ISSN 1992-2752

Вестник Сыктывкарского университета

Серия 1:
Математика
Механика
Информатика

4(33) выпуск **19**

Вестник Сыктывкарского университета	Серия 1: *Математика Механика Информатика*	12+ ISSN 1992-2752
Основан в 1995 году Выходит 4 раза в год		Выпуск 4 (33) 2019

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина» (167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский просп., д. 55)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС77-37565 от 17 сентября 2009 года

Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика : сборник. Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2019. — Выпуск 4 (33). 2019. — 120 с.

Главный редактор:
д.п.н., и.о. ректора ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина» Сотникова О.А.
Ответственный редактор:
Ермоленко А.В., к.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина)
Редакционная коллегия:
Асланов Р.М., к.ф.-м.н., д.п.н., профессор (ИММ НАН Азербайджана, Респ. Азербайджан),
Беляева Н.А., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Вечтомов Е.М., д.ф.-м.н., профессор (ВятГУ),
Головач П.А., к.ф.-м.н., доцент (Университет Бергена, Норвегия),
Калинин С.И., д.п.н., к.ф.-м.н., профессор (ВятГУ),
Колпак Е.П., д.ф.-м.н., профессор (СПбГУ),
Котов Л.Н., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Малоземов В.Н., д.ф.-м.н., профессор (СПбГУ),
Одинец В.П., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Попов Н.И., д.п.н., к.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Певный А.Б., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Петров Н.Н., д.ф.-м.н., профессор (УдмГУ),
Петраков А.П., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Рудикова Л.В., к.ф.-м.н., доцент (ГрГУ им. Янки Купалы, Респ. Беларусь),
Тихомиров А.Н., д.ф.-м.н., профессор (Коми НЦ УрО РАН),
Чермных В.В., д.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина)
Техническая редакция:
Гудырева Л.В., к.филол.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Котелина Н.О., к.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Хозяинов С.А., к.филол.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Юркина М.Н. (СГУ им. Питирима Сорокина)

Адрес редакции
Вестника Сыктывкарского университета
167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский просп., д. 55
Тел. (8212)390-308.
Электронный адрес: https://syktsu.ru/_fac/math/vestnik/site/index.htm

Свободная цена © ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», 2019.

Содержание

Прикладная математика и механика

Макаров П. А., Уляшева М. А. *К теории дисперсии гиромагнитных волн в среде с диссипацией* 3

Информатика

Мельников В. А. *Процесс разработки движка для 2D игр и интерфейсов Sad Lion Engine* 21

Наставник-ученик

Воеводин В. А., Арзуманян Э. А., Ганенков Д. С., Чумаков А. А. *О математической модели оценки доступности информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами. Постановка задачи. Методы решения* 38

Гольчевский Ю. В., Щукин В. К. *О методике перехода организаций на новое программное обеспечение* 55

Оленева Н. Р., Семяшкина Д. С. *Возможности решения информационными системами проблем управления событиями информационной безопасности в организации* . . 68

Методические материалы

Ермоленко А. В., Осипов К. С. *О применении библиотек Python для расчета пластин* 86

Шилов С. В. *Применение расчетов взрывов в Excel при обучении бакалавров направления «Техносферная безопасность»* 96

Персоналии **114**

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Вестник Сыктывкарского университета.

Серия 1: Математика. Механика. Информатика.

Выпуск 4 (33). 2019

УДК 51-73, 537.86, 537.876.22

К ТЕОРИИ ДИСПЕРСИИ ГИРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СРЕДЕ С ДИССИПАЦИЕЙ[1]

П. А. Макаров, М. А. Уляшева

Рассмотрены гиромагнитные волны, распространяющиеся в касательно намагниченной ферритовой пластине, обладающей бигиротропными свойствами. Учтена диссипация магнитной проницаемости материала пластины. В геометрии Дэймона-Эшбаха получена система трансцендентных уравнений, определяющая дисперсию компонент волнового вектора.

Ключевые слова: дисперсия гиромагнитных волн, диссипация.

1. Введение

Изучение электродинамических свойств неоднородных, неизотропных, нестационарных сред и структур на их основе — это одна из важнейших задач современной фундаментальной и прикладной науки. Это

[1]Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №17-02-01138 и №17-57-150001).

