиной $\{i,j\}; i = \overline{1, x_{\max}}; j = \overline{1, y_{\max}}$, где $x_{\max}$ и $y_{\max}$ – максимальные количества УК по осям X и Y соответственно.

Величину β_{ij} будем присваивать вершине с координатами $\{i,j\}$, имея при этом в виду, что она относится к паре УК с координатами $\{0,0\}$ (УИ), $\{i,j\}$ (УП). Очевидно, что для однородной ячеистой сети связи с квадратной ячейкой величины β_{ij} и β_{ji} равны между собой. Все вершины графа $G[A_S, M_S]$ по отношению к вершине $\{i,j\}$ будем разделять на два подмножества A_1 и A_2 .

В подмножество A_1 входят те узлы, которые не выходят за пределы установленного прямоугольника анализируемой сети связи, ограниченного вершинами с координатами: $\{i,j\}$; $\{i,0\}$; $\{0,0\}$ и $\{0,j\}$ (рис. 1).

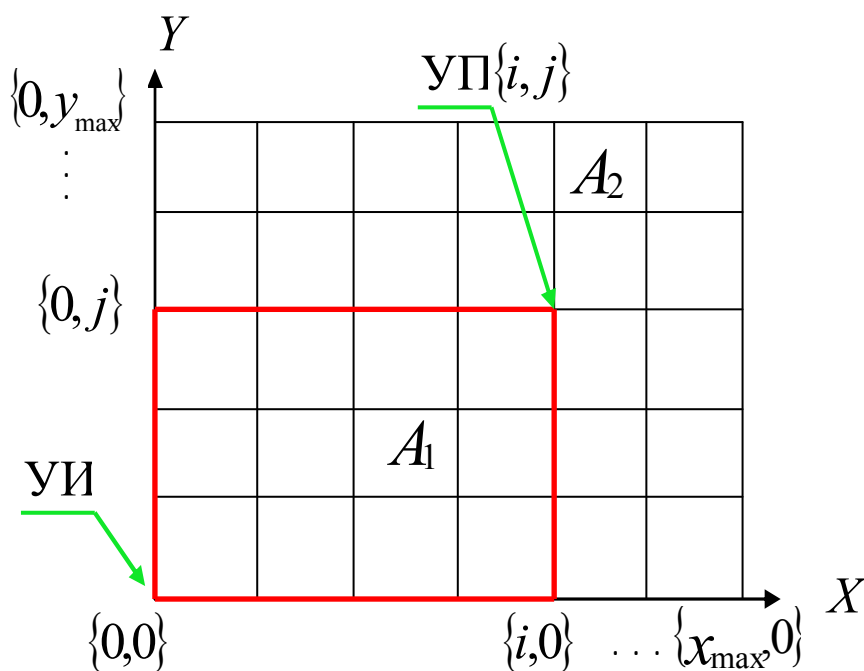


Рис. 1. Определение числа кратчайших маршрутов между УИ и УП

Справедливо следующее утверждение: число кратчайших маршрутов β_{ij} между УИ с координатами $\{0,0\}$ и вершиной с координатами $\{i,j\}$ (УП) определяется только вершинами, входящими в подмножество A_1 .

Отдельно изобразим подмножество A_1 с учетом β_{ij} (рисунок 2). В результате получим перевернутый треугольник Паскаля с вершиной в начале прямоугольной системы координат. Биноминальные коэффициенты треугольника Паскаля будут соответствовать количеству кратчайших маршрутов между УИ и УП.

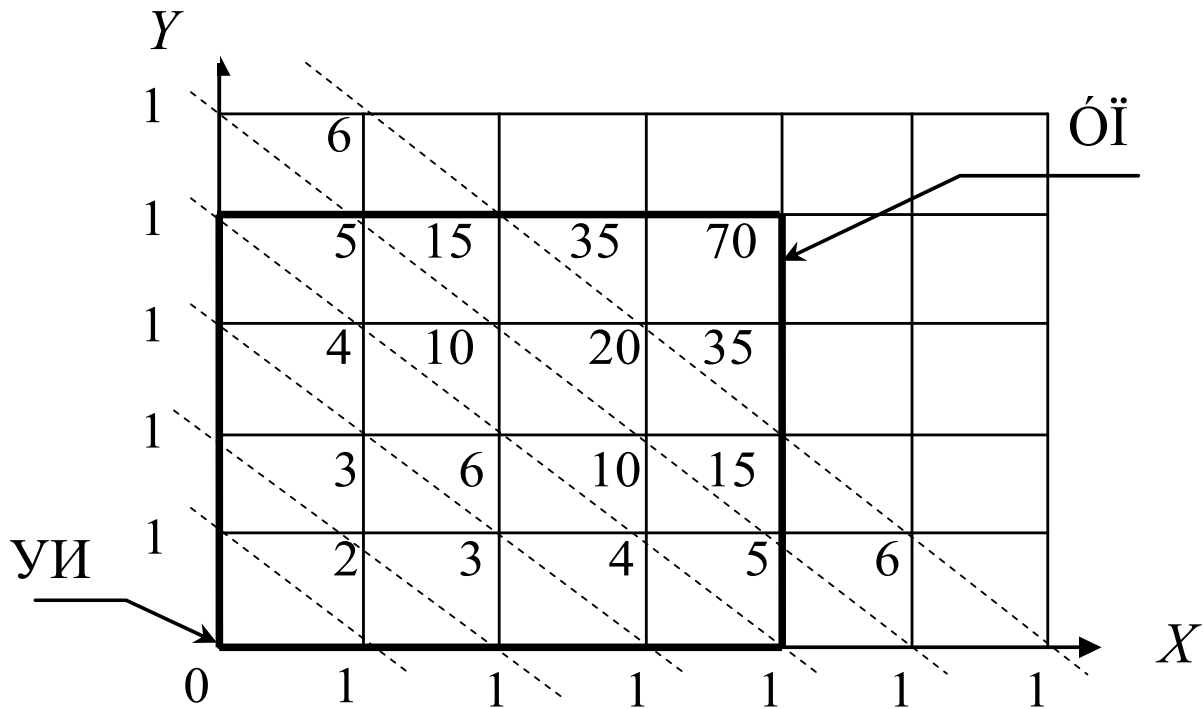


Рис. 2. Представление анализируемой сети в виде треугольника Паскаля

Учитывая это положение, несложно получить формулу, определяющую:

$$\beta_{ij} = \frac{(i+j)!}{i! \cdot j!}.$$

Для определения самих маршрутов необходимо вычислить величины:

$$p_{ij}^x = \frac{\beta_{i-1,j}}{\beta_{i,j}} \text{ и } p_{ij}^y = \frac{\beta_{i,j-1}}{\beta_{i,j}},$$

где $\{i-1, j\}$ и $\{i, j-1\}$ – координаты смежных узлов в подмножестве A_1 .

Очевидно, что

$$p_{ij}^x + p_{ij}^y = 1.$$

Подставив в формулы, определяющие p_{ij}^x и p_{ij}^y , значение

$$\beta_{ij} = \frac{(i+j)!}{i! \cdot j!},$$

получим:

$$p_x = p_{ij}^x = \frac{i}{i+j}; \quad p_y = p_{ij}^y = \frac{j}{i+j}. \quad (1)$$

Таким образом, для выбора более предпочтительного направления в УК по числу кратчайших маршрутов из данного УК, достаточно сопоставить между собой координаты этого узла и продолжить поиск маршрута по направлению координаты X или Y , имеющей большее значение, p_x или p_y соответственно.

Следовательно, используя простые расчеты в каждом УК, можно последовательно строить маршрут от УИ к УП. Причем величины p_x и p_y представлены в форме, удобной для применения в алгоритме маршрутизации как с детерминированным, так и со стохастическим выбором направления в УК.

Если в алгоритме маршрутизации помимо p_x и p_y учитывать и другие параметры тракта передачи информации (ТПС) (вероятностно-временные характеристики, определяющие QoS приложений сети связи) в направлении X и Y соответственно, Ω_{ij}^x и Ω_{ij}^y , исходящих из узла $\{i, j\}$, то тогда коэффициенты, определяющие предпочтительность выбора направления, могут быть получены из следующих выражений:

$$\begin{cases} n_x = \frac{p_x \cdot q_x}{p_x \cdot q_x + p_y \cdot q_y}; \\ n_y = \frac{p_y \cdot q_y}{p_x \cdot q_x + p_y \cdot q_y}, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\begin{cases} q_x = \frac{\Omega_x}{\Omega_x + \Omega_y}; \\ q_y = \frac{\Omega_y}{\Omega_x + \Omega_y}. \end{cases} \quad (3)$$

Приведем методику формирования ПРИ на сети для некоторых методов маршрутизации, наиболее характерных для каждой группы [0].

«Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации» предусматривает установление маршрутов между парой УИ и УП с минимальным количеством транзитных УК. В случае отсутствия маршрутов с минимальным количеством транзитных УК заявка, поступившая на обслуживание от пользователя УИ, получает отказ. Выбор ТПС в каждом УК

осуществляется детерминировано в соответствии с коэффициентами, рассчитанными по формуле (1). Однако в случае $p_x = p_y$ выбор исходящего ТПС осуществляется вероятностно.

Пусть $\{i, j\}$ – координаты УИ; $\{i', j'\}$ – координаты УП $(i, i' = \overline{1, x_{\max}}; j, j' = \overline{1, y_{\max}})$. Тогда величины

$$D_x = i' - i \text{ и } D_y = j' - j$$

определяют количество транзитных УК от УИ до УП по осям X и Y соответственно. Причем знаки у D_x и D_y указывают геометрическое расположение УП относительно УИ (рис. 3). Покажем это следующим образом:

$$\begin{cases} \text{если } D_x > 0, & \text{то 2-е направление;} \\ \text{если } D_x < 0, & \text{то 4-е направление;} \\ \text{если } D_y > 0, & \text{то 1-е направление;} \\ \text{если } D_y < 0, & \text{то 3-е направление.} \end{cases} \quad (4)$$

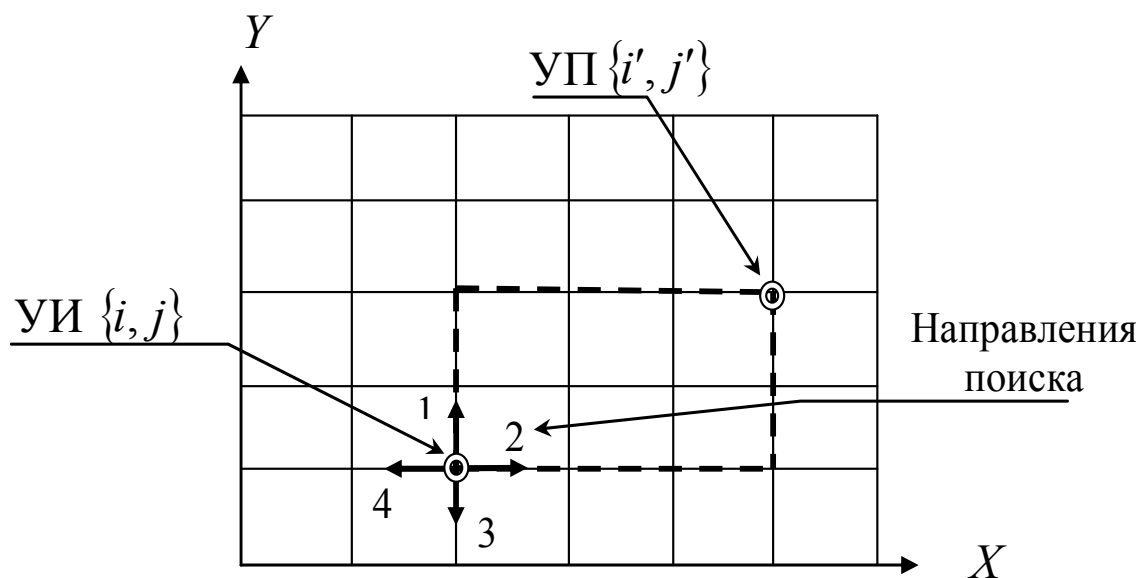


Рис. 3. Определение направлений между УИ и УП

В этом случае алгоритм маршрутизации состоит в вычислении в каждом транзитном УК, начиная с УИ, выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_x = i' - i; \\ D_y = j' - j; \\ P_x = \frac{|D_x|}{|D_x| + |D_y|}; \\ P_y = \frac{|D_y|}{|D_x| + |D_y|}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Сравнивая коэффициенты P_x и P_y между собой по алгоритму:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{если } P_x > P_y, & \text{то продолжение поиска по оси } X; \\ \text{если } P_x < P_y, & \text{то продолжение поиска по оси } Y; \\ \text{если } P_x = P_y, & \text{то выбор поиска осуществляется} \\ & \text{вероятностно,} \end{array} \right. \quad (6)$$

принимается решение о продолжении поиска маршрута между УИ и УП. Затем, определив знак у D_x , если сделан выбор по оси X , или у D_y , если сделан выбор по оси Y , определяется одно из четырех направлений (4) (рис. 3), которое считается предпочтительным. Если вычисленное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В случае не доступности определяется менее предпочтительное направление. Если и данном случае ТПС не доступен, то поиск маршрута прерывается и заявке, поступившей на обслуживание от УИ, дается отказ.

На рис. 4, *а* приведен пример установления соединения между УИ и УП с координатами, соответственно $\{2,2\}$ и $\{6,5\}$. На рис. 3, *б* показана попытка организации маршрута между узлами с координатами $\{7,2\}$ и $\{2,4\}$.

УК, вышедшие из строя, не дают возможности установить маршрут с минимальным числом ТУ между УИ и УП (хотя кратчайший маршрут существует), поэтому заявка, поступившая от пользователя УИ, получает отказ в обслуживании.

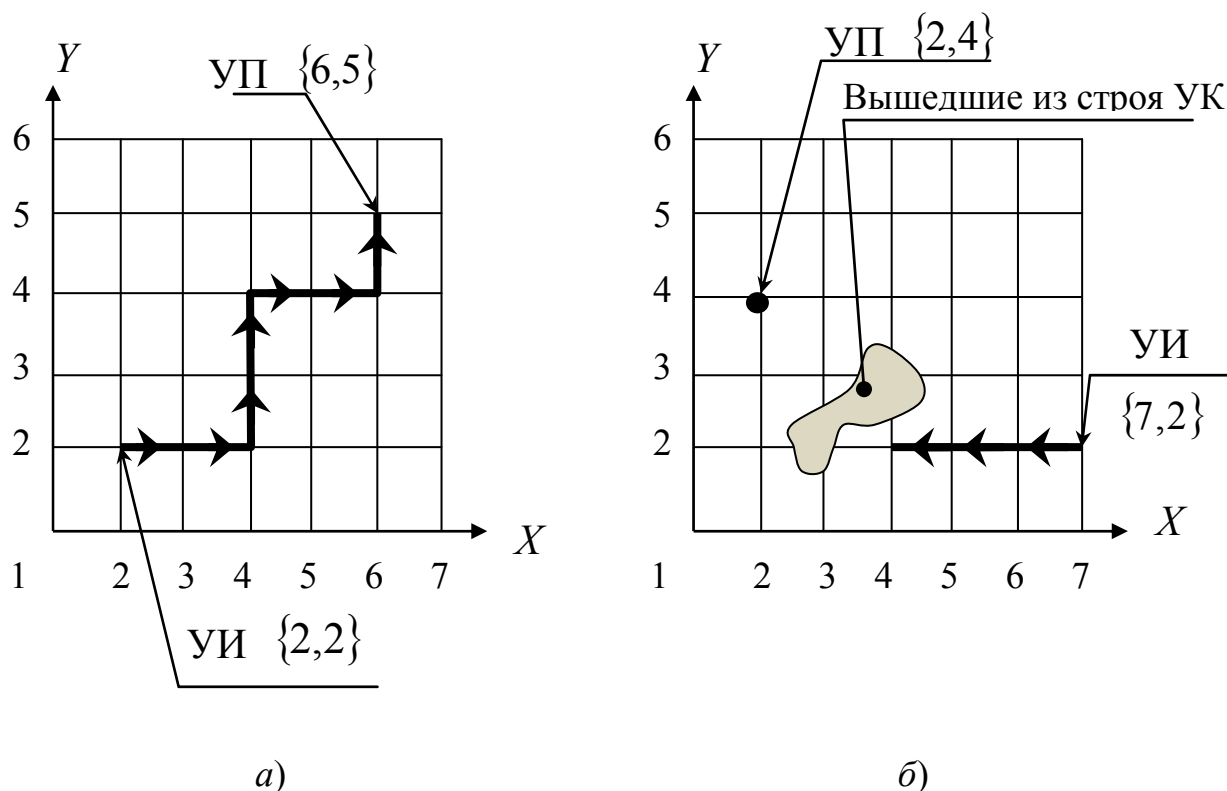


Рис. 4. «Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации

Для поддержания параметров QoS приложений необходимо учитывать вероятностно-временные параметры ТПС (пропускная способность, скорость передачи пакетов, время задержки, временной джиттер, вероятность ошибочного приема на символ, пакет и т.д.), участвующих в формировании маршрутов между УИ и УП. В этой связи при расчетах коэффициентов, определяющих предпочтительность выбора исходящих ТПС в каждом УК, необходимо воспользоваться формулами (2) и (3).

Если один из коэффициентов (n_x или n_y) больше, то выбор исходящего ТПС в УК выполняется детерминировано. В случае равенства n_x и n_y между собой то выбор исходящего ТПС осуществляется вероятностно. Если не существует возможности установления маршрута с минимальным числом транзитных УК между УИ и УП, то заявка, поступившая от пользователя в УИ, получает отказ в обслуживании. Таким образом, в данном случае необходимо последовательно вычислять в каждом УК, начиная с УИ, значения:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_x = i' - j; \\ D_y = j' - j; \\ P_x = \frac{|D_x|}{|D_x| + |D_y|}; \\ P_y = \frac{|D_y|}{|D_x| + |D_y|}; \\ q_x = \frac{\Omega_{ij}^x}{\Omega_{ij}^x + \Omega_{ij}^y}; \\ q_y = \frac{\Omega_{ij}^y}{\Omega_{ij}^x + \Omega_{ij}^y}; \\ n_x = \frac{P_x \cdot q_x}{P_x \cdot q_x + P_y \cdot q_y}; \\ n_y = \frac{P_y \cdot q_y}{P_x \cdot q_x + P_y \cdot q_y}, \end{array} \right. \quad (7)$$

где $\{i, j\}$ – координаты УИ; $\{i', j'\}$; $(i, i' = \overline{1, x_{\max}}; j, j' = \overline{1, y_{\max}})$ – координаты УП; Ω_{ij}^x и Ω_{ij}^y – параметры ТПС (вероятностно-временные характеристики, определяющие QoS приложений мультисервисной сети связи) в направлении оси X и оси Y соответственно.

Затем, сравнивая n_x и n_y между собой по алгоритму:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{если } n_x > n_y, & \text{то продолжение поиска по оси } X; \\ \text{если } n_x < n_y, & \text{то продолжение поиска по оси } Y; \\ \text{если } n_x = n_y, & \text{то выбор поиска осуществляется} \\ & \text{вероятностно,} \end{array} \right.$$

принимается решение о предпочтительности выбора направления (по оси X или по Y) поиска маршрута.

Знак у D_x , если сделан выбор по оси X , или у D_y , если сделан выбор по оси Y , определяет (4) одно из четырех направлений, которое считается предпочтительным в сравнении с остальными по числу кратчайших маршрутов и по ВВХ трактов передачи сообщений между УИ и УП. Если вычисленное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В случае недоступности ТПС вычисляется второе, менее предпочтительное. Если в данном случае ТПС не доступен, то данной заявке дается отказ в обслуживании.

«Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с неограниченным числом транзитных УК. Однако максимальное число выбора исходящих ТПС в УК не превышает трех. Маршрут от УИ к УП ищется по всем направлениям кроме тех, которые: ведут в противоположную сторону от УП; при данном поиске ранее были пройдены.

Таким образом, процедура поиска маршрута данным методом состоит в последовательном выполнении операций во всех транзитных УК, начиная с УИ, по правилам (4), (5) и (6).

Если вычисленное направление доступно, то соответствующий исходящий ТПС подключается к ранее выбранному маршруту. В противном случае вычисляется второе по предпочтительности направление. При необходимости определяется и третье. Если и в последнем случае исходящий ТПС недоступен, то данной заявке дается отказ в обслуживании. Вычисленные направления не должны прокладывать маршрут в противоположную сторону от УП и участвовать при данном поиске маршрута более одного раза.

На рис. 5, а приведен пример установления маршрута данным методом между УИ и УП с координатами $\{2,5\}$ и $\{6,3\}$ соответственно.

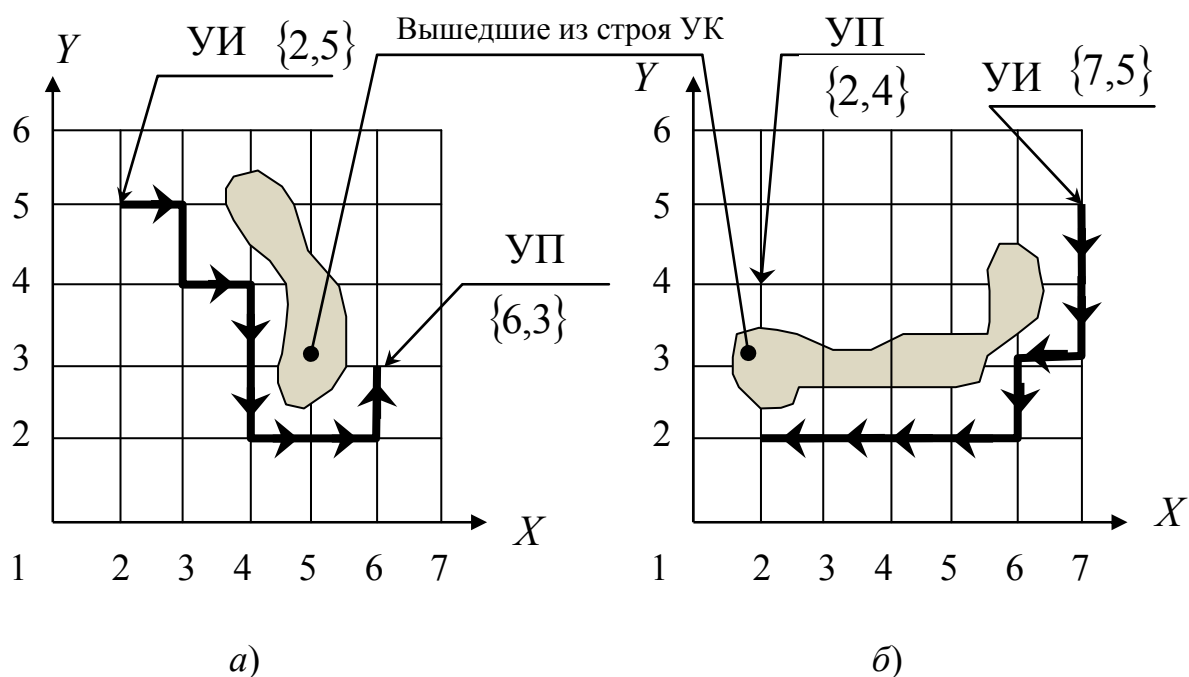


Рис. 5. «Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации

На рис. 4, б показана попытка организации маршрута между узлами с координатами $\{7,5\}$ и $\{2,4\}$. УК, вышедшие из строя, не дают возможности установить маршрут, в результате чего заявка, поступившая от пользователя УИ, получает отказ в обслуживании.

Формулы расчета вероятностей перехода по трем направлениям будут иметь вид:

$$P_1 = \frac{L+1}{3 \cdot L + 2}; \quad P_2 = \frac{L+1}{3 \cdot L + 2}; \quad P_3 = \frac{L}{3 \cdot L + 2},$$

где $L = |D_x| + |D_y|$; P_1, P_2 и P_3 – вероятности перехода по первому, второму и третьему направлениям поиска маршрута соответственно.

«Диффузный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с неограниченным числом транзитных УК. Последовательно выполняя операции (4), (5) и (6) вычисляется наиболее предпочтительное направление (одно из четырех) по числу кратчайших маршрутов. Если выбранное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В противном случае вычисляется новое, менее предпочтительное направление. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не найдется доступный, исходящий ТПС. Если же доступные, исходящие ТПС во всех направлениях отсутствуют, то заявке, поступившей от пользователя УИ, дается отказ в обслуживании.

На рис. 6 приведен пример организации маршрута между УИ и УП с координатами $\{3,3\}$ и $\{6,2\}$ соответственно.

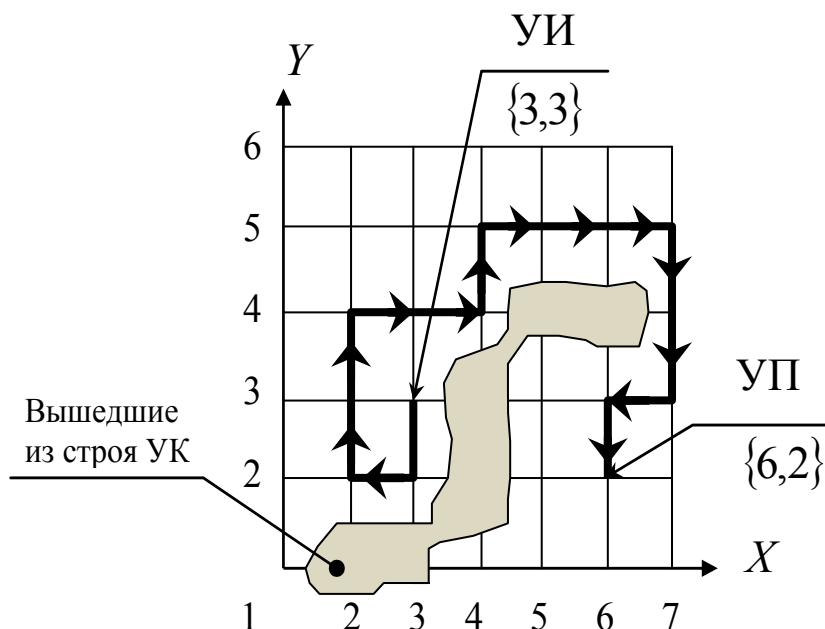


Рис. 6. Пример организации «Диффузного вероятностно-детерминированного последовательного с логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации

Формулы расчета вероятностей перехода по четырем направлениям будут иметь вид:

$$P_1 = \frac{L+1}{4 \cdot L+2}; P_2 = \frac{L+1}{4 \cdot L+2}; P_3 = \frac{L}{4 \cdot L+2}; P_4 = \frac{L}{4 \cdot L+2},$$

где $L = |D_x| + |D_y|$; P_1, P_2, P_3 и P_4 – вероятности перехода по первому, второму, третьему и четвертому направлениям поиска маршрута соответственно.

«Локально-волновой с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с минимальным количеством транзитных УК. При этом на сети организуется «Лавинный» поиск, но не во всех направлениях, а лишь в сторону УП. Поиск распространяется в пределах зоны, охватывающей только кратчайшие маршруты (рис. 1). Если на сети связи между УИ и УП нет кратчайших маршрутов, то заявке, поступившей от УИ, дается отказ в обслуживании.

Таким образом, данный метод состоит в определении всех направлений (используя последовательно операции (4), (5) и (6)), которые могут установить кратчайшие маршруты между парой УК. В случае отсутствия доступных ТПС в вычисленных направлениях, для узлов, расположенных в зоне поиска маршрута, процесс поиска маршрута начинает «Сворачиваться».

На рис. 7, а показан пример организации маршрута между УИ и УП с координатами, $\{2,2\}$ и $\{7,5\}$. Пунктиром указаны те ТПС, которые остались подключенными на момент установления маршрута между заданной парой УК. Остальные ТПС, участвующие в поиске маршрута, освободились.