© Макаров П. А., Уляшева М. А., 2019.

связано с тем, что анализ характера распространения электромагнитных волн в таких средах в течение весьма длительного времени остаётся актуальной проблемой, играющей определяющую роль в радиоэлектронике. В настоящее время ведутся научные исследования искусственно созданных систем на основе композитных материалов, структура которых формируется из двух подрешёток, одна из которых обладает гиротропией по отношению к электрическим свойствам, а другая — магнитной гиротропией [1–6].

Ввиду многообразия возможных в них электродинамических эффектов, бигиротропные среды вызывают большой интерес как сами по себе [1, 2, 7], так и в составе разнообразных комплексных систем, таких как ферромагнитные сверхрешётки [3], волноводы на основе магнитооптических слоёв и фотонных кристаллов [4], тонкоплёночные периодические структуры магнетик / полупроводник [5], магнонные кристаллы [6] и многие другие.

Вместе с тем теория генерации, распространения, затухания и преобразования электромагнитных, спиновых и магнитостатических волн в бигиротропных средах далека от завершения. В первую очередь, это обстоятельство определяется высокой сложностью уравнений, описывающих электромагнитное поле в таких средах [1, 8]. В дополнение к этому, сложность задачи существенно возрастает при учёте диссипации энергии электромагнитного поля.

Указанные проблемы приводят к тому, что получение уравнения дисперсии электромагнитных волн в бигиротропных средах при учёте диссипации оказывается затруднительным, а его решение в аналитическом виде, как правило, принципиально невозможно.

2. Геометрия задачи

Рассмотрим пластину толщины d (см. рис. 1), намагниченную в плоскости полем $\mathbf{H}_0$. Введём декартовую систему координат $Oxyz$ таким образом, чтобы плоскость Oyz совпадала с плоскостью пластины, а ось Ox была ей перпендикулярна. Магнитное поле направлено вдоль оси Oz. В описанной ситуации вдоль оси Oy могут распространяться волны, известные как волны Деймона—Эшбаха [9].

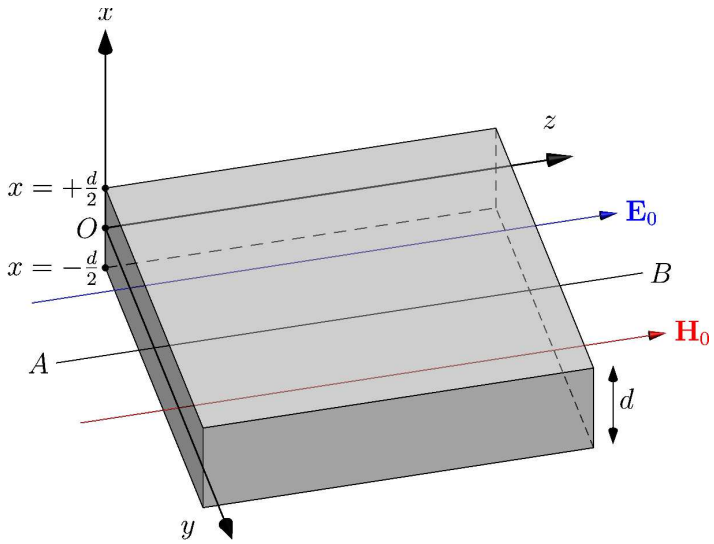


Рис. 1. Геометрия задачи

В рамках данной работы будем рассматривать задачу не классически [9] в магнитостатическом приближении, а в рамках полной электродинамической постановки, т. е. будем учитывать переменное электрическое поле, изменение во времени которого создаёт динамическое магнитное поле.