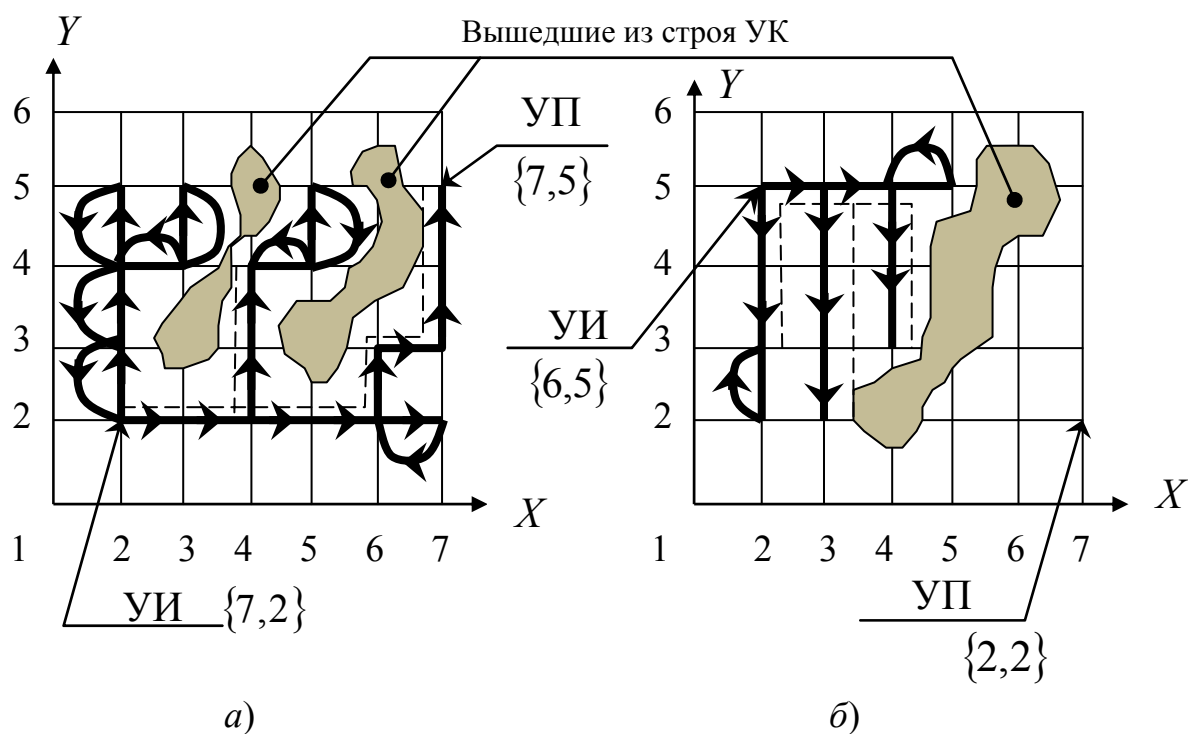


Рис. 7. «Локально-волновой с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим методом формирования плана распределения информации» метод маршрутизации

Рис. 6, б показывает попытку установления соединения между парой УК. Однако вышедшие из строя УК не дают возможности организовать такой маршрут и данной заявке, поступившей от УИ {2,5}, дается отказ в обслуживании.

В силу сложности данного метода маршрутизации (параллельность распространения процессов поиска маршрута от УИ до УП; «Сворачивание» отдельных направлений; выделение одного маршрута из множества просмотренных) расчет (7) не пригоден.

Упрощенная имитационная модель анализа маршрутизации

Опишем упрощенную имитационную модель сети связи, в которой выделим процедуру маршрутизации и сгладим процесс передачи пользовательской информации.

Каждый из методов маршрутизации использует часть ресурса сети связи для нахождения маршрутов между УИ и УП. Следовательно, количество одновременно установленных соединений (Ξ) с применением различных методов маршрутизации будет различно. Таким образом, в качестве критерия сравнения методов маршрутизации можно использовать способность сети связи пропустить максимальную нагрузку между парами УИ и УП, выраженную в количестве одновременно установленных соединений (Ξ).

Введем следующие обозначения:

$\tilde{\Xi}$ – среднее количество установленных соединений за N_1 испытаний методом статистического моделирования;

$\Xi_{\max}$ – максимально возможное количество соединений на сети, которое рассчитывается следующим образом:

$$\Xi_{\max} = \frac{R_o}{L_{\text{ср}}},$$

где R_o – сетевой ресурс сети связи – совокупность ТПС анализируемой сети связи;

$L_{\text{ср}}$ – средняя длина маршрута между УИ и УП.

Тогда выражение

$$W = \frac{\tilde{\Xi}}{\Xi_{\max}} \quad (8)$$

будет определять коэффициент пропускной способности сети.

Представим граф сети $G[A_S, M_S]$ матрицей виртуальных каналов (ВК) $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$, где элемент матрицы $k_{i,j}$; $i, j = \overline{1, S}$; $i \neq j$ указывает количество ВК между УК a_i и a_j .

Алгоритм (рис. 8) упрощенной имитационной модели маршрутизации в условиях внешнего деструктивного воздействия на элементы сети связи методом статистического моделирования состоит из следующих шагов.

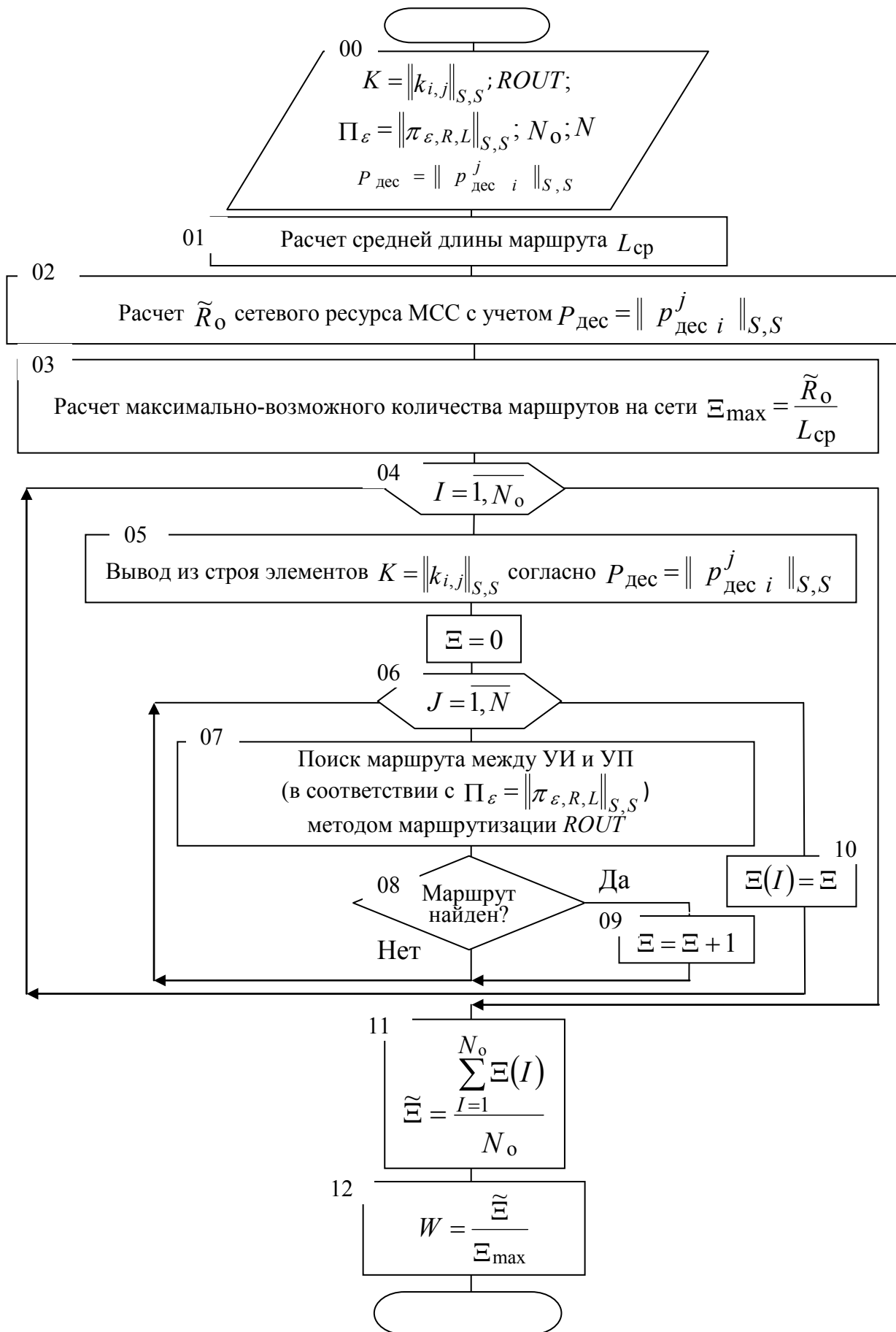


Рис. 8. Алгоритм упрощенной имитационной модели маршрутизации

1. Исходными данными являются (оператор 00):

$K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ - матрица виртуальных каналов анализируемой сети связи;
 $ROUT$ - метод маршрутизации; $\Pi_\varepsilon = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ - матрица тяготений между УИ и УП; $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес } i}^j\|_{S,S}$ - матрица деструктивных воздействий на элементы сети связи; N - количество заявок, поступающих в сеть связи; N_0 - количество испытаний методом статистического моделирования [3].

2. В соответствии с матрицей тяготений $\Pi_\varepsilon = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ рассчитывается средняя длина маршрута между УИ и УП ($L_{\text{ср}}$) на сети $G[A_S, M_S]$ (оператор 01).

3. Суммированием всех ВК, преобразованной сети $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (с учетом заданной матрицы деструктивных воздействий на элементы сети связи $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес } i}^j\|_{S,S}$), определяется сетевой ресурс анализируемой сети (R_0). Преобразование матрицы $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (с учетом заданных параметров $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес } i}^j\|_{S,S}$) осуществляется вывод из строя элементов сети. То есть генерируют κ независимых случайных равномерно распределенных в интервале (0,1) чисел X_φ . Затем значения X_φ последовательно сравнивают с величинами матрицы $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес } i}^j\|_{S,S}$ по следующему правилу:

$$\begin{cases} \text{если } p_{\text{дес } i}^j \geq p_\varphi \Rightarrow \text{элемент графа считается выведенным из строя } k_{ij} = 0; \\ \text{если } p_{\text{дес } i}^j < p_\varphi \Rightarrow \text{элемент графа } k_{ij} \text{ находится в исправном состоянии.} \end{cases} \quad (9)$$

Учитывая, что процесс вывода из строя виртуальных каналов $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ носит вероятностный характер, то данную процедуру необходимо выполнить N_0 раз. После чего вычислить среднее значение сетевого ресурса сети связи:

$$\tilde{R}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} R_0^{(i)}}{N_0},$$

где

$R_0^{(i)}$ – сетевой ресурс сети связи в i -м испытании;

N_0 – количество испытаний и определяется точностью результата моделирования [3].

4. Оператором 03 вычисляется максимально возможное количество маршрутов на сети $G[A_S, M_S]$:

$$\Xi_{\text{max}} = \frac{\tilde{R}_0}{L_{\text{ср}}}.$$

5. Начиная с 04 оператора до 10 оператора (рисунок 4.14) выполняется процесс формирования статистических данных за N_1 испытаний. Каждое испытание состоит из следующих процедур.

6. Оператором 05 имитируется внешнее деструктивное воздействие на элементы сети связи. Для этого, используя алгоритм (9) выполняется вывод из строя элементов матрицы $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$.

7. Операторы 06 ÷ 09 (рисунок 8) выполняют на преобразованной матрице (по окончании процедуры воздействия внешних деструктурирующих факторов на элементы сети связи) N действий: поиск маршрутов; в случае нахождения маршрута осуществляется занятие соответствующих ВК; подсчет количества установленных маршрутов. Для этого случайным образом в соответствии с матрицей тяготений $\Pi_\varepsilon = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ производится выбор УИ и УП. Методом маршрутизации *ROUT* устанавливается соединение между УИ и УП. Если соединение не установлено, то выбирается новая пара УИ и УП и попытка установления повторяется. В случае установления соединения значение переменной Ξ увеличивается на единицу. Установленное соединение между УИ и УП остается занятым до конца испытания. То есть, соответствующие ВК в преобразованной матрице $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (по окончании процедуры воздействия внешних деструктивных факторов на элементы сети связи) считаются занятыми. По окончании действия операторов 06 ÷ 09 подсчитанное значение количества установленных соединений в данном испытании запоминается оператором 10.

8. Оператором 11 рассчитывается среднее значение установленных соединений за N_1 испытаний:

$$\bar{\Xi} = \frac{\sum_{I=1}^{N_0} \Xi(I)}{N_0}.$$

9. Оператором 12 вычисляется искомое значения (8).

Таким образом, если при моделировании анализируемые методы маршрутизации получили разные W , то предпочтительным считается тот, у которого коэффициент пропускной способности выше.

Результаты статистического моделирования маршрутизации на упрощенной имитационной модели сети связи.

На рис. 9 приведены результаты статистического моделирования процедур маршрутизации на упрощенной имитационной модели сети связи при следующих условиях:

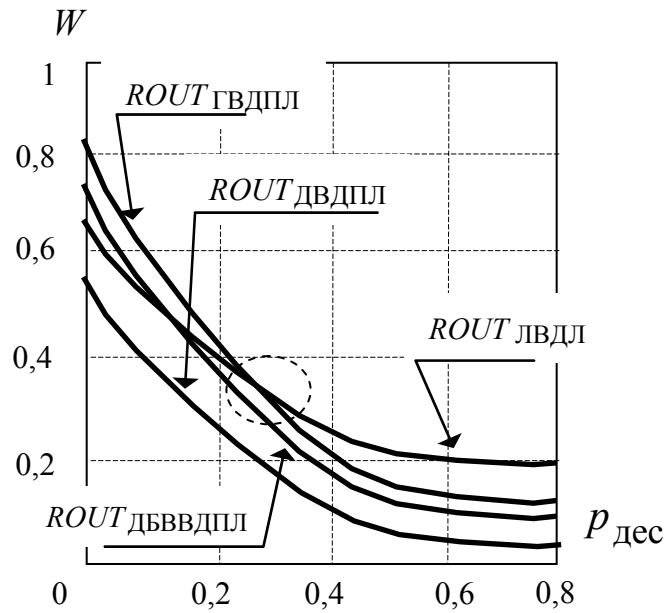


Рис. 9. Зависимость $W = f(P_{\text{дес}})$ для различных методов маршрутизации

- при определении плана распределения информации использовалась методика для однородной ячеистой сети связи большой размерности;
- максимальное количество УК по оси X $X_{\text{max}} = 10$;
- максимальное количество УК по оси Y $Y_{\text{max}} = 5$;
- количество УК в анализируемой сети связи $S = X_{\text{max}} \cdot Y_{\text{max}} = 50$;
- $k_{i,j} = 8; i, j = \overline{1, 50}$;
- $p_{\text{аан}} = p_{\text{аан}}^j; i, j = \overline{1, S}$, значение которой изменялось от 0 до 0,8 с шагом

$$\Delta p_{\text{аан}} = 0,2;$$

- равновероятный выбор УИ и УП, то есть значения элементов матрицы тяготений $\pi_{i,j} = \frac{1}{S^2}; i, j = \overline{1, S}$;

- $N_0 = 1000$, обеспечивающих относительную погрешность результатов статистического моделирования не более 8 процентов.

При выше перечисленных исходных данных анализировались следующие методы маршрутизации [1]:

- «Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;
- «Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;
- «Диффузный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;

– «Локально-лавинный с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим методом формирования плана распределения информации».

Анализ результатов моделирования методов маршрутизации показал, что при отсутствии или незначительном внешнем деструктивном воздействии (в условиях, при котором до 20 % сетевых ресурсов выходит из строя) целесообразно применять «Статистические» методы маршрутизации. В случае выхода из строя более 20 % сетевых ресурсов необходимо использовать «Лавинные» методы маршрутизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков С. Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи / С. Н. Новиков // Вестник СибГУТИ. – 2013. – № 1 (21). – С. 57–67.
2. Новиков С. Н. Математическая модель анализа многоадресной маршрутизации в мультисервисной сети связи / С. Н. Новиков, В. О. Жарикова // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 1(25), ч. 2. – С. 92–96.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1968. – 356 с.

© С. Н. Новиков, 2018

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Александр Сергеевич Гордеев

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, заместитель начальника отдела, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ассистент кафедры информационной безопасности, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@snga.ru

Алена Алексеевна Старикова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, магистрант, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Александра Михайловна Климова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, магистрант

Ключевые слова: автоматизированные системы, информационная безопасность, персональные данные, служебная информация ограниченного распространения.

В статье рассмотрены классификация автоматизированных систем и применение набора мер, подходящего данному классу в соответствии с информацией, которая обрабатывается в них, а именно информация с ограничительной пометкой «для служебного пользования», персональные данные. Также рассмотрены варианты защиты сегментов сайтов государственных органов – то есть системы общего пользования.

AUTOMATED SYSTEMS AND THEIR CLASSIFICATION IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Aleksandr S. Gordeev

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Deputy Head of Department, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Information Security, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@snga.ru

Alena A. Starikova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Graduate, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Aleksandra M. Klimova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Graduate

The article considers the classification of automated systems and application of measures suitable for this class in accordance with the information that is processed in them – information with a restrictive label "for official use", personal data. Also options are considered for protecting segments of websites of state bodies – public systems.

Key words: automated systems, information security, personal data, service information of limited distribution.

На сегодняшний день заметен рост объема информационных потоков и систем. Информация относится к любой сфере деятельности человека. Необходимо понимать, что этот объем информации нужно обрабатывать, имея определенные и специально разработанные под конкретные задачи информационные системы, это приводит к появлению новых видов автоматизированных систем (далее – АС). С появлением новых видов АС меняется и классификация этих систем. Понятие АС приведено в [1] – это информационная система, включая элементы, не связанные с информационной технологией, рассматриваемые с учетом условий ее эксплуатации.

Классификация АС определяется в зависимости от категории доступа к информации. В соответствии с федеральным законом [8] информация подразделяется на общедоступную информацию и информацию, доступ к которой ограничен федеральными законами (информация ограниченного доступа). К информации, доступ к которой ограничен федеральными законами, относится государственная тайна, документы с ограничительной пометкой «для служебного пользования», персональные данные (далее – ПДн), информация о деятельности государственных и муниципальных органов. Отдельно стоит отметить государственные информационные системы, так как взаимодействие с государством активно переводится в Интернет.

К служебной информации ограниченного распространения относится не-секретная информация, касающаяся деятельности организаций, ограничения на распространение которой диктуются служебной необходимостью [2]. Постановление Правительства РФ распространяется только на федеральные органы исполнительной власти, а также на подведомственные им предприятия, учреждения и организации. Потребность в создании АС, обрабатывающих документы «для служебного пользования», остается на высоком уровне.

Обеспечение защиты такой информации осуществляется согласно «Специальным требованиям и рекомендациям по технической защите конфиденциальной информации (СТР-К)» [3], а классификация осуществляется на основании

требований руководящего документа Гостехкомиссии России [4]. Всего предусмотрено 9 классов защищенности, и каждый класс характеризуется определенной минимальной совокупностью требований по защите. Классы объединены в три группы: третья группа включает АС, в которых работает один пользователь, допущенный ко всей информации АС, размещенной на носителях одного уровня конфиденциальности (содержит два класса – 3Б и 3А); вторая группа включает АС, в которых пользователи имеют одинаковые права доступа (полномочия) ко всей информации АС, обрабатываемой и (или) хранимой на носителях различного уровня конфиденциальности (содержит два класса – 2Б и 2А); первая группа включает многопользовательские АС, в которых одновременно обрабатывается и (или) хранится информация разных уровней конфиденциальности, и не все пользователи имеют право доступа ко всей информации (содержит пять классов – 1Д, 1Г, 1В, 1Б и 1А).

В соответствии с п. 5.2.3 [3] для рассматриваемых систем применяются следующие классы защищенности – 3Б, 2Б, 1Д и 1Г.

Для защиты информации с пометкой «для служебного пользования» применяется не только СТР-К, но также приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013г. №17. По решению обладателя информации (заказчика) или оператора Требования [10] могут применяться для защиты информации, содержащейся в негосударственных информационных системах.

В приказе ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 устанавливаются три класса защищенности информационной системы, определяющие уровни защищенности содержащейся в ней информации. Класс зависит от уровня значимости информации и от масштаба информационной системы.

Сферу, связанную с обработкой персональных данных, регулирует федеральный закон «О персональных данных» [5]. ПДн – это любые данные о человеке, по которым его можно идентифицировать. Данный закон установил, что информационная система персональных данных (далее – ИСПДн) – совокупность содержащихся в базах данных ПДн и обеспечивающих их обработку информационных технологий и технических средств. При обработке ПДн оператор берет на себя обязательства по защите этих данных и должен предпринимать необходимые правовые, организационные и технические меры. Для выполнения требований к защите ПДн необходимо определить уровни защищенности этих данных.

Для определения уровня защищенности ПДн необходимо руководствоваться постановлением Правительства РФ от 1 ноября 2012 г. № 1119 [6]. При обработке персональных данных в информационных системах устанавливаются 4 уровня защищенности персональных данных, определяющие требования по защите информации. Самый низкий уровень – четвертый, самый высокий – первый.

Для определения уровня защищенности ПДн необходимо отнести условия обработки данных к следующим критериям: тип актуальных угроз безопасности информации (первый, второй или третий) определяется, исходя из наличия недокументированных (недекларированных) возможностей в системном и (или)

прикладном программном обеспечении; характер обрабатываемых ПДн (специальные, биометрические, общедоступные и иные); количество субъектов, ПДн которых обрабатываются в системе [14].

Характеристики критериев приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии для определения уровня защищенности персональных данных

Категория ПДн	Условие	Угрозы 1 типа	Угрозы 2 типа	Угрозы 3 типа
специальные	более 100000, не сотрудники	1	1	2
	менее 100000, не сотрудники	1	2	3
	сотрудники	1	2	3
биометрические	сотрудники	1	2	3
общедоступные	более 100000 не сотрудники	2	2	4
	менее 100000, не сотрудники	2	3	4
иные	более 100000, не сотрудники	1	2	3
	менее 100000, не сотрудники	1	3	4
	сотрудники	1	3	4

После определения уровня защищенности ПДн в постановлении Правительства РФ от 1 ноября 2012 г. № 1119 [6] применяются требования к конкретному уровню защищенности ПДн.

Информация о деятельности государственных и муниципальных органов.

Для предоставления государственными органами и органами местного самоуправления информации о своей деятельности по запросам редакций средств массовой информации, в части, не урегулированной законодательством Российской Федерации о средствах массовой информации, установлено требование об обязательном предоставлении информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления. Информация, размещенная такими органами в информационно-телекоммуникационных сетях должна быть достоверна и целостна. Данное требование представлено в ФЗ-№149 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. [8,13].

Обеспечение доступа пользователей информацией к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления регулируется ФЗ-№8 «Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления» [7] от 9 февраля 2009 г.

Система общего пользования – это информационная система, участники электронного взаимодействия в которой составляют неопределенный круг лиц, и в использовании которой этим лицам не может быть отказано [8].

Также установлено, что данная информация размещается в сети Интернет, а следовательно появляется класс автоматизированных систем – системы общего пользования, обеспечивающих доступ к указанным информационным ресурсам. Требования по защите информации и классификацию таких систем устанавливает совместный приказ ФСТЭК России и ФСБ России [9]. Всего устанавливается два класса, при этом: к I классу относятся информационные системы общего пользования Правительства Российской Федерации и иные информационные системы общего пользования в случае, если нарушение целостности и доступности информации, содержащейся в них, может привести к возникновению угроз безопасности Российской Федерации; ко II классу относятся информационные системы общего пользования, не указанные выше [12].

В зависимости от класса информационной системы определены требования для защиты общедоступной информации, размещенной на сайтах Правительства Российской Федерации и федеральных органов исполнительной власти.

Государственные информационные системы.

К защите информации в государственных информационных системах устанавливаются требования к обеспечению защиты информации ограниченного доступа, не содержащей сведения, составляющие государственную тайну, от утечки по техническим каналам, несанкционированного доступа, специальных воздействий на такую информацию (носители информации) в целях ее добывания, уничтожения, искажения или блокирования доступа к ней [11]. Государственная информационная система – это федеральные информационные системы и региональные информационные системы, созданные на основании соответственно федеральных законов, законов субъектов Российской Федерации, на основании правовых актов государственных органов [8].

Повышенное внимание государственные информационные системы получили с момента вступления в силу приказа ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 [10], который и определил требования о защите информации.

Классификация информационной системы проводится в зависимости от значимости обрабатываемой в ней информации и масштаба информационной системы (федеральный, региональный, объектовый).

Устанавливаются четыре класса защищенности информационной системы, определяющие уровни защищенности содержащейся в ней информации. Самый низкий класс – четвертый, самый высокий – первый. Класс защищенности информационной системы определяется в соответствии с табл. 2 [10].

Как писалось выше, зачастую в государственных информационных системах обрабатывается информация с ограничительной пометкой «для служебного пользования», персональные данные, а также содержатся сегменты, в которых размещаются сайты государственных органов – то есть системы общего пользования. Определив класс защищенности информационной системы, необходимо применить набор мер, соответствующий данному классу.

Классы защищенности информационной системы

Уровень значимости информации	Масштаб информационной системы		
	Федеральный	Региональный	Объектовый
УЗ 1	K1	K1	K1
УЗ 2	K1	K2	K2
УЗ 3	K2	K3	K3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 19791-2008 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Оценка безопасности автоматизированных систем». Введен 18 декабря 2008 г.
2. Об утверждении Положения о порядке обращения со служебной информацией ограниченного распространения в федеральных органах исполнительной власти и уполномоченном органе управления использованием атомной энергии: постановление Правительства РФ от 3 ноября 1994 г. № 1233/ Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
3. Специальные требования и рекомендации по технической защите конфиденциальной информации (СТР-К): приказ Гостехкомиссии России от 30 августа 2002 г. № 282 / для служебного пользования.
4. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации: руководящий документ Гостехкомиссии России, утвержденный решением Председателя Гостехкомиссии от 30 марта 1992 г. / сайт ФСТЭК России [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.fstec.ru.
5. О персональных данных: федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
6. Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: постановление Правительства РФ от 1 ноября 2012 г. № 1119/ Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
7. Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления: федеральный закон от 9 февраля 2009 г. № 8-ФЗ / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
8. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
9. Об утверждении Требований о защите информации, содержащейся в информационных системах общего пользования: Приказ ФСБ России и ФСТЭК России от 31 августа 2010 г. № 416/489/ Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
10. Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах: Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
11. Курносков К.В., Селифанов В.В. Требования к системе защиты информации для виртуальной инфраструктуры // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). С. 16-24.

12. Пестунова Т.М., Селифанов В.В., Слонкина И.С., Юракова Я.В. Автоматизированная технология сопоставления угроз и уязвимостей безопасности информации в информационных системах // В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности, труды Межвузовской научно-практической конференции. 2017. С. 156-160.

13. Селифанов В.А., Селифанов В.В. Способ моделирования процессов управления техническими средствами и система для его осуществления // Патент на изобретение RUS 2331096 08.02.2007.

14. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, Д. Г. Макарова, А. А. Старикова, А. М. Климова, 2018

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Александр Сергеевич Гордеев

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, заместитель начальника отдела, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ассистент кафедры информационной безопасности, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

Алена Алексеевна Старикова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, магистрант, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

Ключевые слова: государственная информационная система, информационная безопасность, защита информации, утечка информации.

В статье рассмотрена актуальная система защиты информации в государственных информационных системах, от утечки по техническим каналам, несанкционированного доступа, специальных воздействий на такую информацию (носители информации) в целях ее добывания, уничтожения, искажения или блокирования доступа к ней.

INFORMATION PROTECTION SYSTEM OF THE STATE INFORMATION SYSTEM

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Aleksandr S. Gordeev

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Deputy Head of Department, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Information Security, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

Alena A. Starikova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Graduate, e-mail: starikova.alena.123@gmail.com

The article considers the current system of protecting information contained in public information systems, from leaks through technical channels, unauthorized access, special effects on such information (information carriers) for the purpose of extracting, destroying, distorting or blocking access.

Key words: state information system, information security, information leakage.

Информация, содержащиеся в государственных информационных системах (далее – ГИС), должна быть защищена от утечки по техническим каналам, несанкционированного доступа, специальных воздействий на такую информацию (носители информации) в целях ее добывания, уничтожения, искажения или блокирования доступа к ней.

Для защиты информации, содержащейся в ГИС, необходимо реализовать следующие задачи:

- нейтрализовать все актуальные угрозы безопасности;
- применить средства защиты информации, соответствующие предъявляемым к ним требованиям;
- не оказывать отрицательного влияния на штатный режим функционирования.

Для реализации последней задачи существующие требования [1] предписывают три этапа:

- предварительные испытания;
- опытная эксплуатация;
- приемочные испытания.

При принятии решения о необходимости защиты информации, содержащейся в информационной системе, порядок действий и их объем определяется непосредственно оператором в соответствии с п. 14.1 приказа ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 [1].

Для определения необходимых работ, оператор информационной системы, исходя из сложности системы, должен определить последовательность действий при проведении испытаний, а также перечень, и содержание разрабатываемых документов с учетом следующих стандартов:

- ГОСТ 34.601-90 [2];
- ГОСТ 34.603 [3];
- ГОСТ Р 51583-2014 [4].

Испытания проходят с учетом этих стандартов, но не в полном соответствии с ними, а в дополнение к существующим требованиям. Выполнение всех требований стандарта может привести к негативным последствиям – от срыва сроков до невозможности реализации контракта. Рассмотрим необходимые и достаточные требования для каждого этапа.

В соответствии с ГОСТ 34.603 предварительные испытания автоматизированной системы могут быть автономными и (или) комплексными.

Предварительные испытания системы защиты информации информационной системы проводятся с учетом ГОСТ 34.603 [3] и включают проверку рабо-

тоспособности системы защиты информации информационной системы, а также принятие решения о возможности опытной эксплуатации системы защиты информации информационной системы [7].

В программе автономных испытаний указывают:

- перечень функций, подлежащих испытаниям;
- описание взаимосвязей объекта испытаний с другими частями автоматизированной системы;
- условия, порядок и методы проведения испытаний и обработки результатов;
- критерии приемки частей по результатам испытаний.

Подготовленные и согласованные тесты (контрольные примеры) на этапе автономных испытаний должны обеспечить:

- полную проверку функций и процедур по перечню, согласованному с заказчиком;
- необходимую точность вычислений, установленную в техническом задании (частном техническом задании);
- проверку основных временных характеристик функционирования программных средств (в тех случаях, когда это является существенным);
- проверку надежности и устойчивости функционирования программных и технических средств.

В случае если проведенные автономные испытания будут признаны недостаточными, либо будет выявлено нарушение требований регламентирующих документов по составу или содержанию документации, указанная часть автоматизированной системы может быть возвращена на доработку, и назначен новый срок испытаний.

Документация получается объемная и не всегда необходимая, например, если реализуемая ГИС состоит из одного автоматизированного рабочего места. Минимум же документов установлен постановлением Правительства РФ от 6 июля 2015 г. № 676 [5] и он состоит из:

- программы и методики предварительных испытаний;
- протокола предварительных испытаний;
- акта о приемке системы в опытную эксплуатацию.

Стоит отметить, что ГОСТ 51583 уточняет работы на этапе «Проведение предварительных испытаний» и устанавливает проведение следующих работ:

- испытание системы защиты информации (ЗИ) на работоспособность и соответствие техническому заданию в соответствии с программой и методикой предварительных испытаний;
- устранение недостатков, выявленных в процессе испытаний, и внесение изменений в документацию на систему ЗИ, создаваемой (модернизируемой) автоматизированной системы ЗИ, в том числе эксплуатационную, в соответствии с протоколом испытаний;
- принятие решения о возможности опытной эксплуатации системы ЗИ автоматизированной системы ЗИ.

Опытная эксплуатация системы защиты информации информационной системы проводится с учетом ГОСТ 34.603 [4] и включает проверку функционирования системы защиты информации информационной системы, в том числе реализованных мер защиты информации, а также готовность пользователей и администраторов к эксплуатации системы защиты информации информационной системы [1].

На этом этапе ГОСТ 34.603 [3] практически идентичен постановлению Правительства от 6 июля 2015 г. № 676 [5] за исключением того, что в стандарте жестко закреплены требования к содержанию документов, и добавлена обязанность ввести журнал опытной эксплуатации.

Таким образом, обязательны к оформлению следующие документы [6]: программа, методика и акт о завершении опытной эксплуатации.

Так же необходимо подтвердить квалификацию пользователей информационной системы – это могут быть как зачетные ведомости, так и сертификаты, свидетельства об обучении, повышении квалификации или переподготовке. Жесткие требования здесь не установлены, однако, оператору ГИС необходимо помнить, что обязанность по доказательству проведения этого этапа будет лежать на нем, и действовать, исходя из этого.

Приемочные испытания системы защиты информации информационной системы проводятся с учетом ГОСТ 34.603 [2] и включают проверку выполнения требований к системе защиты информации информационной системы в соответствии с техническим заданием на создание информационной системы и (или) техническим заданием (частным техническим заданием) на создание системы защиты информации информационной системы.

Проверку полноты и качества выполнения функций автоматизированной системы рекомендуется проводить в два этапа. На первом этапе проводят испытания отдельных функций (задач, комплексов задач). При этом проверяют выполнение требований технического задания (частного технического задания) к функциям (задачам, комплексам задач). На втором этапе проводят проверку взаимодействия задач в системе и выполнение требований к системе в целом [2].

Действующие нормативные правовые акты Российской Федерации предоставляют оператору ГИС широкие возможности по оценке влияния системы защиты информации на качество и надежность работы системы в целом.

Таким образом, можно сказать, что подготовка и проведение испытаний системы защиты информационной системы является сложным и нелинейным процессом. Этапы, а также состав и содержание проводимых работ определяются с учетом ГОСТ 34.603 и ГОСТ 51583, квалификации интегратора (исполнителя) и оператора информационной системы, и в соответствии с требованиями нормативных правовых актов обязательных для конкретных объектов защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О требованиях к порядку создания, развития, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации государственных информационных систем и дальнейшего хранения содержащейся в их базах данных информации: постановление Правительства РФ от 6 июля

2015 г. № 676 / Правовой сервер «Консультант Плюс» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.consultant.ru.

2. Голубева Е.В., Коротеева А.Д., Евстратенко Е.С. Центр реагирования и мониторинга инцидентов информационной безопасности (SOC) // В сборнике: Наука. Технологии. Инновации. - Сборник научных трудов: в 9 частях. 2016. С. 13-14.

3. Евстратенко Е.С. Особенности управления проектами в сфере информационной безопасности // В сборнике: Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований, сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях. - 2017. С. 18–19.

4. Курносов К.В., Селифанов В.В. Требования к системе защиты информации для виртуальной инфраструктуры // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). С. 16-24.

5. Пестунова Т.М., Селифанов В.В., Слонкина И.С., Юракова Я.В. Автоматизированная технология сопоставления угроз и уязвимостей безопасности информации в информационных системах // В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности, труды Межвузовской научно-практической конференции. - 2017. С. 156-160.

6. Селифанов В.А., Селифанов В.В. Способ моделирования процессов управления техническими средствами и система для его осуществления // Патент на изобретение RUS 2331096 08.02.2007.

7. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, Д. Г. Макарова, А. А. Старикова, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖСЕТЕВЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

Владимир Геннадьевич Мельников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (952)938-59-98, e-mail: ranebull@yandex.ru

Анастасия Евгеньевна Гребень

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (999)463-88-33, e-mail: knockdown09@gmail.com

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры информационной безопасности, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

В работе рассматриваются различные межсетевые экраны для веб-приложений с открытым исходным кодом. Дано определение межсетевого экрана для веб-приложений. Описаны функции и принципы работы. Выделены наиболее популярные программные решения. Создана сравнительная таблица популярных программных решений. Сделаны выводы о том, какой межсетевой экран для веб-приложений более удобный в администрировании и эксплуатации.

Ключевые слова: межсетевой экран для веб-приложений, функции и принцип работы, открытый исходный код.

INVESTIGATION OF OPEN SOURCE FIREWALLS FOR WEB APPLICATIONS

Vladimir G. Melnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (952)938-59-98, e-mail: ranebull@yandex.ru

Anastasia E. Greben

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (999)463-88-33, e-mail: knockdown09@gmail.com

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Information Security, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

The paper discusses various open source firewalls for web applications. The definition of a firewall for web applications is given, functions and operating principles are described. The most popular software solutions are highlighted. A comparative table popular software solutions is offered. The conclusions about which firewall for web applications is more convenient in administration and operation are made.

Key words: firewalls for web applications, functions and principles, open source.

Целью данной работы было выявить и выбрать наиболее простое и удобное решение среди небольшого множества открытых программ.

Защита веб-приложений становится сложной задачей из-за их возрастающей интерактивности, усложняющегося поведения и поддержки новых протоколов. В 2015 году аналитическое агентство Gartner назвало компанию Positive Technologies одним из визионеров в рейтинге «магический квадрант для экранов защиты веб-приложений» (Magic Quadrant for Web Application Firewalls – WAFs) [1]. Такой рейтинг составляется только с прошлого года, поскольку речь идёт о новом типе средств защиты. WAF часто путают с межсетевыми экранами, системами обнаружения и предотвращения вторжений (IPS / IDS). Они умеют делать всё тоже самое, но список их возможностей гораздо шире, а сама логика работы более интеллектуальная.

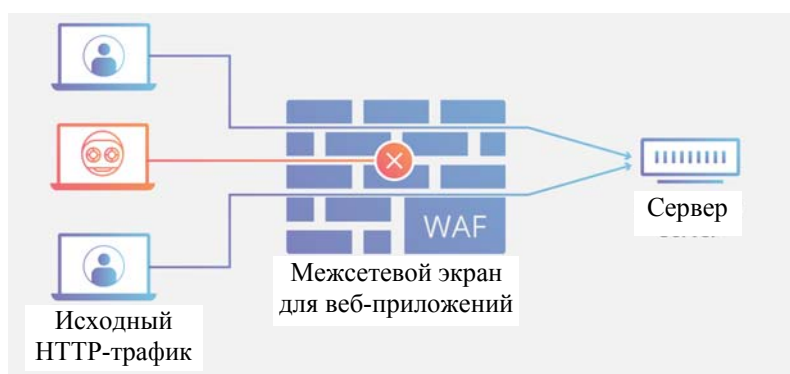
Для защиты различных сервисов используются межсетевые экраны, системы обнаружения вторжения, антивирусное ПО и системы управления угрозами. Для веб-приложений существует своя специфика, и она предполагает, что за один сеанс работы пользователя с веб-сервером может осуществляться большое количество различных TCP-соединений, которые открываются с различных адресов, но имеют один (возможно динамический) идентификатор сессии. Это приводит к тому, что для эффективной защиты веб-трафика необходима платформа на основе полнофункционального реверс-прокси-сервера.

Для предотвращения таких угроз используется Web Application Firewall, защитный экран для приложений, осуществляющих передачу данных через HTTP и HTTPS. Его предназначение – решение проблем, связанных с угрозами конфиденциальности, целостности и доступности данных сайтов, которые можно получить, произведя эксплуатацию уязвимости, либо иным способом. В любом коде серьезного приложения возможны ошибки. Злоумышленники используют их, чтобы получить несанкционированный доступ к данным владельцев и пользователей сайтов. Необходимо не только своевременно обнаружить и блокировать атаки на приложения, но и устранить возможность эксплуатации уязвимостей [2].

Но разница в технологической платформе – не единственное, что отличает защиту веб-приложений.

Если говорить совсем просто, то веб-приложения отличаются от обычных приложений двумя вещами: огромным разнообразием и значительной интерактивностью. Это создаёт целый ряд новых угроз, с которыми традиционные межсетевые экраны не справляются: по оценкам Positive Technologies, в 2014 году 60 % атак на корпоративные сети осуществлялись через веб-приложения, невзирая на наличие традиционных защитных средств [1].

Именно здесь вступает в дело защитный экран для приложений, осуществляющих передачу данных через HTTP и HTTPS (рисунок).



Принцип работы межсетевого экрана для веб-приложений

На данный момент наиболее популярными решениями с открытым исходным кодом являются следующие межсетевые экраны для веб-приложений:

- ModSecurity;
- IronBee;
- NAXSI;
- Shadow Daemon.

На основе изученной документации была составлена сравнительная таблица (таблица).

Сравнительная таблица программных решений

Параметр/WAF	ModSecurity	IronBee	NAXSI	Shadow Daemon
Дата последнего изменения	28.02.2018	09.12.2015	20.03.2018	06.03.2018
Поддержка веб-серверов	Apache, IIS, Nginx	Apache, Nginx	Nginx	Apache, Nginx
Поддержка ОС	Debian, Centos, Ubuntu, Fedora,	OS X, Centos, Ubuntu, Fedora,	Debian, Centos, Ubuntu, Fedora,	Debian, Centos, Ubuntu, Fedora,
Вариант установки	Исходный код	Исходный код	Исходный код	Исходный код, Docker-контейнер
Защита от атак	XSS, SQL, Trojan, Information leakage, Common web attacks, Malicious activity	LFI, RFI, RCE, XSS, SQL	XSS,SQL	SQL, XML, Code Injection, Command Injection, XSS, Backdoor access, LFI, RFI

Как видно из таблицы, наиболее предпочтительным вариантом в плане установки, администрирования и эксплуатации является Shadow Daemon [3].

Решение распространяется в специальном контейнере, которое не оказывает никакого влияния на хостовую систему, где будет запущен этот контейнер. Также такой вариант распространения снимает задачу компилировать программу из исходных кодов при выходе новой версии.

В заключение можно сказать, что помимо небольшого числа межсетевых экранов для веб-приложений с открытым исходным кодом имеется большое число проприетарных решений с закрытым исходным кодом, которые отличаются своими наработками, особенностями защиты, моделью распространения программного решения и так далее [4, 5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. WAF как новая парадигма защиты веб-приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerra.ru/180630/waf-web-application-firewall/>.
2. Актуальные киберугрозы, IV квартал 2017 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Cybersecurity-threatscape-2017-Q4-rus.pdf>.
3. Защита сайта с помощью WAF Shadow Daemon. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://antiddos.biz/zashhita-sajta-pomoshhyu-waf-shadow-daemon/>.
4. Мельников В. Г., Трифанов А. В. Методы обхода межсетевых экранов для приложений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С.113–117.
5. Звягинцева П.А., Крыжановская О.А. Оценка эффективности средств защиты информации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Национ. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2017» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 199–201.

© В. Г. Мельников, А. Е. Гребень, Д. Г. Макарова, 2018

СОЗДАНИЕ ТРЕХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Анастасия Сергеевна Голдобина

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, студент; ООО «Акстел-безопасность», 630110, Россия, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей, 39, Б, аналитик по информационной безопасности, тел. (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры информационной безопасности, тел. (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

С появлением различных видов государственных информационных систем возникла проблема обеспечения защиты информации в них. Построение и эксплуатация систем защиты информации таких объектов, как государственная информационная система, нуждаются в предварительном исследовании с использованием имитационного моделирования.

Ключевые слова: алгоритм, управление системой защиты информации, трёхуровневая модель, государственная информационная система.

CREATION OF A THREE-LEVEL MODEL FOR MANAGING INFORMATION SECURITY IN STATE INFORMATION SYSTEMS

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Anastasia S. Goldobina

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Student; «Axtel-security» Ltd., 39, B, Aviastritelei St., Novosibirsk, 630110, Russia, Analyst for Information Security, phone: (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Polina A. Zvyagintseva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Information Security, phone: (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

The modeling principle consists in constructing a model of an intrusion detection system based on a three-level algorithm. The creation of a model of information security subsystem is necessary in order to further design the information security system at a real facility to avoid errors while ensuring information security of state information systems.

Key words: algorithm, management of information protection system, three-level model, state information system.

Принцип моделирования состоит в построении модели системы обнаружения вторжений на основе трёхуровневого алгоритма. Создание модели подсистемы защиты информации необходимо для того, чтобы дальнейшее проектирование системы защиты информации на реальном объекте позволяло избежать ошибок при обеспечении информационной безопасности (ИБ) государственных информационных систем.

Под алгоритмом (способом, процессом) управления будем понимать процесс осуществления действий по управлению и характеризовать его наличием действий или совокупностью действий, порядком выполнения действий во времени (последовательно, параллельно, в различных сочетаниях и т.д.), условиями и режимами осуществления действий, используемыми устройствами и оборудованием.

Построение подсистемы защиты информации на основе трёхуровневого алгоритма необходимо для автоматического выявления инцидентов на всех уровнях системы и проведения оценки эффективности.

Существующие способы управления системой имеют некоторые недостатки, такие как:

- обеспечение выполнения только части функций управления;
- отсутствие функций управления на пункте управления третьего уровня;
- отсутствие доопределения данных об объектах информационной системы на первом и втором уровнях.

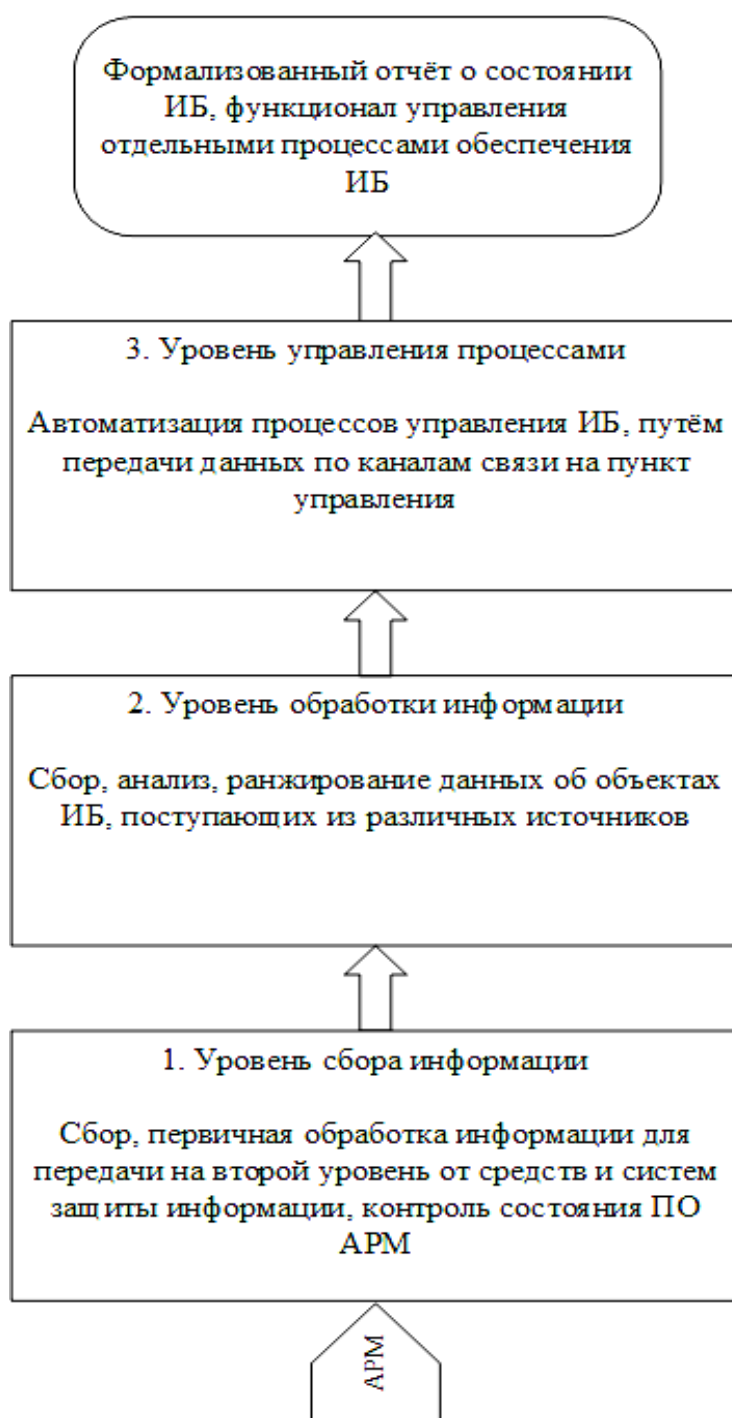
Подобные недостатки влияют на функционал системы управления, поэтому было принято строить систему на основе трёхуровневого алгоритма.

Создание подсистемы осуществляется с использованием дискретно-событийного моделирования, в основу которого входит возможность моделировать атаки на систему и регистрацию событий безопасности.

Задачами построения трёхуровневого алгоритма являются расширение функциональных возможностей за счёт выполнения функций управления на пункте управления третьего уровня и доопределение данных об объектах воздействия на пунктах управления первого и второго уровней путем сбора первичных характеристик.

Алгоритм состоит из набора команд, формирующих на третьем уровне собранные данные о технических средствах, объектах воздействия и условиях обстановки. Далее данные передаются на пункт управления на втором уровне, где формируются в базу данных технических средств, объектов воздействия и условий обстановки и передаются обратно, на третий уровень пункта управления. На третьем уровне происходит моделирование анализа данных, проведение оценки возможностей групп, распределение ранжированных объектов воздействия и заданий по безопасности для групп технических средств. Собранная информация формируется в базу данных, передается на второй уровень, где происходит проверка проанализированных данных на полноту и, при необхо-

димости, их доопределение с последующим распределением между двумя пунктами управления. Одновременно с доопределением происходит формирование команд с их последующей передачей на первый уровень. На этом уровне происходит доопределение данных, не попавших в предыдущие два уровня. На выходе алгоритм моделирует подсистемы защиты информации и формирует цели для штатных технических средств [1]. Принцип работы алгоритма представлен на рисунке.



Принцип работы алгоритма

Подобную систему управления возможно построить двумя способами:

- решение аналитической задачи;
- моделирование AnyLogic.

Для приёма и обработки событий безопасности в защищаемой государственной информационной системе необходимо моделирование системы управления с использованием программного обеспечения AnyLogic для более точных расчётов.

Система управления осуществляет процесс контроля, определяемый алгоритмом. Будем рассматривать процесс управления техническими средствами различного назначения, например, охраны, связи, разведки, защиты информации, радиоэлектронной борьбы, радиолокации и др.

Для построения имитационной защиты необходимо формализовать задачи под объект. Формализация задачи подразумевает описание процесса управления системой защиты информации с учётом приказа ФСТЭК России №17 от 11 февраля 2013г.

- Третьим уровнем алгоритма является отдел мониторинга и безопасности;
- вторым уровнем алгоритма являются сервера, на которых собранные данные автоматизируются;
- первый уровень представляет собой автоматизированные рабочие места.

Формальная запись действия ${}^jD_i$ алгоритма означает i -е действие на j -м уровне моделирования. Алгоритм системы управления выглядит следующим образом:

${}^3D_1$ – моделирование формирования в отдел мониторинга и безопасности команд на сбор данных о своих группах ТС, объектов воздействия и условия обстановки;

${}^3D_2$ – моделирование передачи команд на сбор данных по линиям связи на сервер;

${}^2D_3$ – моделирование формирования на сервере базы данных ТС своей группы, объектов воздействия и условий обстановки;

${}^2D_4$ – моделирование передачи в отдел мониторинга и безопасности данных о ТС, объектах воздействия и условиях обстановки;

${}^3D_5$ – моделирование сбора в отдел мониторинга и безопасности данных о состоянии своих групп ТС, об объектах воздействия и условиях обстановки;

${}^3D_6$ – моделирование формирования в отдел мониторинга и безопасности базы данных своих групп ТС, объектов воздействия и условий обстановки;

${}^3D_7$ – моделирование проанализированных данных о своих группах ТС, об объектах воздействия и условиях обстановки на полноту в отделе мониторинга и безопасности;

${}^3D_8$ – моделирование данных о ранжируемых объектах воздействия в отдел мониторинга и безопасности;

${}^3D_9$ – моделирование оценки возможностей своих групп ТС по осуществлению воздействия на объекты государственной информационной системы;

$^3D_{10}$ – моделирование распределения проранжированных объектов воздействия между группами ТС в отдел мониторинга и безопасности;

$^3D_{11}$ – моделирование формирования задания группам ТС в отдел мониторинга и безопасности для осуществления воздействия на выбранные объекты;

$^3D_{12}$ – моделирование передачи на пункты управления сервера данных об объектах, назначенных для осуществления воздействия;

$^2D_{13}$ – моделирование приема на пунктах управления сервера данных об объектах, назначенных для осуществления воздействия;

$^2D_{14}$ – моделирование проанализированных данных о ТС своей группы, объектах воздействия и условиях обстановки на полноту;

$^2D_{15}$ – моделирование на сервер при необходимости доопределения данных об объектах воздействия, включающее следующие действия:

$^2D_{16}$ – моделирование распределения объектов воздействия для осуществления доопределения данных между пунктом управления сервера и пунктами управления автоматизированных рабочих мест, входящими в состав одной группы;

$^2D_{17}$ – при этом на автоматизированных рабочих местах проводят моделирование распределения каждого объекта воздействия для доопределения данных о нём на два пункта управления, на одном из которых будет осуществляться непосредственное измерение первичных характеристик, а на другом – удаленное измерение первичных характеристик;

$^2D_{18}$ – моделирование доопределения на пункте управления сервера данных о выделенной части объектов воздействия, которое включает следующие действия:

$^2D_{19}$ – моделирование на сервер определения первичных характеристик;

$^2D_{20}$ – моделирование на сервер измерения первичных характеристик;

$^2D_{21}$ – моделирование на сервер передачи значений первичных характеристик, предназначенных для одного или нескольких других пунктов управления одной группы в качестве удаленно измеренных, на эти пункты управления;

$^2D_{22}$ – моделирование на сервер приема удаленно измеренных на другом пункте управления значений первичных характеристик объектов воздействия;

$^2D_{23}$ – моделирование на сервер вычисления вторичных характеристик;

$^2D_{24}$ – моделирование на сервер селекции объектов по характеристикам;

$^2D_{25}$ – одновременно с моделированием доопределения на пунктах управления сервера данных о выделенной части объектов воздействия происходит моделирование формирования команды на доопределение данных о своих технических средствах, объектах воздействия и условиях обстановки;

$^2D_{26}$ – моделирование на сервер передачи команды на доопределение данных по линиям связи на пункты управления автоматизированных рабочих мест, входящие в состав одной группы;

$^1D_{27}$ – моделирование формирования на пунктах управления автоматизированных рабочих мест базы данных своего технического средства, объектов воздействия и условий обстановки;

¹D₂₈ – моделирование доопределения данных об объектах воздействия в автоматизированных рабочих местах, которое включает следующие действия:

¹D₂₉ – моделирование определения первичных характеристик автоматизированных рабочих мест;

¹D₃₀ – моделирование измерения первичных характеристик автоматизированных рабочих мест;

¹D₃₁ – моделирование передачи значений первичных характеристик, предназначенных для одного или нескольких других пунктов управления одной группы в качестве удалённо измеренных, на эти пункты управления;

¹D₃₂ – моделирование приёма удалённо измеренных на другом пункте управления значений первичных характеристик своих объектов воздействия;

¹D₃₃ – моделирование вычисления вторичных характеристик автоматизированных рабочих мест;

¹D₃₄ – моделирование селекции объектов по характеристикам автоматизированных рабочих мест;

¹D₃₅ – моделирование передачи на ПУ сервера данных о своем техническом средстве, объектах воздействия и условиях обстановки;

²D₃₆ – моделирование сбора на ПУ сервера доопределенных данных о состоянии технических средств своей группы, объектах воздействия и условиях обстановки;

²D₃₇ – моделирование уточнения базы данных ТС своей группы, объектов воздействия и условий обстановки.

²D₃₈ – моделирование идентификации объектов воздействия на сервер;

²D₃₉ – моделирование классификации объектов воздействия на сервер;

²D₄₀ – моделирование определения приоритетов объектов воздействия;

²D₄₁ – моделирование формирования списка объектов воздействия в соответствии с полученными значениями их приоритетов;

²D₄₂ – моделирование оценки эффективности осуществления воздействия на внесенные в список приоритетных объектов воздействия штатными ТС;

²D₄₃ – моделирование формирования случайным образом списка ТС, значения эффективности которых оказались достаточными для осуществления воздействия на объекты из сформированного списка;

²D₄₄ – моделирование распределения объектов для осуществления воздействия между ТС путем последовательного попарного соотнесения объектов воздействия и ТС из соответствующих сформированных списков;

²D₄₅ – моделирование формирования целеуказания штатным ТС для осуществления воздействия на выбранные объекты;

²D₄₆ – моделирование формирования команд управления в виде управляющих сигналов;

²D₄₇ – моделирование передачи команд управления техническим средствам;

²D₄₈ – моделирование канала связи.

Для создания модели системы управления защитой информации необходимы функции дискретно-событийного вида программ, т.к. эти инструменты

дают возможность моделировать потоки объектов, создавая анимацию, которая позволяет пользователю выполнять наблюдение за движением в системе потоковых объектов.

Система управления решает задачи управления, поступающие от вышестоящего пункта управления с интервалом 30 мин.

Каждая задача управления характеризуется количеством объектов воздействия, по каждому из которых должна быть собрана (доопределена) характеризующая их информация, принято решение на осуществление воздействия, произведено распределение этих объектов между подчиненными элементами, сформирована команда на осуществление воздействия и доведена до подчиненных.

Необходимо построить имитационную модель процессов управления для определения эффективности управления, под которой будем понимать вероятность своевременного принятия и реализации правильного решения, а также некоторые частные характеристики процесса управления.

Система управления представляет собой однофазную систему массового обслуживания разомкнутого типа с неограниченной входной ёмкостью, то есть без отказов в обслуживании, с ограничением по времени пребывания заявок в системе, определяемым критическим временем длительности цикла управления $t_{кр}=10$ мин и абсолютной надёжностью.