3. Основное дисперсионное соотношение

Исследуем дисперсионное соотношение, которому должны подчи-

няться электромагнитные волны типа Деймона—Эшбаха. Это уравнение было получено в работе [10] и имеет вид:

$$\tanh(kd\alpha_0) = \frac{2\mu\alpha_0}{\beta_0}, \tag{1}$$

где k — волновое число, μ — компонента тензора магнитной проницаемости среды, определяющая её намагниченность вдоль осей Ox и Oy, а параметры α_0 и β_0 определяются выражениями:

$$\alpha_0 = \frac{1}{k}\sqrt{k^2 - \frac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu}\,\varepsilon k_0^2}, \tag{2}$$

$$\beta_0 = \frac{\mu_a^2 - \mu^2 - 1}{k\sqrt{k^2 - \varepsilon k_0^2}}\left[k^2 - \frac{\mu^2 - \mu_a^2 + \mu}{\mu^2 - \mu_a^2 + 1}\varepsilon k_0^2\right]. \tag{3}$$

В соотношениях (2) и (3) параметр ε — это компонента тензора диэлектрической проницаемости среды, определяющая её электризацию вдоль осей Ox и Oy, μ_a — недиагональная компонента тензора магнитной проницаемости, описывающая её магнитные свойства в плоскости Oxy, а $k_0 = \omega/c$ — волновое число волны данной частоты ω в свободном пространстве.

4. Преобразование дисперсионного соотношения

Для упрощения анализа уравнения (1) используем вспомогательные обозначения:

$$\begin{cases} A = -\dfrac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu}\varepsilon k_0^2, \\ B = \mu_a^2 - \mu^2 - 1, \\ C = -\varepsilon k_0^2, \\ D = -\dfrac{\mu^2 - \mu_a^2 + \mu}{\mu^2 - \mu_a^2 + 1}\varepsilon k_0^2. \end{cases} \tag{4}$$

С учётом (4) дисперсионное соотношение (1) перепишется в виде:

$$\frac{e^{2d\sqrt{k^2+A}}-1}{e^{2d\sqrt{k^2+A}}+1}=\frac{2\mu}{B}\cdot\frac{\sqrt{k^2+A}\sqrt{k^2+C}}{k^2+D}. \tag{5}$$

В уравнении (5) комплексные величины A, B, C и D:

$$\begin{cases} A = A' + iA'', \\ B = B' + iB'', \\ C = C' + iC'', \\ D = D' + iD'', \end{cases} \tag{6}$$

выражаются через параметры среды μ и μ_a. Компоненты магнитной проницаемости, в свою очередь, зависят от частоты волны ω и в рассматриваемом случае диссипативной среды сами являются комплексными

$$\begin{cases} \mu = \mu' + i\mu'', \\ \mu_a = \mu_a' + i\mu_a''. \end{cases} \tag{7}$$

Выделим действительные и мнимые части величин A, B, C и D:

$$\begin{cases} A' = -k_0^2\varepsilon\dfrac{M_1\mu' + M_2\mu''}{(\mu')^2+(\mu'')^2}, \\ A'' = -k_0^2\varepsilon\dfrac{-M_1\mu'' + M_2\mu'}{(\mu')^2+(\mu'')^2}, \\ B' = -(M_1+1), \\ B'' = -M_2, \\ C' = -k_0^2\varepsilon, \\ C'' = 0, \\ D' = -k_0^2\varepsilon\dfrac{(M_1+\mu')(M_1+1)+M_2(M_2+\mu'')}{(M_1+1)^2+M_2^2}, \\ D'' = -k_0^2\varepsilon\dfrac{-(M_1+\mu')M_2+(M_1+1)(M_2+\mu'')}{(M_1+1)^2+M_2^2}. \end{cases} \tag{8}$$

При этом были использованы вспомогательные обозначения:

$$M_1 = (\mu')^2 - (\mu'')^2 - (\mu'_a)^2 + (\mu''_a)^2, \tag{9}$$

$$M_2 = 2(\mu'\mu'' - \mu'_a\mu''_a). \tag{10}$$

В дисперсионном соотношении (5), кроме параметров A, B, C и D, комплексной величиной также является волновое число k, которое можно представить в виде

$$k = \eta - i\xi. \tag{11}$$

Далее, возведя k в квадрат и учитывая комплексность A, можно получить:

$$\begin{cases} \sqrt{k^2 + A} = \sqrt{a_A + ib_A}, \\ a_A = \eta^2 - \xi^2 + A', \\ b_A = -2\xi\eta + A''. \end{cases} \tag{12}$$