Благодаря моделированию системы управления можно оценить эффективность ряда процессов функционирования системы защиты информации и проверить надёжность системы защиты в данной вариации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селифанов В.А Способ трёхуровневого управления техническими средствами и система управления для его осуществления // Патент № 2451965, Классы МПК G05B15/00; заявл. 13.04.2011; опубл. 27.05.2012.
2. Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований по защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах».

REFERENCES

1. Selifanov, V. A Method of three-level management of technical means and control system for its implementation / / Patent № 2451965, classes IPC G05B15/ 00; declared. 13.04.2011; publ. 27.05.2012 [in Russian].
2. The order of FSTEC of February 11, 2013 N 17 «About the statement of requirements for protection of the information which is not the state secret containing in the state information systems» [in Russian].

© В. В. Селифанов, А. С. Голдобина, П. А. Звягинцева, 2018

СОЗДАНИЕ АДАПТИВНОЙ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Юлия Алексеевна Исаева

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, студентка, тел. (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.JA@hotmail.com

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры информационной безопасности, тел. (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

Развитие автоматизированных систем управления технологическими процессами требует обновлений правил управления их инфраструктурой, в том числе системой защиты информации. Для корректной работы предприятия требуется моделирование процесса управления системой защиты. Исходя из основных целей системы, построена адаптивная двухуровневая имитационная модель процессов управления системой защитой информации для определения ее эффективности.

Ключевые слова: управление система защиты информации, адаптивная двухуровневая модель, автоматизированная система управления технологическим процессом.

DEVELOPMENT OF TWO-LEVEL ADAPTIVE PROCESS MANAGEMENT MODEL OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Yulia A. Isaeva

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Student, phone: (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.JA@hotmail.com

Polina A. Zvyagintseva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Information Security, phone: (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

The development of automated process control systems requires updating the rules for managing their infrastructure, including the information security system. For proper work of the enterprise, modeling of process of management of protection system is required. Based on the main ob-

jectives of the system, an adaptive two-level simulation model of information security system management processes is constructed to determine its effectiveness.

Key words: management system, information security, adaptive two-level model, automated control system of technological process.

В связи с развитием автоматизированных систем управления технологическим процессом их системы защиты информации развиваются и приобретают новые свойства, инфраструктура системы меняется, и поэтому требуются обновленные правила работы и реагирования системы защиты информации.

Для наиболее эффективной работы предприятия, необходимо обеспечить процесс управления системой защиты информации, внедренной на предприятии. Чтобы иметь возможность принимать различные решения, в зависимости от ситуации, происходящей в системе.

Для полноты представления работы инфраструктуры предприятия в тех или иных ситуациях, с различными аргументами, необходимо моделировать процессы управления системой защиты информации, так как они являются одной из приоритетных задач при эксплуатации системы защиты.

Основное назначение процессов управления – это своевременная выработка и реализация управляющего воздействия на управляемый объект (средства защиты информации, персонал, операционные системы, программное обеспечение и др.). Показателем эффективности является вероятность своевременного принятия и реализации правильного решения.

Моделирование процессов управления может быть использовано как для принятия некоторых решений, так и для расширения функциональных возможностей системы управления с различным назначением принятых решений.

Также, моделирование процессов помогает управлять инцидентами и реагировать на чрезвычайные ситуации, возникающие при работе системы на предприятии. Таким образом, созданная модель имитирует процесс управления системой защиты информации на предприятии.

Важным применением такой имитационной модели является возможность предварительной оценки операций инфраструктур предприятия. Это позволит заранее увидеть и предотвратить нежелательные действия или последствия работы системы с неверными входными данными. А также позволит избежать значимых экономических потерь.

Имитационная модель строится на основе алгоритма, который задает некоторые действия самой системы защиты, при тех или иных обстоятельствах, в зависимости от действий самой системы защиты и необходимости определенных решений.

В соответствии со свойством атрибутов безопасности автоматизированных систем управления технологическим процессом меняться, имитационная модель процессов управления должна иметь адаптационные свойства, которые обеспечат приспособление моделируемой системы к некоторым новым свойствам. Что позволит системе, не прерывая процесса функционирования,

адаптировать принимаемые решения для дальнейшей работы системы защиты информации.

В соответствии с приказом ФСТЭК России № 31 от 14 марта 2014 г., автоматизированные системы управления технологическими процессами имеют трехуровневую структуру, включающую в себя уровень операторского (диспетчерского) управления, уровень автоматического управления и уровень ввода (вывода) данных исполнительных устройств [2].

Исходя из анализа примерной структуры объекта исследования и учитывая необходимость минимизации времени реакции системы управления, на изменение принятия решения, целесообразно использовать двухуровневую структуру для построения адаптивной имитационной модели, исключая нижний уровень ввода (вывода) данных, что с точки зрения управления процессами безопасности увеличит эффективность работы модели и физической системы управления.

Сама двухуровневая адаптивная имитационная модель представляет собой однофазную систему массового обслуживания разомкнутого типа с неограниченной входной емкостью, то есть без отказов в обслуживании, с ограничением по времени пребывания заявок в системе, определяемым критическим временем длительности цикла управления и абсолютной надежностью.

Алгоритм, вложенный в основу моделирования, заключается в выполнении на пункте управления второго уровня таких функций управления, как сбор, обработка, анализ, адаптивный выбор порядка доопределения данных и оценки эффективности воздействия, доопределение данных об объектах воздействия, оценка возможностей своей группы технических средств (ТС) и принятие решения на осуществление воздействия, а на пункте управления первого уровня – функций доопределения данных об объектах воздействия и оценки эффективности воздействия всех своих ТС на все объекты воздействия [1].

Формальная запись действий ${}^iD_j$ алгоритма управления означает i -ое действие на j -ом уровне управления.

Если рассматривать алгоритм моделирования процессов адаптивного двухуровневого управления техническими средствами, он будет иметь следующий вид:

${}^2D_1$ – моделирование формирования на пункте управления (ПУ) второго уровня базы данных технических средств;

${}^2D_2$ – моделирование анализа данных на полноту;

${}^2D_3$ – моделирование выбора порядка доопределения данных, включающих в себя следующие действия:

${}^2D_4$ – моделирование выбора одной из моделей ПУ второго или первого уровня, с помощью которой будут моделировать доопределение данных обо всех объектах подавления,

${}^2D_5$ – или моделирование деления всех объектов подавления на произвольные группы или по количеству моделей ПУ первого уровня, или по количеству моделей и ПУ первого уровня и ПУ второго уровня,

${}^2D_6$ – моделирование назначения объектов подавления из расчета одна группа объектов на модель одного ПУ,

${}^2D_7$ – или моделирование деления всех объектов подавления на произвольные группы или по количеству моделей ПУ первого уровня, или по количеству моделей и ПУ первого уровня и ПУ второго уровня

${}^2D_8$ – моделирование назначения объектов подавления из расчета одна группа объектов как минимум на модели двух ПУ,

${}^2D_9$ – или каждый объект подавления для моделирования доопределения данных о нем назначают на модель одного ПУ, наиболее подходящих для данного объекта,

${}^2D_{10}$ – или каждый объект подавления для моделирования доопределения данных о нем назначают как минимум на модели двух ПУ, наиболее подходящие для данного объекта,

${}^2D_{11}$ – или все объекты подавления назначают на каждую модель ПУ для моделирования измерения первичных характеристик и назначают одну из моделей ПУ, на которой будут осуществлять моделирование вычисления вторичных характеристик,

${}^2D_{12}$ – моделирование при необходимости доопределения данных об объектах подавления, включающее в себя следующие действия:

${}^2D_{13}$ – моделирование определения и измерения первичных характеристик всех объектов подавления на модели ПУ второго уровня [2].

Схема двухуровневого адаптивного алгоритма представлена на рисунке.

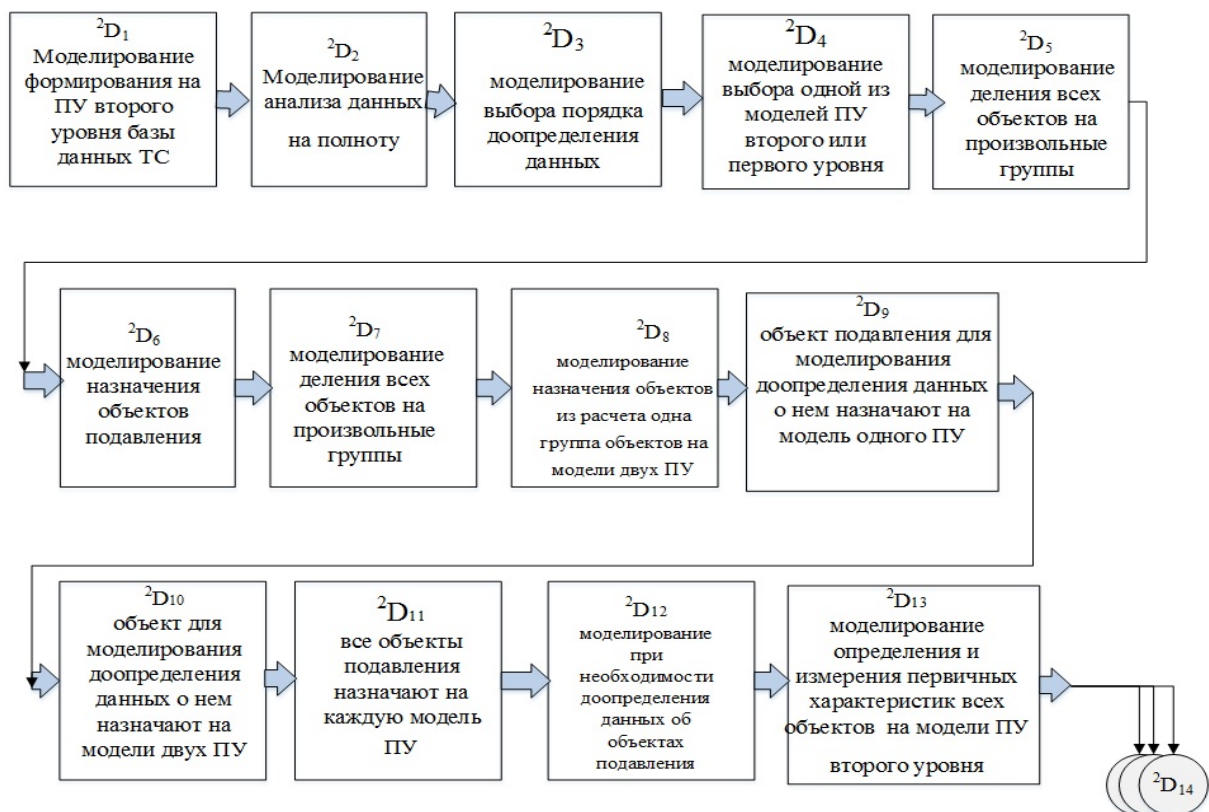


Схема двухуровневого адаптивного алгоритма

Этот алгоритм позволяет формировать управляющие решения, основываясь на полученных данных, в ходе анализа работы системы защиты информации. Данные, полученные с первого уровня адаптивной двухуровневой имитационной модели, передаются на второй уровень модели, который формирует управляющие воздействия и является пунктом управления.

Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей способа и системы адаптивного управления за счет выполнения таких важных функций управления, как сбор, обработка, анализ, адаптивное доопределение данных об объектах воздействия и принятие решения на осуществление воздействия [1].

При управлении техническими средствами на пунктах управления второго и первого уровней осуществляют формирование базы данных своих технических средств, объектов воздействия и условий обстановки, а также анализ и адаптивное доопределение данных об объектах воздействия, идентификацию и классификацию объектов воздействия, определение приоритетов и формирование списка объектов воздействия в соответствии с их приоритетами, оценку эффективности осуществления воздействия, формирование случайным образом списка технических средств по эффективности, распределение объектов воздействия между техническими средствами, формирование целеуказаний, команд управления и передачу их техническим средствам [1].

Исходя из основных целей системы, построена адаптивная двухуровневая имитационная модель процессов управления системой защиты информации для определения ее эффективности, под которой понимается вероятность своевременного принятия и реализации правильного решения, а также некоторые частные характеристики процесса управления.

Построенная адаптивная двухуровневая имитационная модель позволяет проводить исследования процессов управления системой защиты информации, для определения ее эффективности на всех стадиях жизненного цикла.

Построение модели основано на дискретно-событийном подходе, что позволяет демонстрировать более точные результаты работы модели, и заданных процессов. Также модель позволяет следить за состоянием любого объекта, использующегося для построения модели. Это позволит увидеть все изменения имитируемой системы, происходящие в процессе ее работы.

В основе каждой дискретно-событийной модели лежит диаграмма процесса – последовательность соединенных между собой объектов (Библиотеки моделирования процессов), задающих последовательность операций, которые будут производиться над проходящими по диаграмме процесса заявками.

Имитационная модель позволяет увидеть статистику работы объектов процесса, например, занятости сервера, на определенный период, или при заданных параметрах. Целью сбора статистики является предотвращение нежелательных последствий при принятии решений для будущих изменений параметров работы имитационной модели.

Для создания модели процессов управления, задаются все параметры, необходимые для получения результата, соответствующего целям создания ими-

тационной модели. Заданные параметры могут изменяться как при построении модели, так и для изменения неудовлетворяющих результатов принятых решений в ходе самого эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селифанов В.А Способ двухуровневого адаптивного управления и система управления для его осуществления // Патент № 2486564, Классы МПК G05B15/00; заявл. 27.03.2012; опубл. 27.06.2013.
2. Приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».

REFERENCES

1. Selifanov V.A Method of two-level adaptive control and control system for its implementation // Patent № 2486564, classes IPC G05B15/ 00; announced 27.03.2012; published 27.06.2013 [in Russian].
2. The order of FSTEC of Russia No. 31 dated March 14, 2014 «On approval of requirements to ensure information protection in automated control systems of production and technological processes at critically important facilities, potentially hazardous facilities, as well as facilities representing increased danger to human life and health and the environment» [in Russian].

© В. В. Селифанов, Ю. А. Исаева, П. А. Звягинцева, 2018

ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Алексей Николаевич Поликанин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры информационной безопасности, тел. (913)397-63-51, e-mail: polikanin.an@yandex.ru

В ряде случаев вопрос применения систем видеонаблюдения связан с определёнными заблуждениями, порождаемыми низкой правовой культурой и некоторыми мифами о запретах и условиях, бытующими в обществе. Вопрос достаточно актуальный, поскольку установкой видеонаблюдения сейчас могут заниматься любые физические и юридические лица без ограничений. Законодательство РФ, регулирующее вопросы видеосъёмки, в отличие даже от многих развитых стран, достаточно логично и формализовано, необходимо лишь чётко осознавать свои права и обязанности при осуществлении такого рода деятельности.

Ключевые слова: видеонаблюдение, личная тайна, скрытое наблюдение, персональные данные.

LEGAL ASPECTS OF APPLICATION OF VIDEO MONITORING SYSTEMS

Alexey N. Polikanin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Information Security, phone: (913)397-63-51, e-mail: polikanin.an@yandex.ru

Presently the use of video surveillance systems is associated with certain misconceptions in a number of cases. It is born of a low legal culture and some myths about prohibitions and conditions that exist in the society. This issue is quite urgent, since the installation of video surveillance can now be engaged by any physical and legal persons without any restrictions. The legislation of the Russian Federation regulating the issues of video filming, unlike even many advanced countries, is quite logical and formalized, it is only necessary to clearly understand the rights and obligations in the implementation of this kind of activity.

Key words: video surveillance, personal secret, hidden surveillance, personal data.

Начнём с того, что с 1 января 2009 года для установки систем видеонаблюдения физическими или юридическими лицами не требуется никаких разрешений и лицензий, кроме случаев особо определяемых законодательством. Это следует из постановления правительства РФ о саморегулируемых организациях (СРО), в соответствии с которым выдача лицензий на установку и монтаж видеооборудования отменена [1]. То есть в тех ситуациях, когда установка телекамеры точно не запрещена, её может поставить кто угодно и где угодно.

Сначала поговорим об ограничениях. Во-первых, согласно части 1 статьи 23 Конституции РФ каждый гражданин имеет право на неприкосновенность частной жизни, личную и семейную тайну. Во-вторых, в соответствии со статьей 24 Конституции РФ, сбор, хранение, использование и распространение информации о частной жизни лица без его согласия не допускаются [2].

При этом установка камер видеонаблюдения в общественном месте является абсолютно законной, так как в таком месте нельзя заранее определить, кто попадёт в поле зрения камеры. Это неопределённый круг лиц, которые изначально не являлись объектом наблюдения и причиной установки камеры.

С одной стороны ст. 152.1 Гражданского кодекса РФ предусматривает правовую охрану изображения гражданина, и каждый гражданин имеет право запретить получение своего изображения [3]. Тем не менее, в той же статье предусмотрены исключения из общего запрета, которые касаются мест с открытым доступом. Как правило, причиной установки камер наблюдения в таких местах является необходимость фиксации правонарушений, а не получение изображения граждан.

Следующий момент касается возможности использования записи камеры наблюдения в суде с целью доказательства противоправных действий в уголовном или гражданском судопроизводстве. Согласно ч. 2 ст. 55 Гражданского процессуального кодекса РФ и ст. 75 Уголовно-процессуального кодекса РФ, допустимыми судом признаются лишь доказательства, отвечающие критерию законности [4, 5].

Согласно закону о персональных данных, видеоизображение гражданина, по которому возможно провести его идентификацию, считается персональными данными [6]. Поэтому в части 1 ст. 22 этого закона содержатся требования об обработке персональных данных, которые устанавливают необходимость уведомления Роскомнадзора (Федеральное агентство по надзору в сфере связи, информационных технологий, массовых коммуникаций) об установке подобной камеры. Это действие несет именно уведомительный, а не разрешительный характер, поэтому собственник камеры может и не уведомлять Роскомнадзор, но в этом случае видеозапись не может быть использована в суде в качестве доказательства.

Бытует мнение о том, что видеосъёмка в общественных местах в обязательном порядке должна сопровождаться предупреждением граждан о её наличии в виде предупреждающей таблички «Ведётся видеонаблюдение» или изображения камеры. Однако, на самом деле, такое требование действует лишь в одном случае – когда объект, где ведётся видеонаблюдение, охраняется частным охранным предприятием. Это следует из закона РФ № 2487-I «О частной детективной и охранной деятельности в Российской Федерации» [7]. В остальных случаях никаких табличек устанавливать не нужно.

Следующая правовая коллизия касается так называемого скрытого видеонаблюдения.

Согласно закону № 144-ФЗ «Об оперативно-розыскной деятельности», негласное видеонаблюдение могут осуществлять лишь оперативные подразделения государственных органов [8]. В ч. 5 ст. 6 закона прямо указано, что «запрещается использование специальных и иных технических средств, предназначенных (разработанных, приспособленных, запрограммированных) для негласного получения информации не уполномоченными на то настоящим Федеральным законом физическими и юридическими лицами».

Иными словами, обычные организации, на первый взгляд, не имеют права осуществлять негласные мероприятия по видеослежению за работниками и посетителями. Однако, типы средств наблюдения, с помощью которых можно осуществлять скрытое наблюдение, строго регламентированы, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10.03.00 № 214 «Список видов специальных технических средств, предназначенных для негласного получения информации».

Это единственный нормативный документ, который регулирует использование указанных спецсредств. В пункте 2 данного Списка говорится о «специальных технических средствах для негласного визуального наблюдения и документирования». К этой категории документ относит «телевизионные или видеокамеры, замаскированные под бытовые предметы, технику, оснащенные вынесенным значком входа (PIN-HOLE), и оборудование, способное работать при освещенности объекта до 0,01 лк».

Соответственно, то, что не запрещено законом – разрешено. То есть оборудование, не представленное в Списке, может использоваться всеми без исключения.

На практике это означает, что организация может установить камеры для наблюдения за персоналом и посетителями в неявном (скрытом) виде, но используемые при этом камеры должны быть обыкновенными, а не закамуфлированными.

Это, однако, не означает, что скрытое наблюдение может быть совершенно бесконтрольным с точки зрения закона. Поскольку даже на рабочем месте сотрудник организации может иметь моменты личного времени и, соответственно, личной жизни. Например, период обеденного перерыва, согласно Трудовому Кодексу РФ, является личным временем работника, и его съёмка в такие моменты без его согласия является противозаконной.

Для того чтобы полностью соблюсти нормы права в такой ситуации организация обязана уведомить работника о том, что в здании или на территории ведётся видеонаблюдение. Причём сведения об этом должны содержаться в трудовом договоре или в виде соглашения о сборе и обработке персональных данных, с указанием целей обработки, предполагаемыми источниками получения персональных данных, способами её получения. То есть в этом документе должна быть чётко упомянута возможность скрытой видеосъёмки. Подписывать этот документ или нет – это будет личным выбором работника.

Более того, в соответствии со ст. 88 ТК РФ, доступ к персональным видеоданным работников должны иметь только специально уполномоченные лица [9]. При этом указанные лица должны иметь право получать только те персональные данные работника, которые необходимы для выполнения конкретных функций. Это означает, что, например, установить такую скрытую видеокамеру в курилке, столовой, комнате отдыха или туалете организация не имеет права, так как там работник не выполняет никаких рабочих функций.

Кроме того, лица, получающие персональные видеоданные работника, обязаны соблюдать режим секретности (конфиденциальности). Поэтому техни-

ческие работники, ответственные за видеонаблюдение, в обязательном порядке должны быть ознакомлены с Положением о защите персональных данных.

В связи с иными ограничениями видеосъёмки можно упомянуть Указ Президента от 30 ноября 1995 года, где дается определение термина «режимный объект», который также часто используется для обоснования запрета съёмок [10]. К таким объектам Указ причисляет военные или государственные объекты, для функционирования которых установлены дополнительные меры безопасности. Также существует Инструкция по обеспечению режима секретности в РФ, утвержденная постановлением Правительства РФ от 5 января 2004 г., которая определяет порядок установления пропускного и внутриобъектового режима в здании в том случае, если в нем производится работа с документами, содержащими государственную тайну. Этот режим может включать в себя и запрет съёмки.

Иногда съёмка может быть запрещена в соответствии с ч. 4 ГК РФ, регулирующей права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации. Такой запрет на съёмку может быть установлен в кинотеатрах или на выставках.

В заключение можно сказать, что законодательство РФ, регулирующее вопросы видеосъёмки, в отличие от многих, даже развитых стран, достаточно логично и формализовано, необходимо лишь чётко осознавать свои права и обязанности при осуществлении такого рода деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 148-ФЗ г. Москва «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета - Федеральный выпуск. – 2008. – № 4715. – С. 18.
2. Конституция Российской Федерации. Официальное издание. – М.: ГУ издательство «Юридическая литература» Администрации Президента Российской Федерации, 2009. – 137 с.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации. Части первая, вторая, третья и четвертая. Текст с изменениями и дополнениями на 1 октября 2017 года. – М.: Эксмо, 2017. – 864 с.
4. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации. – М.: Эксмо, 2018. – 160 с.
5. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации по состоянию на 20.02.18 с таблицей изменений и с путеводителем по судебной практике. – М.: Проспект, 2018. – 352 с.
6. Федеральный закон «О персональных данных»: текст на 2018 год. – М.: Эксмо, 2018. – 32 с.
7. Закон РФ от 11.03.1992 № 2487-1 (ред. от 03.07.2016) «О частной детективной и охранной деятельности в Российской Федерации». – М.: Эксмо, 2017. – 28 с.
8. Федеральный закон № 144-ФЗ «Об оперативно-розыскной деятельности». – М.: Кодекс, 2016. – 16 с.
9. Трудовой кодекс Российской Федерации по состоянию на 20.02.18. – М.: Проспект, 2018. – 272 с.
10. Указ Президента Российской Федерации от 3 марта 2005 г. № 243 «О внесении изменений в перечень сведений, отнесенных к государственной тайне, утвержденный Указом Президента Российской Федерации от 30 ноября 1995 г. № 1203» // Российская газета - Федеральный выпуск. – 2008. – № 4715. – С. 9.

© А. Н. Поликанин, 2018

СКВОЗНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ СИСТЕМНОГО ИНЖИНИРИНГА

Геннадий Александрович Сырецкий

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования технологических машин, тел. (383)346-11-77, e-mail: sga-2002k@mail.ru

Отражены особенности развития российского общества. Показаны важность разработки новых технологий и вычислительных моделей для киберпространства. Проанализированы актуальные проблемы в области информационной безопасности. Выделены некоторые пути их решения в контексте системного инжиниринга.

Ключевые слова: промышленная революция, технологический уклад, информационное общество, всеобъемлющий Интернет, большие данные, облачные вычисления, информационная безопасность, киберпространство, кибербезопасность, искусственный интеллект, машинное обучение.

CROSS-CUTTING DIGITAL TECHNOLOGIES AND BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES OF CYBER-SECURITY IN THE CONTEXT OF SYSTEM ENGINEERING

Gennady A. Syretsky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Information Security; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Technological Machines Design, phone: (383)346-11-77, e-mail: sga-2002k@mail.ru

The features of the development of Russian society are reflected. The importance of developing new technologies and computational models for cyberspace is shown. The actual problems in the field of information security are analyzed. Some ways of their solution in the context of system engineering are outlined.

Key words: industrial revolution, technological progress, information society, comprehensive Internet, big data, cloud computing, information security, cyberspace, cybersecurity, artificial intelligence, machine learning.

Для того, чтобы быть в авангарде научно-технического прогресса и продемонстрировать могущество нации, от государства требуется определение приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, инвестирование в человеческий капитал, ключевой составляющей которого является интеллектуальный капитал, и вложение бюджета в необходимую инфраструктуру. Чтобы не отстать и опережать конкурентов в технологической гонке, необходимо смотреть в завтрашний день, но сделать это могут не все. Однако, как говорил

Конфуций, древний мыслитель, философ Китая и первый профессиональный педагог Поднебесной, «изучай прошлое, если хочешь предвидеть будущее».

Факты развития цивилизации свидетельствуют о наличии циклов в экономической жизни людей.

Сегодня в передовых странах мира возникли предпосылки для перехода к шестому технологическому укладу и начала четвертой промышленной революции, сопровождаемые совершенствованием информационного общества во многих странах, включая Россию.

Предполагается, что в основе нового уклада будут превалировать конвергентные науки и технологии. Примером может служить НБИКС-конвергенция технологий (Н – нанотехнологии, Б – биотехнологии, И – информационные технологии, К – когнитивные науки, С – социальные технологии), развиваемая в НИЦ «Курчатовский институт». В списке прогноза составляющих нового технологического уклада содержится многое, в частности, технологии таких направлений, связанных с наноразмерными (10^{-9} м) структурами живого происхождения, неживой и гибридной природы, фемтосекундными (10^{-15} с) процессами, как искусственный интеллект, робототехника (одно из направлений такой области как современная мехатроника, технологии биотехнологизации и интеллектуализации мехатроники) и энергосбережение.

Считается, что движущей силой четвертой промышленной революции станут прежде всего новые технологии виртуализации, всепроникающий Интернет, поддерживающий сегодня информационный обмен по сетевому протоколу IP (Internet Protocol) (сначала с адресацией по IPv4 (разрядность адреса 32 бит), а с 2011 года – IPv6 (длина адреса 128 бит)), и киберфизические системы (англ. Cyber Physical Systems, CPS) или умные системы (англ. Smart Systems), а также разнообразные интеллектуальные (англ. Intelligence) и неинтеллектуальные автоматизированные системы, комплексы и информационно-коммуникационные технологии нового поколения на базе конвергенции – очередного эволюционного этапа интеграции и виртуализации, в их числе реализующих подходы, концепции, инфраструктуры и инструменты виртуальных сред (англ. Virtual Environments), облачных (англ. Cloud Computing) и туманных, или распыленных (англ. Fog Computing) вычислений, Интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT), индустриального, промышленного Интернета (англ. Industrial Internet, II), Интернета медиаконтента (англ. Internet of Media, IoM), Интернета сервисов (англ. Internet of Services, IoS), всеобъемлющего Интернета (Internet of Everything, IoE: объединение людей, физических устройств, процессов и данных), умных данных (англ. Smart Data), Умное все (англ. Smart Anything) и больших данных (англ. Big Data).

Такая разновидность технологий виртуализации как облачные технологии, рассматривается одним из ключевых катализаторов развития глобальной сети Интернет. Разрабатываются и предлагаются к использованию несколько моделей масштабируемых облачных вычислений, базирующихся на идеологии сервис-ориентированной архитектуры (англ. Service-Oriented Architecture, SOA) программных систем и сетевой виртуализации данных, среди них облако част-

ное, обслуживающее одну организацию; публичное, предоставляемое частным лицам и организациям на базе инфраструктуры облачного провайдера; гибридное. Облачные вычисления строятся исходя из модели организации вычислительных и информационных процессов и обеспечения информационной безопасности. Так, на платформе 3D клауд-модели с 3D безопасностью (3D Security) обеспечивается создание и использование как услуги составляющих интегрированного технологического стека продуктов аппаратного обеспечения (hardware), программного обеспечения (software) и вычислений (compute) – облачных вычислений в форме (сервисные модели):

- SaaS (cloud Software as a Service, облачное программное обеспечение как услуга);

- PaaS (cloud Platform as a Service, облачная платформа (интегрированная платформа для разработки, тестирования, развертывания и поддержки сетевых приложений) как услуга);

- IaaS (cloud Infrastructure as a Service, облачная инфраструктура (виртуализация компьютерной инфраструктуры) как услуга).

Популярная теория SINIC (Seed-Innovation to Need-Impetus Cyclic evolution), «От зерна инновации – к ростку потребности», сформированная в японской компании Omron, свидетельствует о том, что наука, технология и общество находятся в циклической взаимосвязи. Во-первых, важные научные открытия порождают новые технологии, которые способствуют развитию общества. Во-вторых, общественные потребности являются стимулом для появления новых достижений науки и катализатором научно-технического прогресса. Таким образом, циклическое воздействие и влияние друг на друга этих двух различных факторов двигает общество по пути дальнейшей эволюции (рис. 1). В теории отражается последовательная замена существующих ныне кибернетических систем на бионетические, психонетические и мета-психонетические системы, которые будут реализованы с помощью психо-биологических и мета-психотехнологий.

В целях обеспечения условий для формирования в России общества знаний в мае 2017 года Президентом В.В. Путиным была утверждена «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». «Стратегия определяет цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики Российской Федерации в сфере применения информационных и коммуникационных технологий, направленные на развитие информационного общества формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов».

Прорывное развитие России невозможно без технологической независимости. Технологическая независимость страны не предполагает полного использования импортозамещаемых технологий. На взгляд автора, в большей степени она связана с проведением в России опережающих мировой уровень фундаментальных и прикладных исследований и созданием прорывных технологий, которые, предположительно, ввиду уникальности, будут востребованы передовым

мировым сообществом и нужны нашей экономике, и конвергентно-синергетических прорывных технологий, являющихся результатом совместно выполняемых работ российских и ведущих зарубежных научно-технических специалистов. При этом возникающая сложность решаемых проблем и планируемых прорывных проектов должна опираться на системный инжиниринг (рис. 2), базовые положения которого заложены и развиваются зарубежными и отечественными учеными и инженерами [1].

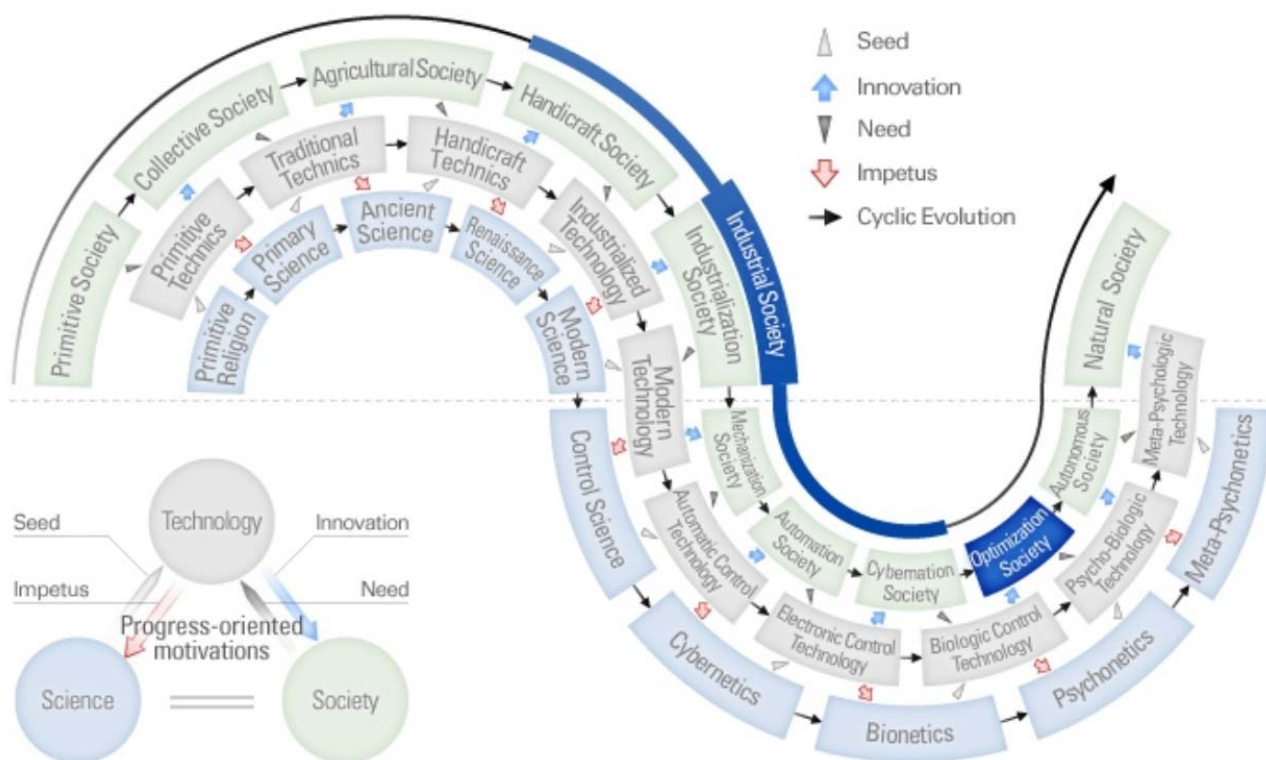


Рис. 1. Схематичное представление теории SINIC
(«От зерна инновации — к ростку потребности»)

Для обеспечения реализации стратегии Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р была утверждена такая значимая программа как «Цифровая экономика Российской Федерации». «Цифровая экономика представляет собой хозяйственную деятельность, ключевым фактором производства в которой являются данные в цифровой форме, и способствует формированию информационного пространства с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений, развитию информационной инфраструктуры Российской Федерации, созданию и применению российских информационно-телекоммуникационных технологий, а также формированию новой технологической основы для социальной и экономической сферы». Цифровая экономика Российской Федерации представлена тремя важными уровнями. Ее нижним уровнем является «среда, которая

создает условия для развития платформ и технологий и эффективного взаимодействия субъектов рынков и отраслей экономики (сфер деятельности) и охватывает нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность». В программе приведен перечень значимых сквозных цифровых технологий, который может быть дополнен по мере появления и развития новых технологий.

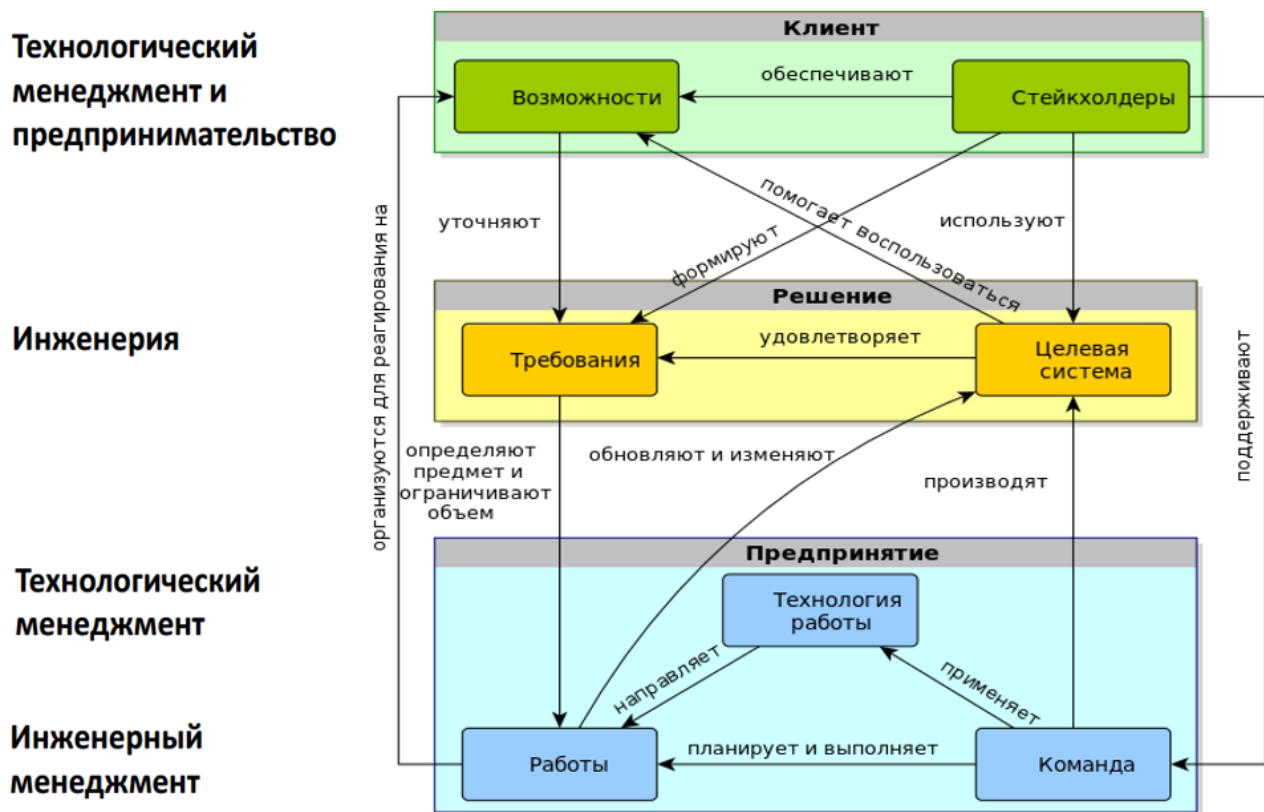


Рис. 2. Системная схема инженерного проекта
(согласно ГОСТ Р 57195-2016 – это альфы ядра и их взаимосвязь
в области интересов «Клиент», «Решение» и «Деятельность»)

Обсуждаются predetermined изначально такие технологии как большие данные; нейротехнологии и искусственный интеллект (рис. 3); квантовые технологии; новые производственные технологии; промышленный интернет; компоненты робототехники и сенсорики; технологии беспроводной связи; технологии виртуальной и дополненной реальности.

В программе правительства информационная инфраструктура и информационная безопасность (ИБ) рассматриваются как основные инфраструктурные элементы цифровой экономики. Наиважнейшей проблемой информационной безопасности (отсутствия недопустимого риска) в глобальном киберпространстве является разработка прорывных технологий кибербезопасности, в том числе и для систем раннего предупреждения о кибернетических нападениях [1].

Они позволяют заблаговременно предпринять действия, нужные для предотвращения неавторизованного использования, отказа в обслуживании, преобразования, рассекречивания, потери прибыли, или повреждения критических систем или информационных объектов [2], т.е. сформировать меру (-ы) защиты («действие, устройство, процедуру или стратегию, которые ослабляют угрозу, уязвимость или противодействуют атаке путем ее отражения или предотвращения, или минимизации ущерба, который она способна нанести, или путем ее обнаружения и сообщения о ней, чтобы могло быть предпринято корректирующее действие»).

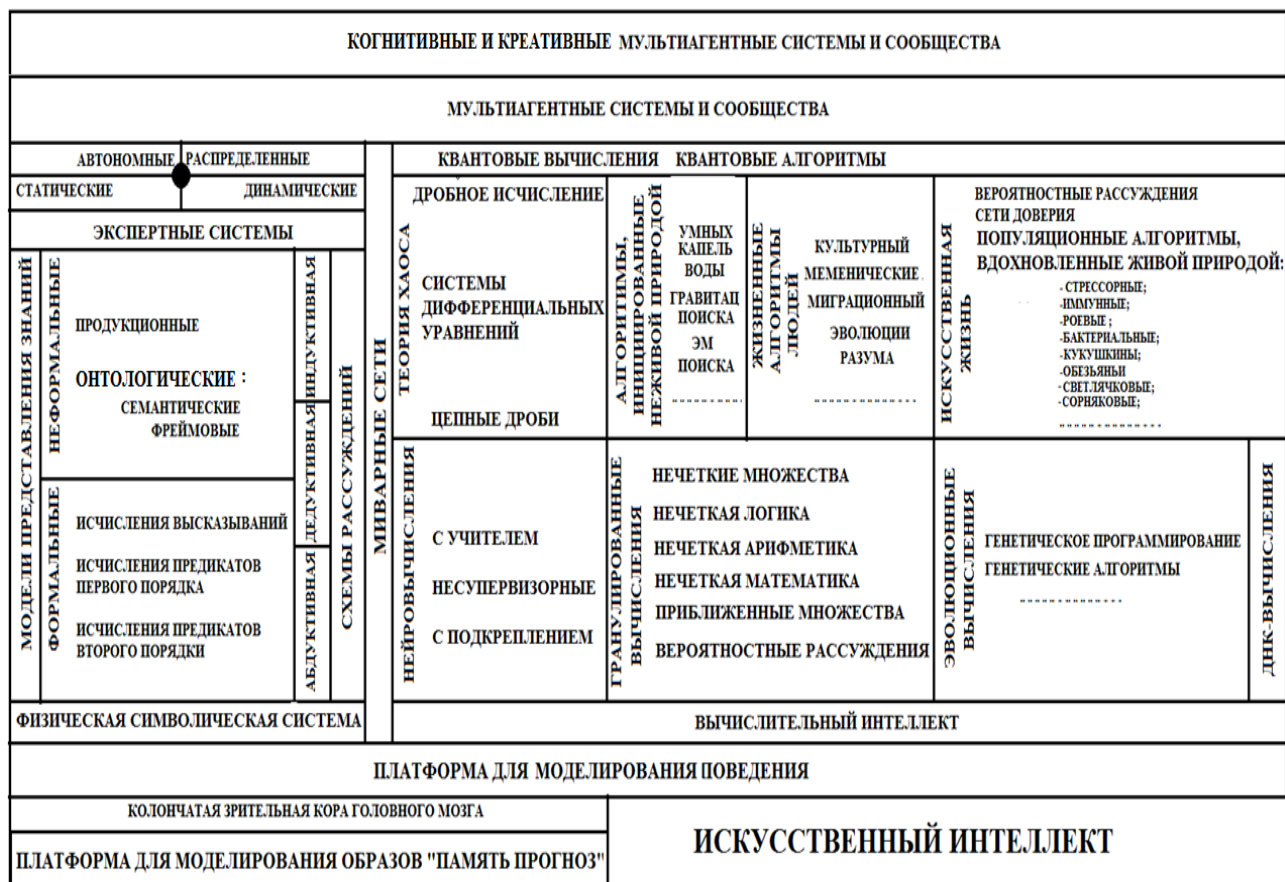


Рис. 3. Парадигмы искусственного интеллекта

В заключительной части, ориентируясь на адаптивную модель организации ИБ от компании Gartner, системный инжиниринг и отечественные ГОСТы [2–7] как важнейшие практики, автор рассматривает применение многочисленных технологий искусственного интеллекта и основ машинного обучения для решения ряда задач кибербезопасности, включая такие типы угроз как sniffing, коммуникационная атака; воспроизведение; расширение привилегий; фиктивная авторизация и маскировка под законного пользователя; социальная инженерия; фишинг; вторжение в базу данных; вредоносный код; отказ в обслуживании; физическое повреждение, так и прогнозирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косяков А., Свит У., Сеймур С., Бимер С. Системная инженерия. Принципы и практика. 2-е издание / Пер. с англ. В. Батоврин. — М.: ДМК Пресс, 2017.
2. Петренко С.А., Ступин Д. Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении / под общей редакцией С.Ф. Боева. Университет Иннополис. — Иннополис: Издательский Дом «Афина», 2017
3. ГОСТ Р 56205-2014/IEC/TS 62443-1-1:2009. Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Часть 1-1. Терминология, концептуальные положения и модели. — М., 2014.
4. ГОСТ Р 56498-2015/IEC/PAS 62443-3:2008. Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Часть 3. Защищенность (кибербезопасность) промышленного процесса измерения и управления. — М., 2015.
5. ГОСТ Р 56545-2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей. — М., 2015.
6. ГОСТ Р 56546-2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем. — М., 2015.
7. ГОСТ Р 56875-2016. Информационные технологии. Системы безопасности комплексные и интегрированные. Типовые требования к архитектуре и технологиям интеллектуальных систем мониторинга для обеспечения безопасности предприятий и территорий. — М., 2016.
8. ГОСТ Р 57674-2017. Интегрированные системы безопасности. Общие положения. — М., 2017.

© Г. А. Сырецкий, 2018

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО И ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: НАСТОЯЩЕЕ И ПРОГНОЗЫ

Геннадий Александрович Сырецкий

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования технологических машин, тел. (383)346-11-77, e-mail: sga-2002k@mail.ru

Отражены особенности информационного общества. Показана важность разработки новых технологических концепций и вычислительных моделей для киберпространства. Проанализированы важные проблемы в области информационной безопасности. Выделены некоторые пути их решения.

Ключевые слова: промышленная революция, технологический уклад, информационное общество, киберфизическая система, Интернет, большие данные, облачные вычисления, информационная безопасность, инцидент информационной безопасности, киберпространство.

INFORMATION SOCIETY AND TECHNOLOGIES OF INFORMATION SECURITY: PRESENT STATE AND FORECASTS

Gennady A. Syretsky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Information Security; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Technological Machines Design, phone: (383)346-11-77, e-mail: sga-2002k@mail.ru

The features of the information society are reflected. The importance of developing new technological concepts and computational models for cyberspace is shown. Important problems in the field of information security are analyzed. Some ways of their solution are highlighted.

Key words: industrial revolution, technological structure, information society, cyberphysical system, Internet of Everything (IoE), big data, cloud computing, information security, information security incident, cyberspace.

Факты развития цивилизации свидетельствуют о наличии ускоряющихся циклов в экономической жизни людей, определяющей существование человека на планете Земля. Важнейшим признаком их появления служат так называемые революции и технологические уклады, имеющие свой определенный жизненный цикл с несколькими фазами (стадиями).

Крупный качественный скачок в производительных силах общества и в структурах самого общества характеризуется понятием «революция». Для цивилизации стали значимыми так называемые промышленные революции. Современные реалии в большей степени отождествляются с третьей промышленной революцией («Индустрия 3.0»), признаки которой были замечены еще в

конце XX века. Считается, что она связана, прежде всего, с переходом к возобновляемым источникам энергии, успехами в области информатики [1–2] и информатизации различных сфер деятельности (преимущественно направленной на внедрение средств вычислительной техники в производство, автоматизацию и переход к цифровому аддитивному производству), а также формированием постиндустриального общества. Для такого общества характерно преобладание доли услуг (включая производство и продажу программного обеспечения) над материальным производством, обусловленных ростом доходов населения, и такого производственного ресурса как информация и ее высшей формы проявления – знаний. Развитие быстрыми темпами информационной сферы, информационного пространства (под которым ныне, согласно [3], понимается «совокупность информационных ресурсов, созданных субъектами информационной сферы, средств взаимодействия таких субъектов, их информационных систем и необходимой информационной инфраструктуры) и информационного сектора хозяйственной системы стало предтечей становления нового общества, названного информационным (обществом, в котором информация и уровень ее применения и доступности кардинальным образом влияют на экономические и социокультурные условия жизни граждан [3]). Оно базируется на использовании как информационных технологий (определенных в ФЗ РФ от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ как «процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов»), так и технологий информационно-телекоммуникационных (для технологических систем, предназначенных для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники, называемых информационно-телекоммуникационными сетями).

В настоящее время назрела новая «промышленная революционная ситуация», обусловленная проблемами существования в будущем промышленности ряда развитых стран, в первую очередь Германии, – немецкая концепция «Индустрия 4.0». Ее ключевым драйвером является интеграция киберфизических систем в заводские процессы, благодаря которым без участия человека будут выполняться целые этапы жизни производственных процессов и поддерживаться многие стадии жизненного цикла продукции, адаптируемой при необходимости под новые потребности потребителей по их Интернет-запросам.

Замечено, что периоды длинных волн, экономических циклов Н. Д. Кондратьева (45 – 60 лет) [4] сопровождаются новыми технологическими укладами. Важнейшими характеристиками, определяющими до настоящего времени технологический уклад, считаются энергетический ресурс, ключевой фактор, основные отрасли и значимые достижения. Новый технологический уклад зарождается внутри предыдущих, и его появление предопределяется научно-техническим прогрессом и уровнем инерции общественного мышления.

Смена каждого технологического уклада в экономике и последствия промышленной революции постепенно проявляются как в изменении качества

жизни населения, повышении обеспечения растущих потребностей людей и их мышлении, так и в информационной безопасности (определяемой согласно [5] как «все аспекты, связанные с определением, достижением и поддержанием конфиденциальности, целостности, доступности, неотказуемости, подотчетности, аутентичности и достоверности информации или средств ее обработки») и экологии человека и общества в целом в жизненном пространстве и стремительно развивающемся глобальном информационном пространстве нашей цивилизации.

Происходящие в мировой экономике процессы свидетельствуют о переходе цивилизации к шестому технологическому укладу и начале четвертой промышленной революции, сопровождаемым совершенствованием информационного общества во многих странах, включая Россию. Недавно в документы стратегического планирования нашей страны были внесены изменения, согласно Указу Президента «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», взамен принятой в 2008 году, которая строилась на базе использования информационных и телекоммуникационных технологий и учитывала, в частности, основные положения Окинавской хартии глобального информационного общества и Декларации принципов построения информационного общества. Утвержденная «стратегия определяет цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики Российской Федерации в сфере применения информационных и коммуникационных технологий, направленные на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов». В целях реализации данной стратегии Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р была утверждена такая значимая программа как «Цифровая экономика Российской Федерации». Ее направленность – «создание условий для развития общества знаний, повышение благосостояния и качества жизни граждан нашей страны путем доступности и качества товаров и услуг, произведенных в цифровой экономике с использованием современных цифровых технологий, увеличения степени информированности и цифровой грамотности, улучшения доступности и качества государственных услуг для граждан, а также безопасности как внутри страны, так и за ее пределами». «Цифровая экономика представляет собой хозяйственную деятельность, ключевым фактором производства в которой являются данные в цифровой форме, и способствует формированию информационного пространства с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений, развитию информационной инфраструктуры Российской Федерации, созданию и применению российских информационно-телекоммуникационных технологий, а также формированию новой технологической основы для социальной и экономической сферы». Отмечено, что с использованием цифровых технологий изменяются структура экономики, образования, производственные отношения и повседневная жизнь человека, а также возникают новые требования к вычисли-

тельными мощностями, коммуникациям, информационным системам и сервисам. В программе отражено как текущее состояние и проблемы отечественной цифровой экономики, так и положение России на глобальном цифровом рынке, рассматриваемое в докладе. Цифровая экономика Российской Федерации представлена тремя важными уровнями. Ее нижним уровнем является «среда, которая создает условия для развития платформ и технологий и эффективного взаимодействия субъектов рынков и отраслей экономики (сфер деятельности) и охватывает нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность». Причем информационная инфраструктура и информационная безопасность рассматриваются как основные инфраструктурные элементы цифровой экономики.

Важными для становления информационного общества, основанного на знаниях, служат обсуждаемые в докладе концепции Интернета вещей (вычислительной сети, соединяющей вещи (физические предметы), оснащенные встроенными информационными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без участия человека [3]), индустриального Интернета вещей (построения информационных и коммуникационных инфраструктур на основе подключения к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» промышленных устройств, оборудования, датчиков, сенсоров, систем управления технологическими процессами, а также интеграции данных программно-аппаратных средств между собой без участия человека [3]), трансформируемых в будущий всеобъемлющий Интернет (рис. 1), и такие информационно-технологические модели, как облачные (модель обеспечения повсеместного и удобного доступа с использованием сети «Интернет» к общему набору конфигурируемых вычислительных ресурсов («облаку»), устройствам хранения данных, приложениям и сервисам, которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены от нагрузки с минимальными эксплуатационными затратами или практически без участия провайдера [3]) и туманные (модель системного уровня для расширения облачных функций хранения, вычисления и сетевого взаимодействия, в которой обработка данных осуществляется на конечном оборудовании (компьютеры, мобильные устройства, датчики и смарт-узлы и другое) в сети, а не в «облаке» [3]) вычисления (рис. 2), в том числе поддерживающих сбор и аналитическую обработку разнообразных по форме представления больших данных.

Рассмотренные концепции Интернета и информационно-технологические модели являются частью сложной постоянно меняющейся среды, именуемой киберпространством. Оно становится неотъемлемой частью инфраструктуры цифровой экономики. Для него важны защитные меры от различных угроз, обеспечивающие снижение до приемлемого уровня риска информационной безопасности (ИБ).

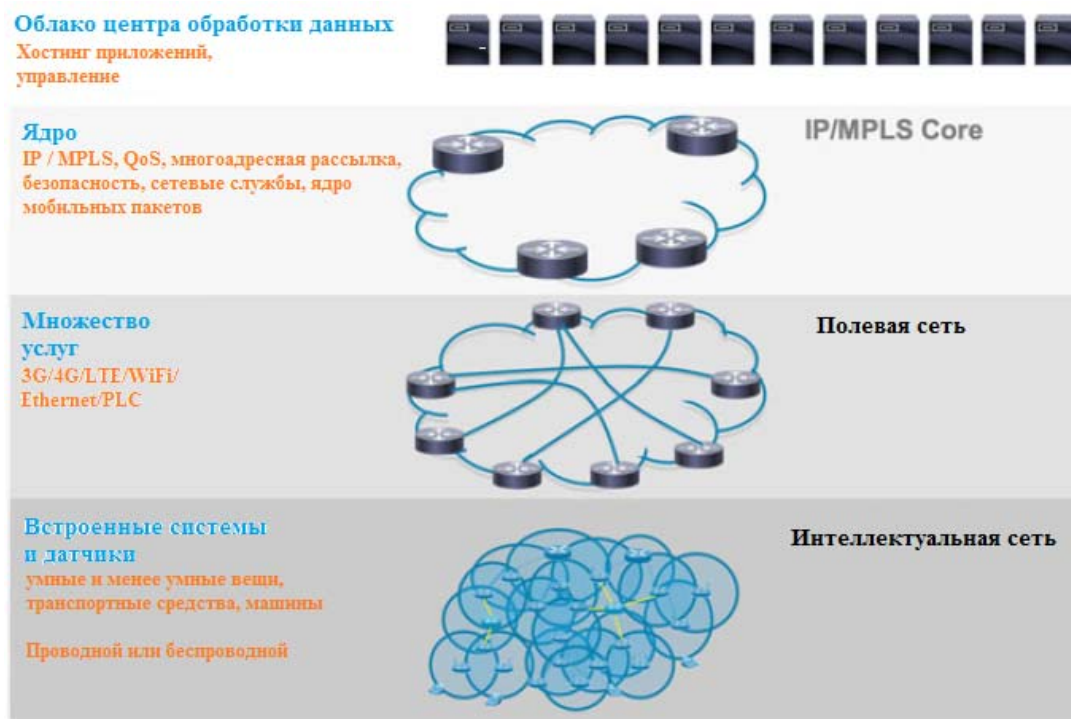


Рис. 1. Распределенная инфраструктура для Интернета вещей и всеобъемлющего Интернета

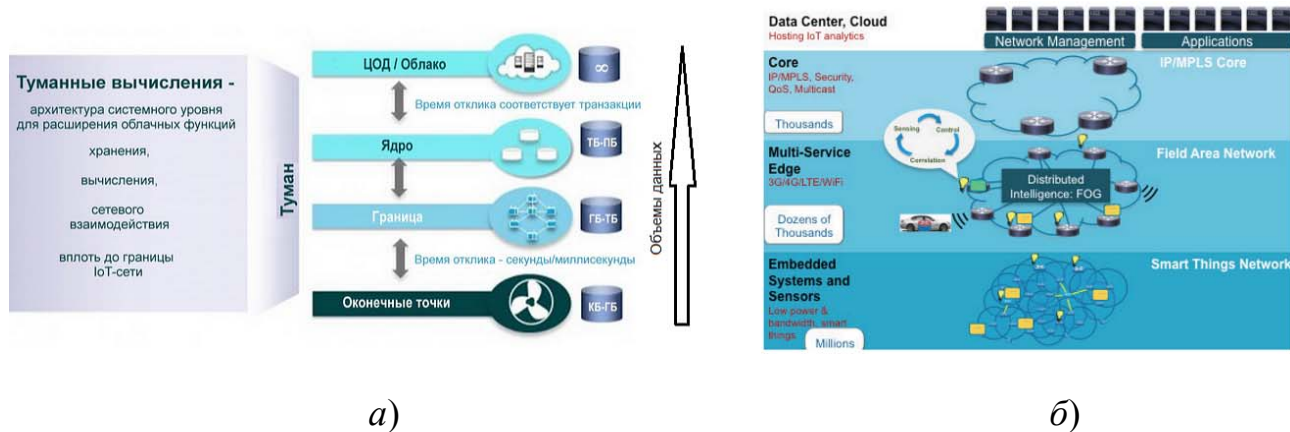


Рис. 2. Туманные вычисления:

а) представление сервисного уровня; б) архитектура Интернета вещей с сервисом туманных вычислений

На рис. 3 представлена адаптивная модель организации ИБ от компании Gartner, ориентированная на быстрое исполнение действий по разным киберсобытиям, проявляемым при работе с потоками данных об угрозах (threat intelligence), в том числе принадлежащих к стадиям предотвращения, обнаружения (детектирования), реагирования и предсказания.