Представим $\sqrt{k^2 + A}$ комплексным числом

$$\sqrt{k^2 + A} = g_A + ih_A \tag{13}$$

с действительной и мнимой частями, определяемыми согласно [11]:

$$\begin{cases} g_A = \sqrt{\dfrac{(\eta^2 - \xi^2 + A') + \sqrt{(\eta^2 - \xi^2 + A')^2 + (-2\eta\xi + A'')^2}}{2}}, \\ h_A = \sqrt{\dfrac{-(\eta^2 - \xi^2 + A') + \sqrt{(\eta^2 - \xi^2 + A')^2 + (-2\eta\xi + A'')^2}}{2}}. \end{cases} \tag{14}$$

Аналогично определяется и $\sqrt{k^2 + C}$:

$$\sqrt{k^2 + C} = g_C + ih_C, \tag{15}$$

$$\begin{cases} g_C = \sqrt{\dfrac{(\eta^2 - \xi^2 + C') + \sqrt{(\eta^2 - \xi^2 + C')^2 + (-2\eta\xi + C'')^2}}{2}}, \\ h_C = \sqrt{\dfrac{-(\eta^2 - \xi^2 + C') + \sqrt{(\eta^2 - \xi^2 + C')^2 + (-2\eta\xi + C'')^2}}{2}}. \end{cases} \tag{16}$$

Также выделим действительную и мнимую части выражения $k^2 + D$:

$$k^2 + D = g_D + ih_D, \tag{17}$$

$$\begin{cases} g_D = \eta^2 - \xi^2 + D', \\ h_D = -2\eta\xi + D''. \end{cases} \tag{18}$$

Левая часть дисперсионного соотношения (5) содержит комплексные величины в показателе экспоненты. Преобразуем её, используя формулу Эйлера:

$$e^{2d\sqrt{k^2+A}} = e^{2dg_A} e^{i2dh_A} = e^{2dg_A} \left[\cos(2dh_A) + i\sin(2dh_A)\right]. \tag{19}$$

Введём вспомогательные обозначения:

$$\begin{cases} C_{1M} = e^{2dg_A}\cos(2dh_A) - 1, \\ C_{1P} = e^{2dg_A}\cos(2dh_A) + 1, \\ C_2 = e^{2dg_A}\sin(2dh_A). \end{cases} \tag{20}$$

С помощью (20) левая часть уравнения (5) принимает вид:

$$F_1 = \frac{C_{1M} + iC_2}{C_{1P} + iC_2}. \tag{21}$$

Выделяя действительную и мнимую части (21), получаем:

$$\begin{cases} F_1 = F_{11} + iF_{12}, \\ F_{11} = \dfrac{C_{1P}C_{1M} + C_2^2}{C_{1P}^2 + C_2^2}, \\ F_{12} = \dfrac{C_2(C_{1P} - C_{1M})}{C_{1P}^2 + C_2^2}. \end{cases} \tag{22}$$

Теперь преобразуем правую часть дисперсионного соотношения (5). Сначала представим в комплексном виде множитель

$$\frac{2\mu}{B} = p + iq, \tag{23}$$

где действительная и мнимая части определены согласно

$$\begin{cases} p = 2\dfrac{\mu' B' + \mu'' B''}{(B')^2 + (B'')^2}, \\ q = 2\dfrac{\mu'' B' - \mu' B''}{(B')^2 + (B'')^2}. \end{cases} \tag{24}$$

Также определим $\sqrt{k^2 + A}\sqrt{k^2 + C}$:

$$\sqrt{k^2 + A}\sqrt{k^2 + C} = (g_A + ih_A)(g_C + ih_C) = r + is, \tag{25}$$

$$\begin{cases} r = g_A g_C - h_A h_C, \\ s = g_A h_C + g_C h_A. \end{cases} \tag{26}$$

Тогда с помощью (17), (23)-(26) правая часть дисперсионного соотношения примет вид:

$$F_2 = \frac{(p + iq)(r + is)}{g_D + ih_D}. \tag{27}$$

Запишем числитель (27) в виде

$$(p + iq)(r + is) = u + iv. \tag{28}$$

Выделим действительную и мнимую части F_2:

$$\begin{cases} F_2 = F_{21} + iF_{22}, \\ F_{21} = \dfrac{ug_D + vh_D}{(g_D)^2 + (h_D)^2}, \\ F_{22} = \dfrac{vg_D - uh_D}{(g_D)^2 + (h_D)^2}. \end{cases} \tag{29}$$