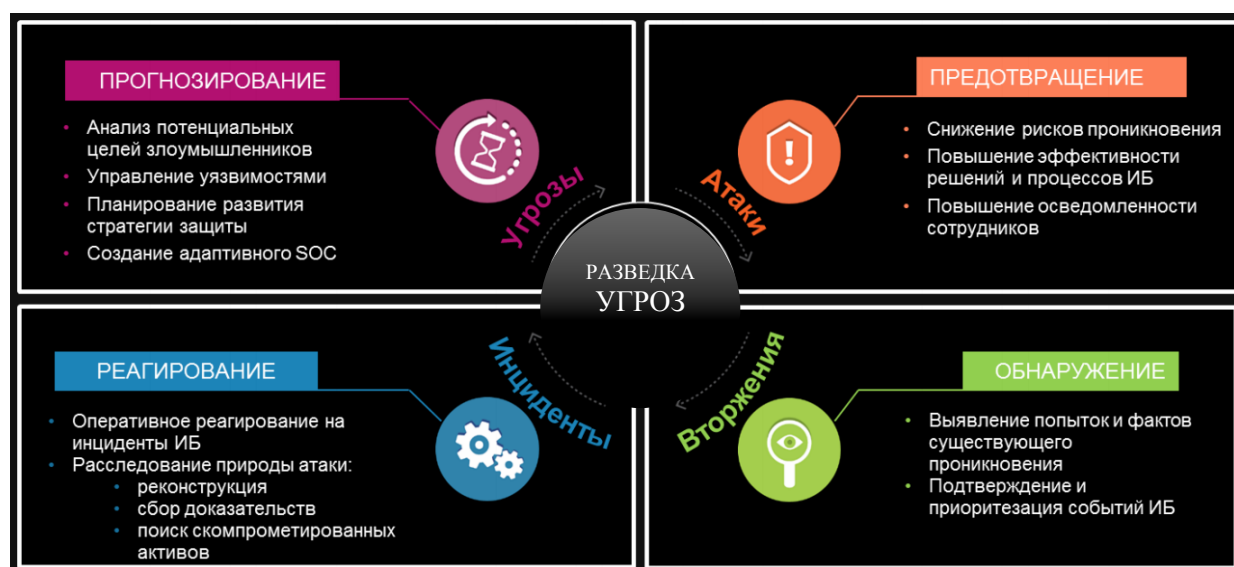


Рис. 3. Адаптивная модель организации ИБ от компании Gartner

В киберпространстве возможно проявление распространенных (согласно статистике «Лаборатории Касперского» – порядка 90 %), передовых (9%) и уникальных (1 %) угроз и использование соответствующих технологий защиты от их деструктивного воздействия, например, таких как сигнатуры и правила, эвристический и поведенческий анализ, глобальная облачная репутация и статистика угроз; машинное обучение. По области направленности различают массовые и комплексные целевые атаки. На рис. 4 представлены их потенциальные возможности.

Особенности	Массовая атака	Целевая атака
Число атакуемых объектов	Как можно больше	Один или некоторое число одинаковых
Учет особенностей конкретного объекта	Отсутствует	Детальный
Проникновение	Только извне	С использованием инсайдеров
Наличие заказа	НЕТ	ЕСТЬ
Сложность выявления	Средняя	Высокая
Ущерб	Непредсказуемый	Заранее просчитанный
Возможность предотвращения	Достаточно антивирусной программы	Нужны специальные средства и работа аналитиков

Рис. 4. Потенциальные возможности массовой и целевой атак (заимствовано у группы компаний InfoWatch)

Проводится краткий анализ возможностей и некоторых потребительских характеристик наиболее востребованных сейчас типов средств защиты информации (в их числе, систем сбора и корреляции событий (SIEM), систем глубокого анализа трафика (DPI), систем анализа поведения сети (NBA), средств контроля утечек (DLP), систем контроля деятельности сотрудников (EMS)).

Для защиты информации в киберпространстве в России используются решения зарубежных и отечественных компаний, ряд из которых обсуждается в докладе. На рис. 5 представлены концепция интегрированной системы защиты информации и решение QRadar компании IBM, являющееся платформой для построения единой системы информационной безопасности, а на рис. 6 – отечественное решение Kaspersky Anti Targeted Attack Platform.

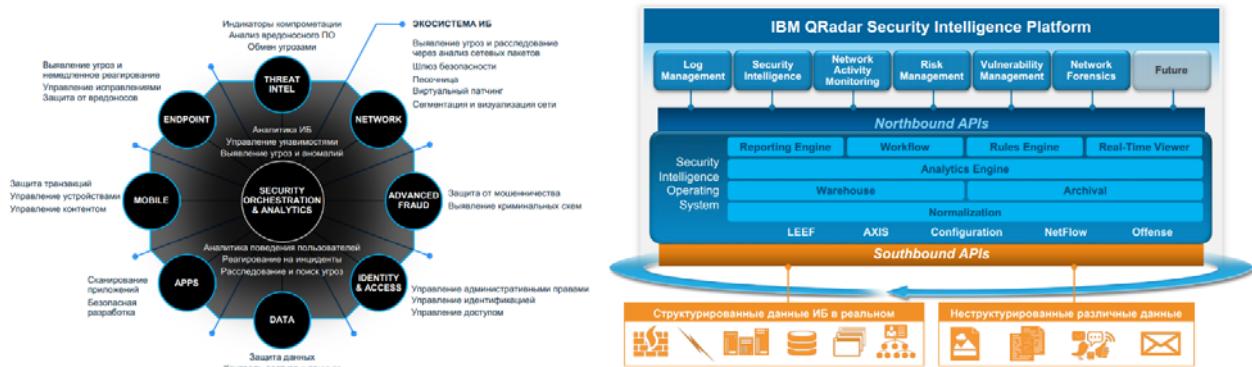


Рис. 5. Концепция системы защиты информации и платформа построения СИБ QRadar компании IBM

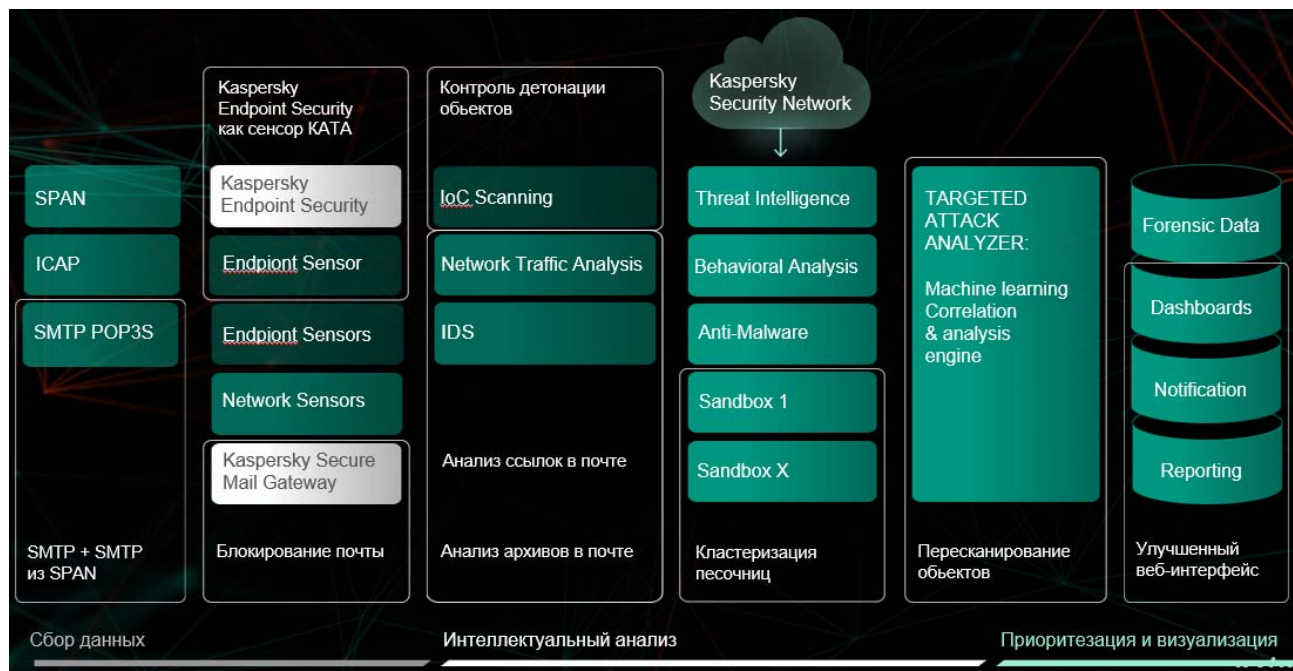


Рис. 6. Архитектура решения Kaspersky Anti Targeted Attack (KATA v.3) Platform

Как и в любой развитой стране, в России имеются объекты критической информационной инфраструктуры (КИИ) – информационные системы и информационно-телекоммуникационные сети государственных органов, а также информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети и автоматизированные системы управления технологическими процессами, функционирующие в оборонной промышленности, в сфере здравоохранения, транспорта, связи, в кредитно-финансовой сфере, энергетике, топливной, атомной, ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности [3]. Функционирование таких объектов поддерживается так называемыми ключевыми системами информационной инфраструктуры (КСИИ). КСИИ – информационно-управляющая или информационно-телекоммуникационная система, надежно поддерживающая непрерывность функционирования критически важного объекта и оперативно устраняющая любые сбои. В результате деструктивных воздействий, вредоносных атак на такую промышленную систему и ее уязвимости или критически важный объект (процесс) может сложиться чрезвычайная ситуация со значительными негативными, тяжелыми последствиями для региона или государства в целом.

Ныне для защиты сложных промышленных сред и КСИИ предлагаются различные решения, в их числе Kaspersky industrial cybersecurity «Лаборатории Касперского» (рис. 7).



Рис. 7. Структура решения Kaspersky industrial cybersecurity

Рост рынка облачных структур и перенос хранения данных в облака влечет за собой увеличение кибератак на облачные сервисы. Внедрение в киберпространство средств, основанных на разных новых технологиях, в том числе и технологии блокчейна (в их числе, смарт-контрактов, криптовалют и разных типов биткоин-кошельков), нуждается в новых решениях и документах российских регуляторов информационной безопасности. Так, например, речь идет о Федеральном законе «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 № 187-ФЗ, вступившем в силу 1 января 2018 года.

Развитие информационного общества неразрывно связано с решением проблемы информационной безопасности, имеющей множество рассматриваемых аспектов и включающей защиту информации (например, от утраты и искажения) и защиту от информации (ложной и избыточной). Она предполагает создание эффективной программы безопасности, базирующейся на проверенных практикой фундаментальных принципах, и применении эффективных моделей безопасности, систем выявления инцидентов информационной безопасности (любое непредвиденное или нежелательное событие, которое может нарушить деятельность или информационную безопасность) и раннего предупреждения о компьютерном нападении в киберпространстве [5], прежде всего, на критически важные информационные ресурсы, посредством враждебного использования информационно-телекоммуникационных технологий, а также ликвидации последствий компьютерных атак. Рассматриваются примеры зарубежных и проектируемых отечественных систем такого назначения с учетом уровней протоколов модели взаимодействия открытых систем (рис. 8).

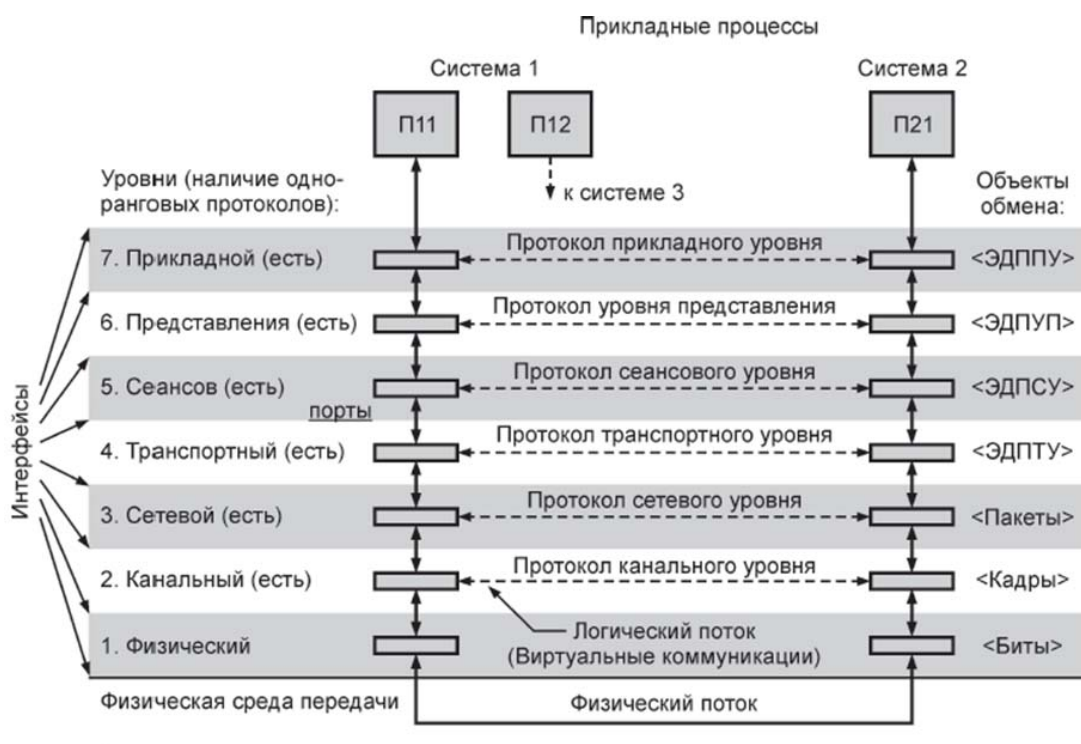


Рис. 8. Структура эталонной модели взаимодействия открытых систем

Следует обратить внимание на то, что при корректном рассмотрении угроз КСИИ требуется решение задач кибербезопасности: промышленной, функциональной и информационной безопасности.

В заключительной части детально обсуждаются проблемы и пути решения в ближайшее время задач информационной безопасности существующими технологиями в Интернете вещей и индустриальном Интернете вещей. Особое внимание уделяется менеджменту риска (полный процесс идентификации, контроля, устранения или уменьшения последствий опасных событий, которые могут оказать влияние на ресурсы информационно-телекоммуникационных технологий), различным методам социального инжиниринга, включая использование полиграфа для расследования инцидентов информационной безопасности, а также отечественным средствам и системам инсайдинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сырецкий Г.А. Информатика. Фундаментальный курс. Том I. Основы информационной и вычислительной техники. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Сырецкий Г.А. Информатика. Фундаментальный курс. Том II. Информационные технологии и системы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
3. Указ Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г. № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации».
4. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения: избранные труды. – М.: Экономика, 2002.
5. Петренко С.А., Ступин Д. Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении / под общей редакцией С.Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: Издательский Дом «Афина», 2017.

© Г. А. Сырецкий, 2018

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ УЯЗВИМОСТЕЙ И УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Яна Викторовна Юракова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, магистрант, тел. (906)195-59-91, e-mail: yana.yurackova@yandex.ru

Игорь Николаевич Карманов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационной безопасности, тел. (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

В данной статье описана, разработанная авторами, методика выявления взаимосвязей между выявленными уязвимостями информационной системы и угрозами безопасности информации. В качестве основного источника сведений об угрозах и уязвимостях в информационных системах использован Банк данных угроз (БДУ) безопасности информации, разработанный Федеральной службой по техническому и экспортному контролю РФ.

Ключевые слова: угрозы безопасности информации, защита информации, уязвимости информационной системы.

THE METHOD OF AUTOMATIC IDENTIFICATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN VULNERABILITIES AND THREATS TO INFORMATION SECURITY IN INFORMATION SYSTEMS

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Yana V. Yurakova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Graduate, e-mail: yana.yurackova@yandex.ru

Igor N. Karmanov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Department of, phone: (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

The article describes, the developed by the authors, technique of identifying the relationships between the identified vulnerabilities of the information system and threats to information security. As the main source of information about threats and vulnerabilities in information systems, the data Bank of information security threats (BIST) developed by the Federal service for technical and export control of the Russian Federation was used.

Key words: threats of information security, information protection, vulnerabilities of information system.

Введение

При идентификации актуальных угроз в различных информационных системах (ИС), как правило, учитываются следующие характеристики: источник угрозы; уязвимости, способствующие ее возникновению; способ реализации угрозы; последствия деструктивного воздействия. Такая форма представления сведений об угрозе используется в «Банке данных угроз безопасности информации» (далее – БДУ), разработанном ФСТЭК России и опубликованном в форме электронного ресурса [1]. Он содержит сведения об основных угрозах и уязвимостях, характерных, в первую очередь, для государственных информационных систем и автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов.

Для определения актуальных угроз нужно установить корректные взаимосвязи между параметрами, характеризующими угрозу. В описании каждой угрозы в БДУ содержатся сведения о типе нарушителя и его потенциале, способе реализации и возможных последствиях, что позволяет построить модель нарушителя и установить взаимосвязи между перечисленными параметрами угрозы.

Качественно иная ситуация имеет место при сопоставлении угроз и уязвимостей, поскольку соответствующие каталоги представлены в банке угроз обособлено. Установление вручную связи между уязвимостями и угрозами с использованием БДУ является крайне трудоемкой задачей. На сегодняшний день соответствующие каталоги содержат сведения о 200 угрозах и 16000 уязвимостях, а сопоставление уязвимости с угрозой можно реализовать только посредством «поиска по тегам» [2]. Сказанное определяет актуальность представленного исследования, состоящего в проектировании и разработке автоматизированной технологии сопоставления угроз и уязвимостей с использованием БДУ и позволяющего снизить трудоемкость задачи создания модели угроз.

Цель работы: разработка алгоритма для автоматизированного анализа и сопоставления угроз и уязвимостей на основе электронного ресурса БДУ.

Методика, на основе которой осуществляется автоматизированный анализ и сопоставление угроз и уязвимостей, включает шесть этапов. На первом этапе оператор ИС формирует запрос, содержащий сведения о программном (или аппаратном) средстве с указанием формы прохождения процедуры аутентификации, способа и уровня сложности получения доступа.

Сведения о программном средстве включают:

- вендор – производитель программного обеспечения (ПО), в котором обнаружена уязвимость;
- наименование ПО (в котором обнаружена уязвимость);
- версия ПО.

Параметры «способ доступа», «сложность получения доступа» и «аутентификация» напрямую не указаны в качестве параметра в БДУ ФСТЭК России,

однако значения этих показателей заложены в базовом векторе уязвимости. В терминах критериев оценки уязвимостей аутентификация бывает: единственная (однофакторная), множественная (многофакторная), не требуется (отсутствие проверки подлинности пользователя).

На втором этапе происходит обработка запроса, и осуществляется выборка уязвимостей из БДУ в соответствии с введенными параметрами.

В случае ручного поиска угроз (с помощью встроенных средств фильтрации в БДУ ФСТЭК России) выборка уязвимостей осуществляется посредством метода экспертной оценки. Затем для каждой найденной уязвимости выделяются ключевые слова (теги), которые в дальнейшем вводятся в поле «контекстный поиск по названию угрозы», и таким образом, эксперт получает выборку угроз.

На третьем этапе рассчитывается значение базовой метрики вектора, основываясь на том факте, что сведения, предоставленные оператором на этапе построения запроса, полностью коррелируют с полями записи об угрозе в БДУ, за исключением сведений о программном или аппаратном средстве.

Для расчета значения базовой метрики (BS) вектора «CVSS» используется формула:

$$BS = Round(((0,6 \cdot Im) + (0,4 \cdot Ex) - 1,5) \cdot Im),$$

где $Round()$ – функция округления до десятков;

Im – оценка последствий реализации, а именно влияние на конфиденциальность (C), целостность (I), доступность (A). Для его расчета используется формула:

$$Im = 10,41 \cdot (1 - (1 - C) \cdot (1 - I) \cdot (1 - A)).$$

Ex – оценка нарушителя, учитывающая способ получения доступа (AV), сложность получения доступа (AC), а также способ аутентификации (Au), вычисляется по формуле:

$$Ex = 20 \cdot AV \cdot AC \cdot Au.$$

На четвертом этапе, исходя из рассчитанных значений базовой метрики вектора «CVSS» [3,4] и имеющихся сведений об уязвимости в БДУ, исключаются те угрозы, у которых рассчитанный показатель отличается от значения, заданного в сведениях об уязвимости.

Таким образом, только в случае полного совпадения рассчитанного значения для угрозы и выгруженного параметра (значения базовой метрики вектора «CVSS») из сведений об уязвимости угроза включается в выборку.

На пятом этапе осуществляется отсеивание угроз на основе матрицы соответствия «Типа программного обеспечения» (запись об уязвимости в БДУ) и «Объекта воздействия» (запись об угрозе в БДУ).

На пересечении строк и столбцов матрицы экспертами выставляется определенный вес в диапазоне от 0 до 1. Пример назначения весов (заполнения матрицы соответствия) приведен в таблице. Шкала соответствия:

- «0» – тип ПО абсолютно не соответствует объекту воздействия;
- «0,5» – в случае наличия косвенной взаимосвязи между сравниваемыми категориями;
- «1» – полное соответствие типа ПО объекту воздействия.

Пример заполнения матрицы соответствия объектов воздействия и типов ПО

Объект воздействия \ Тип ПО	ПО виртуализации / ПО виртуального программно-аппаратного средства
Виртуальная машина	1
Защищаемые данные	0,5
Средство защиты	0

Правила определения весовых коэффициентов в матрице соответствия следующие. Весовой коэффициент «1» выставляется в том случае, если все эксперты считают, что тип ПО полностью соответствует объекту воздействия. В случае отсутствия связующих элементов между рассматриваемым типом ПО и объектом воздействия присваивается весовой коэффициент «0».

В случае возникновения спорной ситуации: когда хотя бы один эксперт считает, что тип ПО и объект воздействия косвенно взаимосвязаны, спор разрешается в пользу этого эксперта (присваивается вес 0,5), если он может привести аргументированное обоснование своей точки зрения.

Схематичное изображение правил приведено на рисунке.

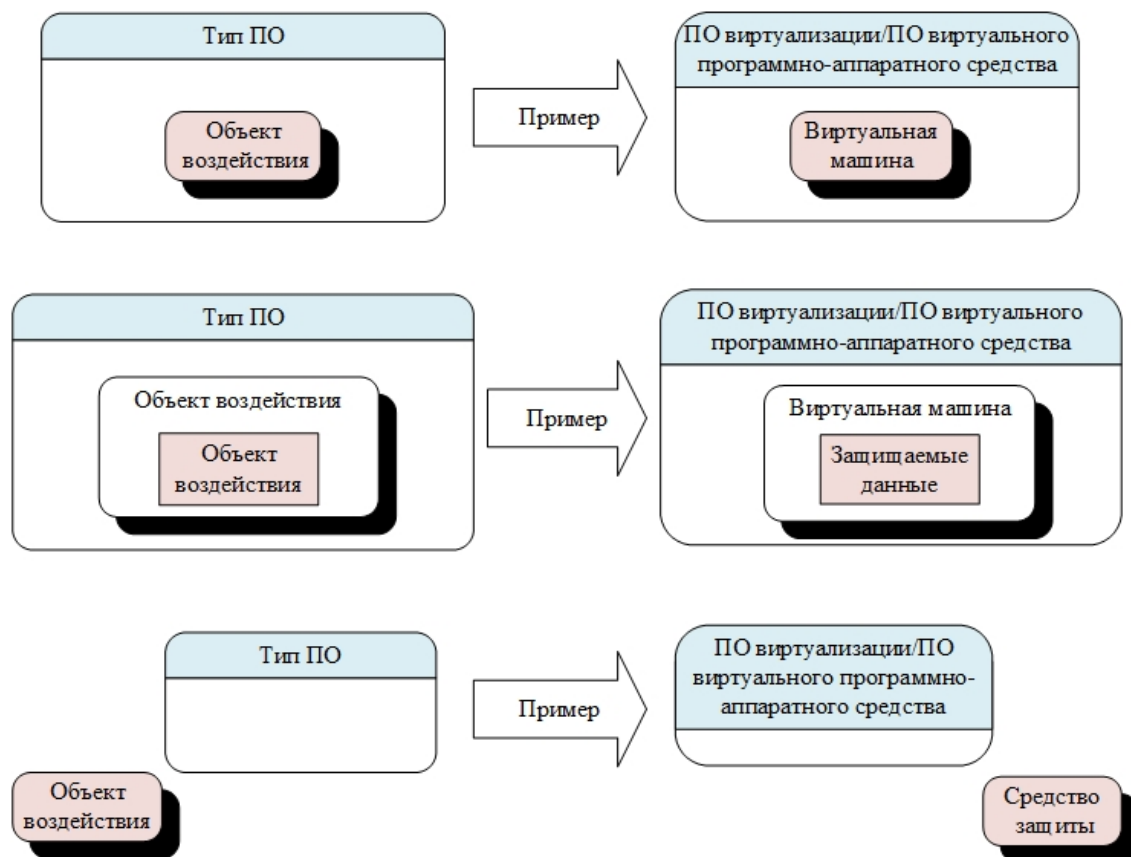
Виртуальная машина – это компьютерная программа, представляющая имитацию оборудования. Виртуализация – это процесс представления чего-либо в противоположность его физической реализации. Соответственно на пересечении строки (объекта воздействия) и столбца (типа ПО) выставляется весовой коэффициент «1».

Защищаемые данные не являются ПО виртуализации, однако настройки средств виртуализации, конфигурации сети могут относиться к защищаемым данным, что является аргументом в пользу наличия косвенной связи. Экспертами было принято решение присвоить весовой коэффициент «0,5».

В связи с тем, что средство защиты не является компонентом ПО виртуализации, и ни один из экспертов не привел ни одного аргумента в пользу наличия косвенной взаимосвязи, на пересечении строки (объекта воздействия, а именно «средство защиты») и столбца (типа ПО, а именно «ПО виртуализации / ПО виртуального программно-аппаратного средства») был выставлен весовой коэффициент соответствия «0».

В качестве критичного значения для принятия решения о соответствии угрозы и уязвимости установлен коэффициент равный 0,5. Это позволяет сфор-

мировать наиболее полную выборку угроз за счет учета компонентов рассматриваемого объекта воздействия, относящегося к типу ПО.



Основные правила определения критериев соответствия

На заключительном этапе формируется итоговая таблица, содержащая полученные результаты об угрозах и уязвимостях, способствующих ее реализации и актуальных для данной ИС.

Заключение

Таким образом, цель, поставленная в данной работе, достигнута: разработан алгоритм для автоматизированного анализа и составления угроз и уязвимостей на основе электронного ресурса БДУ. На основе данного алгоритма разработано веб-приложение «ThreVulSec».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банк данных угроз ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bdu.fstec.ru>.

2. Селифанов В.В., Слонкина И.С., Юракова Я.В. Определение актуальных угроз безопасности информации в государственных информационных системах, используя Банк данных угроз // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов в 9 частях. – Новосибирск, 2016. - С. 69-71.

3. First (Forum of Incident Response and Security Teams) – Common Vulnerability Scoring System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://first.org/cvss>.

4. Блог компании «Positive Technologies» – «Оценка уязвимостей CVSS 3.0» от 10.09.2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/pt/blog/266485/>.

© В. В. Селифанов, Я. В. Юракова, И. Н. Карманов, 2018

ТРЕБОВАНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МЕЖСЕТЕВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИНЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Александр Сергеевич Гордеев

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, заместитель начальника отдела, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Игорь Николаевич Карманов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационной безопасности, тел. (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

В статье рассматриваются изменения, происходящие в системе требований к обеспечению защищенности межсетевого взаимодействия государственных информационных систем с другими информационными системами.

Ключевые слова: государственные информационные системы, межсетевое взаимодействие, защита информации, законодательная база.

REQUIREMENTS FOR INFORMATION SECURITY IN CROSS-NETWORK INTERACTION OF THE STATE INFORMATION SYSTEMS WITH OTHER INFORMATION SYSTEMS

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Aleksandr S. Gordeev

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Deputy Head of Department, e-mail: a.s.gordeev.90@gmail.com

Igor N. Karmanov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Department of, phone: (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

The article concerns the changes that occur in the system of requirements to ensure the security of the cross-network interaction of state information systems with other information systems.

Key words: state information systems, inter-network interaction, information security, legislative base.

В настоящее время идет активный процесс внедрения информационных технологий в деятельность государственных органов всех уровней. Основная цель этих нововведений – повышение эффективности работы, а именно:

- повышение эффективности управления, в том числе и за счет введения системы межведомственного электронного взаимодействия;
- снижение затрат на содержание государственных органов;
- появление доступных, быстрых и удобных для граждан государственных услуг.

При всех однозначных плюсах от внедрения нововведений в виде информационных технологий, органы исполнительной власти столкнулись и с некоторыми издержками, такими как постоянное подключение своих информационных систем к непрерывно изменяющейся среде – сети «Интернет». Это привело к экспоненциальному росту количества атак на информационные системы, теперь многие уязвимости программного обеспечения стали доступны многократно увеличившемуся числу нарушителей.

Постоянно нарастающие возможности нарушителей и рост количества атак на государственные информационные системы заставляют менять и требования к системе защиты информации.

Их можно разделить на две большие группы – требования к созданию и эксплуатации автоматизированной системы в защищенном исполнении и требования к средствам защиты информации.

Рассмотрим первую. Глобальные изменения в подходах к системе защиты информации произошли в 2013 году с вступлением в силу приказов ФСТЭК России № 17 [1], 21 [2] и № 31 [3].

Наблюдается переход на риск-ориентированный подход, то есть система защиты, в первую очередь, строится, исходя из класса информационных систем [4] и угроз, которые признаны актуальными оператором информационной системы. Существенно расширен список подсистем защиты информации, до 13 в приказе № 17 ФСТЭК России, до 15 в приказе № 21 и до 23 в приказе № 31.

Например, в приказе ФСТЭК России № 17 непосредственно ответственными за обеспечение безопасного межсетевого взаимодействия можно считать сразу восемь подсистем (мер).

Отдельно стоит отметить большое внимание, уделенное анализу уязвимостей. Теперь это отдельный этап создания системы защиты государственной информационной системы. Основной целью этих работ является подтверждение того, что система защиты информации эффективна, и угрозы безопасности информации, актуальные для конкретной автоматизированной системы, учтены при проектировании. То есть речь идет об оценке возможности преодоления нарушителем системы защиты информационной системы и предотвращения реализации угроз безопасности информации.

В соответствии с приказами ФСТЭК России № 17 и № 31, анализ уязвимостей информационной системы включает анализ уязвимостей средств защиты

информации, технических средств и программного обеспечения информационной системы.

При анализе уязвимостей информационной системы проверяется отсутствие известных уязвимостей средств защиты информации, технических средств и программного обеспечения, в том числе с учетом информации, имеющейся у разработчиков и полученной из других общедоступных источников, правильность установки и настройки средств защиты информации, технических средств и программного обеспечения, а также корректность работы средств защиты информации при их взаимодействии с техническими средствами и программным обеспечением.

Анализ уязвимостей средств защиты информации проводится на этапе оценки соответствия (сертификации) и регламентирован стандартами ИСО/МЭК 15408-1,2,3 [5–7] и 18045 [8]. На этапе внедрения можно воспользоваться, в зависимости от поставленных задач, и ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 19791 [9].

Они определяют проведение анализа уязвимостей средств защиты информации в зависимости от их класса. Всего можно использовать четыре компонента доверия в зависимости от возможного потенциала нарушителя.

Для анализа уязвимостей на данный момент разработаны и утверждены два стандарта: ГОСТ Р 56546-2015 «Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем»; ГОСТ Р 56545-2015 «Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей».

Отдельно стоит отметить создание открытого информационного ресурса – банка данных угроз безопасности информации (БДУ). Он содержит сведения об основных угрозах и уязвимостях, характерных, в первую очередь, для государственных информационных систем и автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов. Вместе с тем, данные БДУ могут быть использованы для гораздо более широкого спектра информационной системы (ИС). Следует отметить, что, в отличие от статичных сведений в нормативно-методических документах, этот ресурс является динамическим в смысле регулярной актуализации данных об угрозах. На сегодняшний день соответствующие каталоги содержат сведения о более чем 200 угрозах и 16000 уязвимостях, а сопоставление уязвимости и угрозы можно реализовать только посредством «поиска по тегам».

Еще одним существенным нововведением является смещение акцента с этапа аттестации информационной системы на этап обеспечения защиты информации в ходе эксплуатации. Вообще, этим процедурам в требованиях ФСТЭК России теперь отводится очень много внимания, в частности, в приказе ФСТЭК России № 17 выделено пять отдельных процедур эксплуатации системы защиты: управления (администрирования) системой защиты информации информационной системы; выявления инцидентов (одного события или группы событий), которые могут привести к сбоям или нарушению функционирования информационной системы и (или) к возникновению угроз безопасности информации (далее – инциденты), и реагирования на них; управления конфигурацией

аттестованной информационной системы и системы защиты информации информационной системы; контроля (мониторинга) за обеспечением уровня защищенности информации, содержащейся в информационной системе; защиты информации при выводе из эксплуатации информационной системы или после принятия решения об окончании обработки информации.

При этом нужно отметить и постоянное усиления внимания со стороны регулятора к этим вопросам, например, появление в приказе ФСТЭК России № 31 «нулевой» меры в каждой группе мер, устанавливающей требования по обязательной разработке правил и процедур (политик), отдельно для каждой группы.

Анализ существующих нормативных правовых актов, методических документов и ГОСТов, показывает, что для большинства видов объектов защиты процессы создания и оценки эффективности [12] системы управления (менеджмента) отсутствуют. Конечно, отдельно можно выделить стандарты Банка России, документы Госкорпорации Росатом и некоторые другие, но они решают проблему только в своих достаточно узких системах.

Здесь оператору необходимо использовать собственные практики и опыт. Так же можно воспользоваться «инструментами» применяемыми в стандартах серии 2700Х.

Интегрировать их в систему защиты информации позволяет ГОСТ Р 51583-2014 [10].

С 2012 года ФСТЭК России осуществляет постепенный переход на требования к средствам защиты информации от несанкционированного доступа нового поколения. На данный момент действуют шесть приказов: Требования к системам обнаружения вторжений; Требования к средствам антивирусной защиты; Требования к средствам доверенной загрузки; Требования к средствам контроля съемных машинных носителей информации [14]; Требования к межсетевым экранам; Требования безопасности информации к операционным системам.

В ближайшие два года планируется полный переход от системы требований руководящих документов Гостехкомиссии России к системе требований нового поколения.

Основное отличие новой системы требований – это интеграция требований с международной системой сертификации, основанной на системе стандартов ИСО/МЭК 15408; включение в систему сертификации требований к качеству создания средства защиты анализа уязвимостей, поддержке и жизненного цикла; переход на единую систему классификации средств защиты - вводится 6 классов, в зависимости от необходимого уровня обеспечения конфиденциальности (целостности, доступности) информации, и различные типы (в данный момент максимально 5), в зависимости от назначения [13].

Отдельно стоит отметить планируемые требования к средствам управления потоками информации или к маршрутизаторам, а также средствам контроля и анализа защищенности, после их введения линейка средств защиты получит законченный вид. Они будут включать в себя такие виды средств защиты инфор-

мации, как системы обнаружения вторжений, межсетевые экраны, маршрутизаторы и средства анализа защищенности.

Проводимые ФСТЭК России изменения нормативной правовой и методической базы в области технической защиты информации носят следующий характер: во-первых, системно и последовательно меняют требования к защите информации, позволяя строить и эксплуатировать системы защиты информации практически всех существующих информационных систем [12]; во-вторых, позволяют операторам информационных систем использовать как существующие международные практики, так и собственные наработки, а также достаточно комфортно встраивать их в систему аттестации [11]; в-третьих, достаточно объемны (несколько десятков документов в год) и требуют от всех задействованных лиц постоянного внимания и модернизации подходов и инструментов создания и оценки систем защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах: Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
2. Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21 / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
3. Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды: Приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
4. Селифанов В.В. Классификация автоматизированных систем // Science Time, 2016. – № 4 (28).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 1. Введение и общая модель» / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные требования безопасности» / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности» / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19791-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Оценка безопасности автоматизированных систем» / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных техноло-

гий». / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.

10. ГОСТ Р 51583-2014. Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения. / Правовой сервер «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.

11. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

12. Курносое К.В., Селифанов В.В. Требования к системе защиты информации для виртуальной инфраструктуры // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). – С. 16–24.

13. Пестунова Т.М., Селифанов В.В., Слонкина И.С., Юракова Я.В. Автоматизированная технология сопоставления угроз и уязвимостей безопасности информации в информационных системах // В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности, труды Межвузовской научно-практической конференции. 2017. С. 156-160.

14. Селифанов В.А., Селифанов В.В. Способ моделирования процессов управления техническими средствами и система для его осуществления // Патент на изобретение RUS 2331096 08.02.2007.

© В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, И. Н. Карманов, 2018

МОБИЛЬНАЯ КРИМИНАЛИСТИКА: ЗАДАЧИ И ТЕХНОЛОГИИ

Семен Владимирович Камышев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (913)794-33-72, e-mail: ya.lulzZz2012@yandex.ru

Игорь Николаевич Карманов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационной безопасности, тел. (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

В работе рассмотрена проблема формирования доказательной базы по преступлениям, предусмотренным Главой 28 УК РФ. Рассмотрены практические аспекты извлечения данных с устройства, функционирующего на базе операционной системы iOS. Приведены результаты эксперимента по логическому извлечению данных путем анализа резервной копии системы.

Ключевые слова: мобильная криминалистика, компьютерная криминалистика, iOS.

MOBILE FORENSICS: TASKS AND TECHNOLOGIES

Semyon V. Kamyshev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (913)794-33-72, e-mail: ya.lulzZz2012@yandex.ru

Igor N. Karmanov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Department of, phone: (903)937-24-90, e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

In this paper the problem of forming the evidence base for crimes under Chapter 28 of the Criminal code of Russian Federation is considered. The practical aspects of data extraction from a device functioning on the basis of the iOS operating system are revealed. The results of the experiment on logical data extraction by analyzing the system backup are presented.

Key words: mobile forensic, computer forensic, iOS.

Революционный рывок технологий в последние десятилетия значительно упростил решение многих сложных задач, однако, данный процесс породил и целый ряд негативных воздействий как на общество, так и на государство. Злонамеренные действия, совершенные с использованием компьютерных, мобильных и сетевых технологий, стали обыденностью. В докладе правительству РФ о деятельности прокуратуры за 2016 год генеральный прокурор Юрий Чайка отметил, что есть проблемы с противодействием киберпреступности. Он отмечает резкий рост преступлений, совершенных с помощью использованием ИТ-технологий, и крайне малый процент их раскрываемости. За прошедший год

было раскрыто всего 8 % мошеннических действий» [1]. На данный момент Уголовный кодекс Российской Федерации содержит четыре состава преступлений в сфере компьютерной информации – статьи 272, 273, 274, 274.1 главы 28. Данная глава называется «Преступления в сфере компьютерной информации». Термин «компьютерные преступления» является более широким и обобщенным, так как включает в себя также такие преступления как кардинг, социальную инженерию, промышленный шпионаж и т. д.

Развитие технологий в вопросах совершения преступления и противодействия ему является обоюдоострым оружием. С одной стороны, с развитием технологий появляется возможность совершать злонамеренные действия с использованием новых орудий преступления, с другой, появляются дополнительные возможности раскрытия преступлений. Кроме того, развитие технологий порождает новые общественные отношения, которые могут являться предметом посягательств со стороны злоумышленника.

В связи со сложившейся обстановкой остро стоит вопрос расследования преступлений, совершаемых в IT-сфере. Подобные преступления отличаются от классического мошенничества или преступления, совершенного с причинением вреда здоровью или посягательства на жизнь. Эксперты-криминалисты могут обнаружить улики подобных преступлений и впоследствии предоставить в качестве доказательств в суде. Проблема при доказательстве преступлений, отнесенных к сфере компьютерной информации, заключается в том, что доказательством подобных преступлений является информация (следы, оставленные злоумышленником при совершении преступления), хранящаяся на компьютерах, мобильных и сетевых устройствах. Такую информацию очень просто уничтожить, как намеренно, так и случайно, или подделать. Суть проблемы в том, что такие доказательства невозможно воспринимать напрямую органами чувств человека. Из вышесказанного следует, что задача компьютерной криминалистики заключается в получении, документировании и представлении доказательств на судебных заседаниях, а также в сохранении неизменности получаемой информации.

Компьютерная криминалистика является прикладной наукой о раскрытии и расследовании преступлений, связанных с компьютерной информацией, о методах получения и исследования доказательств, имеющих форму компьютерной информации, о применяемых для этого технических средствах [2].

В настоящее время существует более общий термин «цифровая криминалистика», она включает в себя компьютерную, мобильную и сетевую криминалистику.

Предметом рассмотрения данной статьи была выбрана мобильная криминалистика. Она имеет три направления: исследование устройств, функционирующих на базе операционных систем iOS, Android и BlackBerry.

Существует довольно много инструментов для работы с мобильными устройствами, как «open source» решения, так и коммерческие продукты, часть из них доступна только для покупки, найти подобные программные продукты в

сети Интернет не представляется возможным. Далее приведены наиболее популярные программные продукты.

Libimobiledevice – кроссплатформенная программная библиотека, использующая протоколы iPhone, iPod Touch, iPad и AppleTV для связи с этими устройствами. В отличие от других проектов она не зависит от существующих программных библиотек и не требует получение полного доступа к файловой системе (jailbreak) устройства. Также она включает другое программное обеспечение для легкого доступа к файловой системе устройств получения информации об устройстве, органах управления, резервных копиях устройства, управления установленными приложениями, пересылки контактов, календарей, заметок и закладок и синхронизации музыки и видео. Данная библиотека развивается с августа 2007 года, ее цель – поддержка i-устройств операционными системами семейства Linux [4].

Для исследования устройств на базе iOS используется Elcomsoft iOS Forensic Toolkit. Это – специализированный продукт для криминалистического исследования устройств на основе Apple iOS. iOS Forensic Toolkit позволяет экспертам правоохранительных органов производить сбор информации и проводить судебные и компьютерно-технические экспертизы устройств iPhone, iPad и iPod производства компании Apple, работающих под управлением iOS версий с 3 по 11 [5].

С помощью iOS Forensic Toolkit возможно получить полный доступ к информации, хранящейся в поддерживаемых устройствах. Продукт обеспечивает целостность и неизменность исследуемых данных. С помощью iOS Forensic Toolkit специалисты могут получить доступ к расшифрованному образу файловой системы устройства, расшифровать коды, пароли и прочую защищенную информацию. Доступ к основному массиву данных осуществляется мгновенно, в реальном времени [5].

Главный недостаток данного программного продукта заключается в том, что он не имеет демонстрационных версий, и при этом его цена довольно высока.

Еще один мощный инструмент для проведения криминалистической экспертизы любого устройства – MOBILedit Forensic Express. Этот продукт служит для извлечения данных, как из самого устройства, так и из облака, имеет функционал анализатора данных и генерирует отчеты. Все эти функции являются частью единого решения [6]. MOBILedit Forensic Express – мощный 64-битный инструмент, использующий физическое и логическое извлечение данных. К достоинствам данного продукта можно отнести возможность работать с устройствами, функционирующими под управлением разных операционных систем, и возможность работать в интеграции с другими продуктами и решениями компании Compelson. Этот программный продукт является прямым конкурентом Elcomsoft iOS Forensic Toolkit, имеет ту же модель распространения, т. е. не имеет демонстрационных версий.

Исходя из того, что наиболее доступным инструментом является libimobiledevice, воспользуемся им чтобы продемонстрировать наглядно работу мобильного криминалиста. В качестве устройства для тестов был выбран iPh-

one 4s, использующий операционную систему iOS версии 8.4.1. В качестве операционной системы, используемой в работе, выступает BackBox Linux – свободно распространяемая ОС для «этичного хакинга».

Устройства под управлением операционной системы iOS имеют файловую систему HFSX. HFSX – файловая система, разработанная Apple Inc в качестве замены HFS – Hierarchical File System («иерархическая файловая система»), являющейся главной файловой системой, используемой на компьютерах Mac. HFSX является почти полной копией HFS+, их различие состоит в том что первая позволяет работать в режиме с учетом регистра имен [7].

Если речь идет о восстановлении данных из HFS или HFS+, используется метод карвинга. Большинство карверов восстанавливают данные, опираясь на заголовки и расширения.

Проблема состоит в том, что Apple для защиты данных на своих устройствах использует технологию Data Protection. При создании нового файла генерируется уникальный 256-битный ключ (File Key), он шифруется так называемым Class Key и хранится в метаданных файла, а те, в свою очередь, шифруются ключом файловой системы (EMF Key), который генерируется на основе UID устройства [9]. Вследствие этого, мы имеем данные в свободной области устройства, но не можем их прочитать, так как они зашифрованы.

Для извлечения данных из устройств на базе iOS существует три основных метода.

1. Извлечение данных на логическом уровне. С помощью резервного копирования извлекается часть файловой системы. Недостаток этого метода в том, что невозможно получить такую информацию, как электронная почта, базы данных геолокации, кэш приложений, а часто именно она является важной с точки зрения криминалистики.

2. Извлечение на уровне файловой системы. Данный метод позволяет извлечь все данные, видимые на уровне операционной системы, однако, нет возможности восстановить удаленные файлы, кроме баз данных SQLite и миниатюр удаленных изображений.

3. Извлечение на физическом уровне (физическое извлечение). Данный метод является наиболее эффективным и позволяет извлечь максимальное количество данных, в том числе и удаленных. Для осуществления этого метода необходим jailbreak устройства.

Приступая к исследованию устройства, сначала необходимо его идентифицировать. Делается это для того, чтобы можно было представить строго задокументированные доказательства в суде.

Воспользуемся нижеприведенной командой:

```
$ ideviceinfo
```

Результатом выполнения данной команды будет отображение информации об устройстве. Далее приведена наиболее интересная с точки зрения криминалистики информация:

BluetoothAddress: 60:fa:c:5a:be:*4*
DeviceClass: iPhone
DeviceName: Lex
EthernetAddress: 60:fa:c:5a:be:*5*
*PhoneNumber: +7 (913) ***-**-72*
ProductType: iPhone4,1
ProductVersion: 8.4.1
*SerialNumber: C37GXDE******
TimeZone: Asia/Novosibirsk
UniqueDeviceID: 670265916b486005f58dbe4bde0e72a9eeab9841
WiFiAddress: 60:fa:cd:5a:be:b3

После сбора идентификационной информации можно приступить непосредственно к извлечению данных. Так как на исследуемом устройстве не выполнен jailbreak, то физическое извлечение проводиться не будет. Используя утилиту `idevicebackup2` (`idevicebackup` используется для iOS версии 4 и младше) осуществим логическое извлечение, создав файл резервной копии.

\$ idevicebackup2 backup ~/Desktop/Forensic/backup

После создания файла резервной копии перейдем непосредственно к исследованию извлеченной информации.

Перейдя в директорию резервной копии, мы увидим файлы, название которых состоит из 40 символов, а также файлы `Status.plist`, `Manifest.plist`, `Manifest.mbdb`, `Info.plist`. Эти файлы хранят данные, описывающие содержимое директории, а также хранят информацию об устройстве (номер телефона, имя устройства, ICCID, IMEI, серийные номера). Остальные файлы - это непосредственно файлы резервной копии. Такое наименование файлов объясняется тем, что их названия – хеш-сумма SHA-1, рассчитанная от полного пути доступа к файлу, включая домен и субдомен.

Каждый файл резервной копии принадлежит одному из доменов:

`App domain` – содержит данные, относящиеся к установленным приложениям;

`Camera Roll domain` – содержит данные, полученные посредством камеры устройства, например фотографии, видеозаписи, а также миниатюры изображений;

`Home domain` – содержит данные приложений, установленных в iOS по умолчанию;

`Keychain domain` – содержит зашифрованные данные, относящиеся к так называемой связке ключей;

`Media domain` – включает все мультимедиа элементы, которые не относятся к камере устройства, например изображения из MMS-сообщений или голосовые сообщения;

Mobile Device domain – содержит профили, включающие в себя сертификаты, информацию об устройстве и программном обеспечении;

Root domain – содержит кешированные данные геолокационных сервисов устройства;

System Preferences domain – содержит конфигурационные файлы базовых компонентов iOS [9].

В данном случае резервная копия содержит 10209 файлов, большая часть из которых принадлежит домену Camera Roll domain и Media domain и представляет собой полноценные изображения, как находящиеся в галерее устройства, так и загруженные в процессе работы с веб-страницами или мессенджерами, а также миниатюры изображений.

Кроме этого присутствуют файлы баз данных, их значительно меньше, чем изображений, но в них может содержаться ценная информация. Для работы с такими файлами можно воспользоваться утилитой SQLite Browser.

Исследовать полученную резервную копию можно с помощью различного программного обеспечения, такого как iBackup Viewer, iExplorer или iPBA, которое и использовалось в данной работе.

Открыв резервную копию с помощью iPBA, воспользуемся фильтрами. Так как резервная копия содержит ограниченное количество информации, в рамках данной работы не были получены такие сведения, как список контактов и список вызовов. Однако, удалось получить SMS-сообщения с временными метками, список открытых страниц браузера и список закладок, а также, при более скрупулезном изучении данных с использованием iPBA удалось найти пароли от части приложений.

Значение мобильной криминалистики в наши дни трудно переоценить. Рассмотрев в данной работе методы извлечения данных из устройства на базе iOS и убедившись, что даже будучи ограниченным в методах и средствах, специалист по мобильной криминалистике может извлечь данные, которые впоследствии будут использоваться как доказательства вины или же невинности. Однако рассмотренный эксперимент демонстрирует только малую часть возможностей, доступных экспертам-криминалистам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генпрокурор указал на проблемы с киберпреступностью [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/blog/company/CABIS/341493.php>.
2. Федотов Н.Н. Форензика – компьютерная криминалистика – М.: Юридический Мир, 2007. – 432 с.
3. Компьютерная криминалистика (форензика) – обзор инструментария и тренировочных площадок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/pentestit/blog/327740/>.
4. Libimobiledevice. A cross-platform software protocol library and tools to communicate with iOS® devices natively. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.libimobiledevice.org/>.
5. Криминалистический анализ устройств iPhone/iPad/iPod на основе Apple iOS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elcomsoft.ru/eift.html>.

6. MOBILedit Users Guides. Getting started [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://support.mobiledit.com/portal/kb/articles/getting-started>.
7. HFSX [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.remsoftware.com/glossary/hfsx>.
8. iOS Security Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.apple.com/business/docs/iOS_Security_Guide.pdf.
9. Скулин О. Мобильная криминалистика. Извлекаем данные из iOS – устройств и проводим их анализ // Хакер. – 2016.

© С. В. Камышев, И. Н. Карманов, 2018

ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДИКАМ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВИРТУАЛИЗАЦИЮ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Диана Георгиевна Макарова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ассистент кафедры информационной безопасности, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

Тамара Михайловна Пестунова

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационной безопасности, e-mail: t.m.pestunova@nsuem.ru

Кирилл Викторович Курнос

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, аспирант, тел. (913)753-21-81, e-mail: k.v.kurnosov@nsuem.ru

Ключевые слова: цифровая экономика, информационная безопасность, оценка безопасности, информационные системы, виртуализация.

В статье рассмотрено определение требований к методикам оценки безопасности информационных систем, построенных на базе виртуальной инфраструктуры. Анализ текущего состояния нормативно-методического обеспечения в сфере безопасности виртуальных инфраструктур позволил выделить актуальные проблемы, связанные с нормативно-методической базой и стандартизацией.

REQUIREMENTS TO METHODS OF SECURITY ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS USING VIRTUALIZATION

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Diana G. Makarova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Assistant, Department of Information Security, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.ib@ssga.ru

Tamara M. Pestunova

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Department of Information Security, e-mail: t.m.pestunova@nsuem.ru

The article considers the definition of requirements to methods for assessing the security of information systems built on the basis of a virtual infrastructure. The analysis of the current state of normative and methodological support in the sphere of security of virtual infrastructures made it possible to outline current problems related to the regulatory and methodological base and standardization.

Key words: digital economy, information security, security assessment, information systems, virtualization.

Виртуализация является одной из самых быстро растущих областей ИТ-рынка России – по оценкам компании IDC объем рынка облачных услуг в 2016 году вырос на 20 % относительно 2015 года, а в 2017 еще на 11 % [1]. В утвержденной постановлением правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р программе «Цифровая экономика Российской Федерации» информационная безопасность отнесена к числу базовых направлений развития цифровой экономики. Одним из основных препятствий, при этом, являются нерешенные проблемы обеспечения информационной безопасности в сложных иерархичных информационно-телекоммуникационных системах, широко использующих виртуализацию. В соответствии с дорожной картой реализации работ по информационной безопасности в программе цифровой экономики, важной задачей является разработка методик оценки показателей информационной безопасности в информационных системах (ИС), в том числе построенных с использованием технологий виртуализации.

Целью статьи является определение требований к методикам оценки безопасности ИС, построенных на базе виртуальной инфраструктуры. Анализ текущего состояния нормативно-методического обеспечения в сфере безопасности виртуальных инфраструктур позволяет выделить следующие проблемы, связанные с нормативно-методической базой и стандартизацией.

1. Недостаточная нормативная база обеспечения безопасности ИС, использующих технологии виртуализации.

Область нормативного обеспечения только начала свое развитие. Утвержден ГОСТ Р 56938-2016 «Защита информации при использовании технологий виртуализации» [3]. Помимо этого, использование виртуализации регламентируется в приказах ФСТЭК №17 [4], №21 [5], №31 [6]. В банковском секторе представлен стандарт РС БР ИББС-2.8-2015 [7]. В тех областях, на которые эти документы не распространяются, использование технологий виртуализации никак не регламентировано.

2. Дефицит методического обеспечения для построения систем защиты и оценки уровня защищенности систем, использующих технологии виртуализации.

О виртуализации говорится только в методическом документе ФСТЭК России «Меры защиты информации в ГИС» [8] и неутвержденной методике оп-

ределения угроз безопасности [9]. В остальных случаях предполагается использование общих методик, которые не всегда применимы к специфике виртуальных инфраструктур или могут не учитывать особенности построения ИС с использованием технологий виртуализации.

3. Оценка уровня доверия к платформам виртуализации и разработанных для них средствам защиты.

Подавляющее большинство платформ виртуализации разработано западными вендорами. Отечественные продукты «Сервионика» и «Росплатформа» также основаны на использовании иностранных разработок. При этом большинство платформ предоставляются с частично или полностью закрытым исходным кодом, что создает проблемы при оценке уровня доверия к ним. Задача осложняется отсутствием методик оценки, учитывающих особенности, присущие технологиям виртуализации.

По результатам анализа пяти нормативно закреплённых отечественных методик рекомендаций по определению угроз и оценке безопасности в ИС разного назначения [8–12] и пяти методик, предложенных другими авторами [13–17], были сделаны следующие выводы.

1. Существующие методики позволяют получить статическую оценку системы в определенный момент времени и не учитывают изменения в инфраструктуре и (или) внешней среде. Данная оценка не может считаться актуальной после даже незначительных изменений, примерами которых являются установка обновлений, замена ПО, публикация информации о новых методах атак, изменение уровня важности защищаемой информации. Пересчет показателей при подобных изменениях выполняется вручную, являясь достаточно трудоемким даже для высококвалифицированных специалистов.

2. Компоненты системы в данных методиках рассматриваются как отдельные элементы. Не учитывается специфическая связь между объектами, присущая виртуальным инфраструктурам, и влияние реализации одних угроз на возможность реализации других. Например, компрометация гипервизора практически всегда будет нести за собой компрометацию виртуальных машин, управляемых им.

3. Основным критерием оценки угроз является субъективная оценка экспертов. Такой подход к оценке рассматривает угрозу как отдельную сущность, а не взаимосвязанный набор компонентов, из которых она сформирована, что ограничивает возможность формализации и математических обоснований [9].

В данной работе предложены требования, которым должна отвечать методика оценки безопасности ИС, функционирующих на базе технологий виртуализации.

1. Пространство понятий.

В настоящий момент нормативно-методическая база информационной безопасности находится в стадии активного развития. В связи с этим нередко встречаются ситуации, когда одно и то же понятие в разных документах трактуется по-разному. Примером является даже понятие «угроза», имеющее раз-

личные толкования [18]. В целях унификации в методике должны использоваться понятия, определяемые соответствующим ГОСТом [3].

2. Формализация.

Методика должна оперировать понятиями, поддающимися математической формализации и состоящими из простых элементов, допускающими количественные оценки или имеющими качественные характеристики, представленные конечными списками возможных состояний.

3. Спецификация.

Методика оценки безопасности ИС на виртуальных инфраструктурах должна учитывать их специфику. Виртуализация имеет принципиальные отличия от технологий, работающих на физических сущностях. Многие особенности, такие как наличие гипервизора, моментальных снимков («снапшотов») или эталонных образов, не имеют аналогов в обычных ИС, поэтому некорректно оценивать их безопасность по общим методикам.

4. Взаимосвязанность.

При использовании технологий виртуализации многие компоненты взаимосвязаны гораздо теснее, чем компоненты обычных ИС. Такие компоненты как гипервизор, виртуальная машина, виртуальная сеть невозможно рассматривать изолированно ввиду их технологической реализации. Любые угрозы, настройки и изменения в одном из компонентов имеют значительное влияние на смежные. Важной особенностью является то, что одни самостоятельные объекты являются просто данными для других, являющихся их носителями [19].

5. Динамичность.

Информационная система и внешняя среда не являются статическими объектами: регулярно обнаруживаются новые уязвимости программного обеспечения, появляются новые методы атак, выходят обновления и патчи, способные за несколько недель значительно изменить функционал платформ виртуализации. Важность информации и ее свойств тоже не является постоянной величиной. Если речь идет о реальном обеспечении безопасности, а не о разовом выполнении нормативных требований при аттестации, то методика должна иметь механизмы, позволяющие с минимальными затратами ресурсов актуализировать оценку уровня безопасности ИС «на лету». На практике это означает, что методика должна иметь возможность автоматизации процесса оценки при изменении ИС или внешней среды.

Соблюдение данных требований является необходимым условием для качественного улучшения методик оценки показателей информационной безопасности в ИС, построенных с применением технологий виртуализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилов, Д. А. Russian Cloud Services Market 2017–2021 Forecast and 2016 Vendor Shares [Электронный ресурс] / Д.А. Гаврилов // International Data Corporation (IDC) - международная исследовательская и консалтинговая компания. 2017. Режим доступа: <http://idcrussia.com/ru/research/published-reports/65018-russian-cloud-services-market-2017-2021-forecast-and-2016-vendor-shares/2-abstract> - (Дата обращения: 11.02.2018).

2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: утверждена распоряжением Председателя Правительства Российской Федерации от 28.07. 2017 г. № 1632-р – М., 2017. – 88 с.
3. ГОСТ Р 56938-2016 «Защита информации при использовании технологий виртуализации». — Введ. 2016-07-01.— М.: Изд-во стандартов, 2016.— 36 с.
4. Об утверждении требований по защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах: приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 года № 17 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/566>. - (Дата обращения: 11.02.2018).
5. Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 года № 21 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/561>. - (Дата обращения: 11.02.2018).
6. Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды: приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 года № 31 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/718>. - (Дата обращения: 11.02.2018).
7. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Обеспечение информационной безопасности при использовании технологии виртуализации: рекомендации в области стандартизации банка России РС БР ИББС-2.8-2015 - Введ. 2015-05-01 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.cbr.ru/credit/Gubzi_docs/rs-28-15.pdf. - (Дата обращения: 11.02.2018).
8. Меры защиты информации в государственных информационных системах: методический документ ФСТЭК России. — Утв. 2014-02-11. – М., 2017. – 176 с.
9. Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах: проект методического документа ФСТЭК России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/812>. - (Дата обращения: 11.02.2018).
10. Определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах (ИС) персональных данных: методический документ ФСТЭК России. — Утв. 2008-02-14. – М., 2008. – 10 с.
11. Определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры: методический документ ФСТЭК России (ДСП). — Утв. 2008-11-18.
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 13335-3-2007. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 3. — Введ. 2007-06-07.— М.: Изд-во стандартов, 2007.— 49 с.
13. Попов А. М., Золотарев В. В., Бондарь И. В. Методика оценки защищенности информационной системы по требованиям стандартов информационной безопасности // Информатика и системы упр. / Тихоокеан. гос. ун-т. Хабаровск, 2010. № 4 (26). С. 3–12.
14. Барабанов А.В., Марков А.С., Цирлов В.Л. Методический аппарат оценки соответствия автоматизированных систем требованиям безопасности информации // Спецтехника и связь. 2011. № 3. С. 48-53.
15. Еременко В.Т. Автоматизация процесса оценки состояния защищенности объекта информатизации с использованием ингибиторных, вероятностных и раскрашенных сетей Петри от утечки информации / В. Т. Еременко, М. Ю. Рытов, А.П. Горлов // Информация и безопасность. - 2015. - Т. 18. - № 1. - С. 123-126.
16. Плетнев П. В., Белов В. М. Методика оценки рисков информационной безопасности на предприятиях малого и среднего бизнеса // Доклады ТУСУРа. - № 1(25), 2012. - С. 83-86.

17. Баранова Е.К., Гусев А.М. Методика анализа рисков информационной безопасности с использованием нечеткой логики на базе инструментария Matlab // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 1 (13). С. 88-96.

18. Курносов К.В. Системный анализ угроз безопасности информации, обрабатываемой виртуальными инфраструктурами // Материалы 54-й международной научной студенческой конференции МНСК-2016 / Новосибирский нац. иссл. гос. ун-т — Новосибирск, 2016. – С. 32

19. Курносов К.В. Модель идентификации угроз виртуальной инфраструктуры / Курносов К.В. // Материалы VII Всероссийской молодежной школы-семинара по проблемам информационной безопасности «Перспектива-2016». – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 11-17.

© В. В. Селифанов, Д. Г. Макарова, Т. М. Пестунова, К. В. Курносов, 2018

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Валентин Валерьевич Селифанов

Управление ФСТЭК России по СФО, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 41, начальник отдела

Юлия Алексеевна Исаева

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, студентка, тел. (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.JA@hotmail.com

Анастасия Сергеевна Голдобина

Новосибирский государственный университет экономики и управления, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52, студент; ООО «Акстел-безопасность», 630110, Россия, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей, 39, Б, аналитик по информационной безопасности, тел. (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Полина Александровна Звягинцева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры информационной безопасности, тел. (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

С появлением новых видов государственных и муниципальных информационных систем, таких как «умный город», возникла проблема обеспечения защиты информации в них. Различные датчики и сенсоры, собирают данные и преобразуют их в информацию, которая позволяет органам власти взаимодействовать друг с другом. В подобном потоке данных существует вся производственная статистика по каждому региону.

Ключевые слова: умный город, Интернет вещей, государственная информационная система, информационная безопасность, управление средствами защиты информации, моделирование, оценка эффективности.

SIMULATION MODEL FOR MANAGING INFORMATION SECURITY WITH THE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF STATE AND MUNICIPAL SYSTEMS

Valentin V. Selifanov

Department of the Federal Service for Technical and Export Control of Russia in the Siberian Federal District, 41, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia, Head of Department

Yulia A. Isaeva

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Student, phone: (913)980-23-09, e-mail: Isaeva.JA@hotmail.com

Anastasia S. Goldobina

Novosibirsk State University of Economics and Management, 52, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Student; "Axtel-security" Ltd., 39, B, Aviastritelei St., Novosibirsk, 630110, Russia, Analyst for Information Security, phone: (923)220-80-89, e-mail: nastya-gold09@mail.ru

Polina A. Zvyagintseva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Information Security, phone: (923)135-79-78, e-mail: polinasgugit@mail.ru

With the advent of new types of state and municipal information systems, such as «smart city», there is a problem of ensuring the information protection in them. Various sensors collect data and convert it into information that allows the authorities to interact with each other. In a similar data flow, there are all the production statistics for each region.

Key words: smart city, Internet of things, state information system, information security, information security management, simulation, efficiency evaluation.

Появление умных технологий дало толчок для развития государственных информационных систем. Одним из направлений в этой отрасли является умный город, являющийся частью проекта «Безопасный город», реализация которого запланирована на 2017–2020 годы.

«Безопасный город» в качестве модели современной информационной системы, управляющей городской инфраструктурой, является наиболее приоритетным для государственных информационных систем – «умных городов». Их построение, как правило, начинается с многоуровневых систем сбора данных. Технологическое развитие трансформирует сущность государственных информационных систем от автоматизированных систем в инфраструктуру Интернет вещей. Одним из известных умных городов является Лондон [1].

Интернет вещей (далее IoT) – это сети физических объектов, которые имеют встроенные технологии, датчики и приводы. Они позволяют осуществлять взаимодействие с внешней средой, передавать данные о своем состоянии и принимать данные извне. Встроенные технологии связаны через проводные или беспроводные сети, с использованием протокола IP, и действуют, зачастую, без вмешательства человека. Интернет вещей состоит из слабо связанных между собою разрозненных сетей, каждая из которых была развернута для решения своих специфических задач.

Интернет в данном контексте используется, преимущественно, как транспортная сеть с обязательным применением VPN. Это обеспечивает достаточный уровень, как криптозащиты, так и межсетевого экранирования и является необходимым условием для обеспечения минимальных гарантий безопасной работы техники и приложений [3].

Информационный аспект позволяет рассматривать IoT как межсетевое взаимодействие физических устройств, программное обеспечение, датчики, исполнительные механизмы и сеть, которые дают возможность этим объектам собирать и обмениваться данными.

Важным применением IoT как распределенной системы управления является распределенный мониторинг и контроль операций инфраструктур. Инфраструктура IoT может использоваться для мониторинга любых событий или изменений, которые представляют угрозу безопасности или увеличивают риск. Он также может использоваться для эффективного планирования ремонтных

работ, координируя задачи между поставщиками услуг и пользователями этих объектов. IoT-устройства могут также использоваться для управления критической инфраструктурой [2].

Использование устройств IoT для мониторинга и операционной инфраструктуры улучшает координацию управления инцидентами и реагирование на чрезвычайные ситуации. Использование устройств IoT повышает качество обслуживания, снижает время простоя и сокращает затраты на эксплуатацию во всех областях, связанных с инфраструктурой.

Интернет вещей является новой сетевой технологией управления, основанной на распределении датчиков и физических устройств в объекте управления. Также IoT содержит несколько принципиально новых технологических решений, которые отсутствуют у других систем управления. Прежде всего, это возможность реконфигурирования управленческих информационных потоков в зависимости от трафика и нагрузки на узлы сети. Интернет вещей содержит интеллектуальные узлы, которые позволяют реализовывать распределенное управление. Также он содержит собственные вычислительные ресурсы, которые позволяют решать задачи оптимизации [4, 5].

Построение и эксплуатация систем защиты информации новых объектов защиты нуждаются в исследовании для определения эффективных подходов на всех стадиях жизненного цикла. Одним из важнейших направлений является построение и оценка эффективности системы управления защитой информации.

Основное назначение системы управления – это своевременная выработка и реализация управляющего воздействия на управляемый объект (средства защиты информации, персонал, операционные системы, программное обеспечение и др.). Показателем эффективности является вероятность своевременного принятия и реализации правильного решения.

Основными задачами системы являются:

- мониторинг событий безопасности;
- выявление инцидентов безопасности;
- сбор и анализ статистики событий и инцидентов;
- реагирование на события безопасности.

Эталонная модель IoT состоит из четырех уровней [6]. Она содержит возможности управления и обеспечения безопасности, связанные с данными уровнями. Исходя из анализа примерной структуры объекта исследования, построена трехуровневая имитационная модель процессов управления защитой информации [7], представляющая собой однофазную систему массового обслуживания разомкнутого типа, с неограниченной входной емкостью, то есть без отказов в обслуживании, с ограничением по времени пребывания заявок в системе, определяемым критическим временем длительности цикла управления и абсолютной надежностью.

В итоге появляется возможность определить показатель эффективности управления системой защиты информации и получить следующие результаты:

- статистические характеристики оцениваемых показателей (текущее, минимальное, максимальное, среднее значение);
- графики текущих и средних значений оцениваемых показателей;

гистограммы и статистические функции распределения значений оцениваемых показателей.

Полученные данные позволяют проводить оценку эффективности управления системой защиты информации таких компонентов как:

контроль за событиями безопасности и действиями персонала;

анализ и оценка функционирования системы защиты информации, включая выявление, анализ и устранение недостатков в ее функционировании;

принятие мер по устранению инцидентов, в том числе по восстановлению системы управления в случае отказа в обслуживании или после сбоев, устранению последствий нарушения правил разграничения доступа, неправомерных действий по сбору информации, внедрения вредоносных компьютерных программ (вирусов) и иных событий, приводящих к возникновению инцидентов;

своевременное информирование лиц, ответственных за выявление инцидентов и реагирование на них, о возникновении инцидентов;

управление средствами защиты информации, в том числе параметрами настройки программного обеспечения, включая восстановление работоспособности средств защиты информации, генерацию, смену и восстановление паролей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О требованиях к порядку создания, развития, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации государственных информационных систем и дальнейшего хранения содержащейся в их базах данных информации: постановление Правительства РФ от 6 июля 2015 г. № 676 / Правовой сервер «Консультант Плюс» / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.consultant.ru.

2. Голубева Е.В., Коротеева А.Д., Евстратенко Е.С. Центр реагирования и мониторинга инцидентов информационной безопасности (SOC) // В сборнике: НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ сборник научных трудов: в 9 частях. 2016. С. 13-14.

3. Евстратенко Е.С. Особенности управления проектами в сфере информационной безопасности // В сборнике: Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований, сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2017. С. 18-19.

4. Курносов К.В., Селифанов В.В. Требования к системе защиты информации для виртуальной инфраструктуры // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). С. 16-24.

5. Пестунова Т.М., Селифанов В.В., Слонкина И.С., Юракова Я.В. Автоматизированная технология сопоставления угроз и уязвимостей безопасности информации в информационных системах // В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения информационной безопасности, труды Межвузовской научно-практической конференции. 2017. С. 156-160.

6. Селифанов В.А., Селифанов В.В. Способ моделирования процессов управления техническими средствами и система для его осуществления // Патент на изобретение RU 2331096 08.02.2007.

7. Селифанов В.В. Оценка эффективности системы защиты информации государственных информационных систем от несанкционированного доступа [Текст] // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 109-113.

© В. В. Селифанов, Ю. А. Исаева, А. С. Голдобина, П. А. Звягинцева, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>С. В. Савелькаев, В. А. Литовченко.</i> Вариационная методика оценки суммарной погрешности измерения имитаторов-анализаторов усилителей и автогенераторов СВЧ	3
2. <i>В. С. Айрапетян, Т. В. Маганаква.</i> Моделирование спектров высокого разрешения и получение информационных интенсивностей колебательно-вращательного спектра поглощения тринитротолуола	13
3. <i>Я. В. Тюрин, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин, С. Ф. Дубинина, М. Ю. Семашко.</i> Разработка перспективных конструкций радиопрозрачных боеприпасов.....	18
4. <i>В. И. Ознобихин, В. Б. Ромодин.</i> Методы оптимизации волно-водно-щелевых антенн.....	28
5. <i>М. В. Орлова.</i> Сравнение вариантов объединения каналов комплексированной локационной системы с различными характеристиками	33
6. <i>Л. В. Шебалкова.</i> Зондовое возбуждение SIW-волновода.....	38
7. <i>Г. А. Куриленко, В. С. Айрапетян.</i> Повышение точности прогнозирования циклической прочности металлов	42
8. <i>В. С. Айрапетян, М. А. Кислин, А. И. Сафронов.</i> Моделирование баллистики системы МР-153 с разделенным зарядом	49
9. <i>К. Я. Аубакиров, В. П. Разинкин, А. В. Макеев.</i> 3-дБ квадратурные направленные ответвители для широкополосных транзисторных усилителей ДЦВ диапазона.....	53
10. <i>В. С. Айрапетян, М. А. Кислин.</i> Высокоскоростные пулевые бронебойные патроны для 18,5 мм гладкоствольных карабинов специальных	58
11. <i>С. В. Евтушенко, Д. Ю. Лех, А. А. Заруев, С. А. Кравец, Д. Е. Демидов, В. Н. Легкий.</i> Система обнаружения возгораний метана на ранних этапах	70
12. <i>Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка.</i> Перспективы развития кумулятивной скважинной перфорации	77
13. <i>П. А. Фомин, В. С. Айрапетян.</i> Инициирование взрывных процессов в химически активной пузырьковой среде.....	84
14. <i>А. Г. Черевко, А. А. Черевко, Ю. В. Моргачев.</i> Оценка и демпфирование влияний аэроупругости на эффективность локаторов БЛА с конформными антеннами	89
15. <i>М. Е. Давлятова, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин, С. Ф. Дубинина.</i> Учет влияния неравномерной пористости заряда на давление в канале ствола орудия	96

16. П. И. Остроменский, А. В. Волошин, А. В. Салов, Д. С. Лощёнов, Г. В. Суменко. Установочные резонансы вибродатчика, закрепленного на переходнике для измерения пространственной вибрации	115
17. В. С. Айрапетян. Воздействие сверхкороткого ИК лазерного импульса на системы управления летательных объектов.....	121
18. Я. В. Козлов, А. А. Коржавин, П. К. Сеначин. Динамика температуры газа в пористой среде при распространении пламени в закрытом сосуде, частично заполненном пористой средой.....	126
19. Е. В. Манжос, Н. А. Какуткина, А. А. Коржавин, А. Д. Рычков. Пределы зажигания волн фильтрационного горения газа нагретым участком пористой среды	131
20. С. Ф. Дубинина, Е. А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин. Газодинамический подход при вычислении внутрибаллистических параметров при выстреле	136
21. В. Ю. Ширяева, Е. А. Хмельников, И. И. Вендер, К. В. Смагин. Разработка конструкции бронебойно-зажигательного снаряда к артиллерийской системе калибра 57 мм	146
22. С. С. Ильин, Е. А. Хмельников, И. И. Вендер, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин. Применение модели диффузионного горения в расчетах конечной баллистики поражающих элементов, содержащих реакционные материалы	154
23. И. Д. Шадрин, Е. А. Хмельников, И. И. Вендер, Т. Е. Заводова, К. В. Смагин. Анализ броневой защиты танков	167
24. А. Г. Черевко. О возможности определения дальности объекта и его радиальной скорости однопозиционным пассивным локатором	178
25. В. Т. Семенов, В. Н. Легкий, В. Г. Эдвабник, В. П. Ющенко. Обеспечение единства измерений в оборонной промышленности	185
26. Е. В. Верёвкина. Микрополосковая антенна для беспилотного летательного аппарата	191
27. Е. В. Проскуряков, М. В. Сорокин, А. И. Пошехонов. Самодельный электродетонатор без инициирующих взрывчатых веществ	197
28. С. Н. Новиков. Моделирование функционирования сети связи в условиях внешних деструктивных воздействий	203
29. В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, Д. Г. Макарова, А. А. Старикова, А. М. Климова. Автоматизированные системы и их классификация в сфере информационной безопасности	221
30. В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, Д. Г. Макарова, А. А. Старикова. Система защиты информации государственной информационной системы.....	228
31. В. Г. Мельников, А. Е. Гребень, Д. Г. Макарова. Исследование межсетевых экранов для веб-приложений с открытым исходным кодом	233
32. В. В. Селифанов, А. С. Голдобина, П. А. Звягинцева. Создание трехуровневой модели управления системой защиты информации в государственных информационных системах	237

33. В. В. Селифанов, Ю. А. Исаева, П. А. Звягинцева. Создание адаптивной двухуровневой модели процессов управления системой защиты информации в автоматизированных системах управления технологическими процессами.....	244
34. А. Н. Поликанин. Правовые аспекты применения систем видеонаблюдения	250
35. Г. А. Сырецкий. Сквозные цифровые технологии и прорывные технологии кибербезопасности в контексте системного инжиниринга	254
36. Г. А. Сырецкий. Информационное общество и технологии информационной безопасности: настоящее и прогнозы.....	261
37. В. В. Селифанов, Я. В. Юракова, И. Н. Карманов. Методика автоматизированного выявления взаимосвязей уязвимостей и угроз безопасности информации в информационных системах	271
38. В. В. Селифанов, А. С. Гордеев, И. Н. Карманов. Требования по защите информации при межсетевом взаимодействии государственных информационных систем с иными информационными системами.....	277
39. С. В. Камышев, И. Н. Карманов. Мобильная криминалистика: задачи и технологии	283
40. В. В. Селифанов, Д. Г. Макарова, Т. М. Пестунова, К. В. Курносов. Требования к методикам оценки безопасности информационных систем, использующих виртуализацию	290
41. В. В. Селифанов, Ю. А. Исаева, А. С. Голдобина, П. А. Звягинцева. Имитационная модель для управления защитой информации при оценке эффективности государственных и муниципальных систем	296

CONTENTS

1. <i>S. V. Savel'kayev, V. A. Litovchenko</i> . Variational Methodology of Estimation of the Total Merchant of Measurement Simulator-Analyzer of Microwave Amplifiers and Auto-Generators.....	3
2. <i>V. S. Ayrapetyan, T. V. Maganacova</i> . Modeling of Spectrum of High-Resolution and Receiving of Information Intensity of Vibrational-Rotational Absorption Spectrum of Trinitrotoluene	13
3. <i>Ya. V. Tyurin, E. A. Khmelnikov, T. E. Zavodova, K. V. Smagin, S. F. Dubinina, M. Yu. Semashko</i> . Development of Advanced Designs of Radio Transparent Ammunition.....	18
4. <i>V. I. Oznobihin, V. B. Romodin</i> . Methods of Optimization of Waveguide-Slot Antennas	28
5. <i>M. V. Orlova</i> . Comparison Of Integrated Complex Location System Variants with Different Channel Characteristics	33
6. <i>L. V. Shebalkova</i> . Siw Probe Excitation.....	38
7. <i>G. A. Kurylenko, V. S. Ayrapetyan</i> . Increasing the Accuracy of Prediction of Metal Cyclic Strength	42
8. <i>V. S. Ayrapetyan, M. A. Kislin, A. I. Safronov</i> . Modeling the Ballistics of the MP-153 System with a Devided Powder Charge.....	49
9. <i>K. Ya. Aubakirov, V. P. Razinkin, A. V. Makeev</i> . Aerial Directional Couplers for Broadband Transistor Amplifiers of DWB Range.....	53
10. <i>V. S. Ayrapetyan, M. A. Kislin</i> . High Velocity Bullet Patrons for 18,5 mm Smoothbore Carbines Special	58
11. <i>S. V. Evtysenko, D. Yu. Leh, A. A. Zaruev, S. A. Kravets, D. E. Demidov, V. N. Legkiy</i> . In Early Stage Methane Ignition Detection System	70
12. <i>E. M. Grif, A. V. Guskov, K. E. Milevsky, N. F. Chayka</i> . Future Trends of Cumulative Borehole Perforation	77
13. <i>P. A. Fomin, V. S. Ayrapetyan</i> . Initiation of Explosive Processes in Chemically Active Bubble Liquid	84
14. <i>A. G. Cherevko, A. A. Cherevko, Yu. V. Morgachev</i> . Estimation and Damping of the Aeroelasticity Effects on the Efficiency of Locators with a Conformal Antenna	89
15. <i>M. E. Davlyatova, E. A. Khmelnikov, T. E. Zavodova, K. V. Smagin, S. F. Dubinina</i> . The Account of Influence of the Inequal Charge Porosity on the Pressure in the Channel of the Gun	96
16. <i>P. I. Ostromensky, A. V. Voloshin, A. V. Salov, D. S. Loschenov, G. V. Sumenko</i> . Locating the Resonances of the Vibration Sensor Mounted on the Adapter for Measuring the Spatial Vibration	115

17. <i>V. S. Ayrapetyan</i> . Influnce of an Ultrashort Ir Laser Pulse on the Control Systems of Flying Objects	121
18. <i>Ya. V. Kozlov, A. A. Korzhavin, P. K. Senachin</i> . Dynamics of Gas Temperature in a Porous Medium with the Flame Propagation in a Closed Vessel Partially Filled with a Porous Medium.....	126
19. <i>E. V. Manzhos, N. A. Kakutkina, A. A. Korzhavin, A. D. Rychkov</i> . The Limits of Ignition of Filtration Gas Combustion Waves with Heated Area of the Porous Medium	131
20. <i>S. F. Dubinina, E. A. Khmelnikov, T. E. Zavodova, K. V. Smagin</i> . The Gas-Dynamic Approach in Calculating Intra Ballistic Parameters of the Shot	136
21. <i>V. Yu. Shiryayeva, E. A. Khmelnikov, I. I. Vender, K. V. Smagin</i> . Development of the Armour-Piercing Incendiary Ammunition Construction to the Caliber Artilleric System 57 mm	146
22. <i>S. S. Ilin, E. A. Khmelnikov, I. I. Vender, T. E. Zavodova, K. V. Smagin</i> . Application of Diffusion Combustion Model in the Terminal Ballistics Calculation of Striker Elements Containing Reaction Materials	154
23. <i>I. D. Shadrin, E. A. Khmelnikov, I. I. Vender, T. E. Zavodova, K. V. Smagin</i> . Analysis of the Tank Armoured Protection	167
24. <i>A. G. Cherevko</i> . Possibility of Determining the Distance to the Object and Its Radial Velocity by a Single-Passive Locator	178
25. <i>V. T. Semenov, V. N. Legkiy, V. G. Edvabnik, V. P. Yushchenko</i> . Uniformity of Measurement Assurance in Defense Industry	185
26. <i>E. V. Veryovkina</i> . Drone Microstrip Patch Array	191
27. <i>E. V. Proskuryakov, M. V. Sorokin, A. I. Poshekhonov</i> . The Self-Made Electric Detonator Without Initiating Explosives.....	197
28. <i>S. N. Novikov</i> . Modeling of the Performance of Network Communication in Terms of External Destructive Influences	203
29. <i>V. V. Selifanov, A. S. Gordeev, D. G. Makarova, A. A. Starikova, A. M. Klimova</i> . Automated Systems and Their Classification in the Field of Information Security.....	221
30. <i>V. V. Selifanov, A. S. Gordeev, D. G. Makarova, A. A. Starikova</i> . Information Protection System of the State Information System	228
31. <i>V. G. Melnikov, A. E. Greben, D. G. Makarova</i> . Investigation of Open Source Firewalls for Web Applications	233
32. <i>V. V. Selifanov, A. S. Goldobina, P. A. Zvyagintseva</i> . Creation of a Three-Level Model for Managing Information Security in State Information Systems.....	237
33. <i>V. V. Selifanov, Yu. A. Isaeva, P. A. Zvyagintseva</i> . Development of Two-Level Adaptive Process Management Model of the Information Protection System for Automated Control System of Technological Processes	244
34. <i>A. N. Polikanin</i> . Legal Aspects of Application of Video Monitoring Systems.....	250

35. <i>G. A. Syretsky</i> . Cross-Cutting Digital Technologies and Break-through Technologies of Cyber-Security in the Context of System Engineering	254
36. <i>G. A. Syretsky</i> . Information Society and Technologies of Information Security: Present State and Forecasts.....	261
37. <i>V. V. Selifanov, Ya. V. Yurakova, I. N. Karmanov</i> . The Method of Automatic Identification of Relationships Between Vulnerabilities and Threats to Information Security in Information Systems.....	271
38. <i>V. V. Selifanov, A. S. Gordeev, I. N. Karmanov</i> . Requirements for Information Security in Cross-Network Interaction of the State Information Systems with Other Information Systems.....	277
39. <i>S. V. Kamyshev, I. N. Karmanov</i> . Mobile Forensics: Tasks and Technologies.....	283
40. <i>V. V. Selifanov, D. G. Makarova, T. M. Pestunova, K. V. Kurnosov</i> . Requirements to Methods of Security Assessment of Information Systems Using Virtualization.....	290
41. <i>V. V. Selifanov, Yu. A. Isaeva, A. S. Goldobina, P. A. Zvyagintseva</i> . Simulation Model for Managing Information Security with the Evaluation of the Efficiency of State and Municipal Systems.....	296

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

«НАУКА. ОБОРОНА. БЕЗОПАСНОСТЬ-2018»

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 19.10.2018. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 17,78. Тираж 100 экз. Заказ 159.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.