Теперь получим систему уравнений, описывающих дисперсию гиромагнитных волн в диссипативной среде, в конечной форме. Для этого представим уравнение (5) в виде

$$F_1 - F_2 = 0. \tag{30}$$

После выделения действительной и мнимой частей (30) примет вид:

$$(F_{11} - F_{21}) + i(F_{12} - F_{22}) = 0. \tag{31}$$

Равенство (31) эквивалентно системе двух уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{C_{1P}C_{1M} + C_2^2}{C_{1P}^2 + C_2^2} - \dfrac{ug_D + vh_D}{g_D^2 + h_D^2} = 0, \\ \dfrac{C_2(C_{1P} - C_{1M})}{C_{1P}^2 + C_2^2} - \dfrac{vg_D - uh_D}{g_D^2 + h_D^2} = 0. \end{cases} \tag{32}$$

Все входящие в систему (32) величины могут быть выражены через компоненты волнового числа η и ξ, а также компоненты тензора магнитной проницаемости μ и μ_a.

Согласно работе [12], известен вид величин μ', μ'', μ'_a и μ''_a в нашей геометрии задачи:

$$\begin{cases} \mu' = \dfrac{(\Omega_H^2 - \Omega^2 + \Omega_H)(\Omega_H^2 - \Omega^2)}{(\Omega_H^2 - \Omega^2)^2 + \alpha^2(2\Omega_H\Omega)^2}, \\ \mu'' = -\alpha\dfrac{\Omega(\Omega_H^2 + \Omega^2)}{(\Omega_H^2 - \Omega^2)^2 + \alpha^2(2\Omega_H\Omega)^2}, \\ \mu'_a = \dfrac{\Omega(\Omega_H^2 - \Omega^2)}{(\Omega_H^2 - \Omega^2)^2 + \alpha^2(2\Omega_H\Omega)^2}, \\ \mu''_a = -2\alpha\dfrac{\Omega_H\Omega^2}{(\Omega_H^2 - \Omega^2)^2 + \alpha^2(2\Omega_H\Omega)^2}. \end{cases} \tag{33}$$

Здесь α — это параметр магнитной диссипации Гильберта, а Ω и Ω_H — это нормированные частота и магнитное поле, определяемые

выражениями:

$$\Omega = \frac{\omega}{4\pi M_0 \gamma}, \quad \Omega_H = \frac{H}{4\pi M_0}. \tag{34}$$

5. Анализ результатов

Применим полученные результаты для расчёта дисперсии электромагнитных волн в безграничной магнитной плёнке с затуханием. Зададимся параметрами, соответствующими железо-иттриевому гранату (ЖИГ) [8–10,12,13]. Будем считать параметры материала следующими: намагниченность насыщения $4\pi M = 1750$ Гс, гиромагнитное отношение $\gamma = 1.7593 \cdot 10^7$ с$^{-1} \cdot$ Гс$^{-1}$, параметр магнитного затухания $\alpha = 0.05$, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 1$. Также выберем толщину плёнки равной $d = 15$ мкм, а магнитное поле внутри материала $H = 437.5$ Э. Данные параметры моделирования аналогичны значениям, используемым в работах [10, 12, 13].

Дисперсионные кривые, рассчитанные для заданных параметров согласно (32), показаны на рис. 2 (кривые (a) и (b)). Также на этом рисунке приведена кривая (c), представляющая собой закон дисперсии поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ), определённый для тех же параметров задачи, согласно методике изложенной в работе [13].

Из рис. 2 видно, что методика, разработанная в рамках данной статьи, позволяет выявить в диапазоне от 2.6 до 3.8 ГГц две ветви электромагнитных волн, близких по своим характеристикам к ПМСВ. Дисперсионная кривая (c), полученная в рамках более простого магнитостатического приближения проблемы [13], является, по-видимому, усреднением законов дисперсии (a) и (b). Более детально изучить вопрос соответствия полученных результатов магнитостатическому приближению

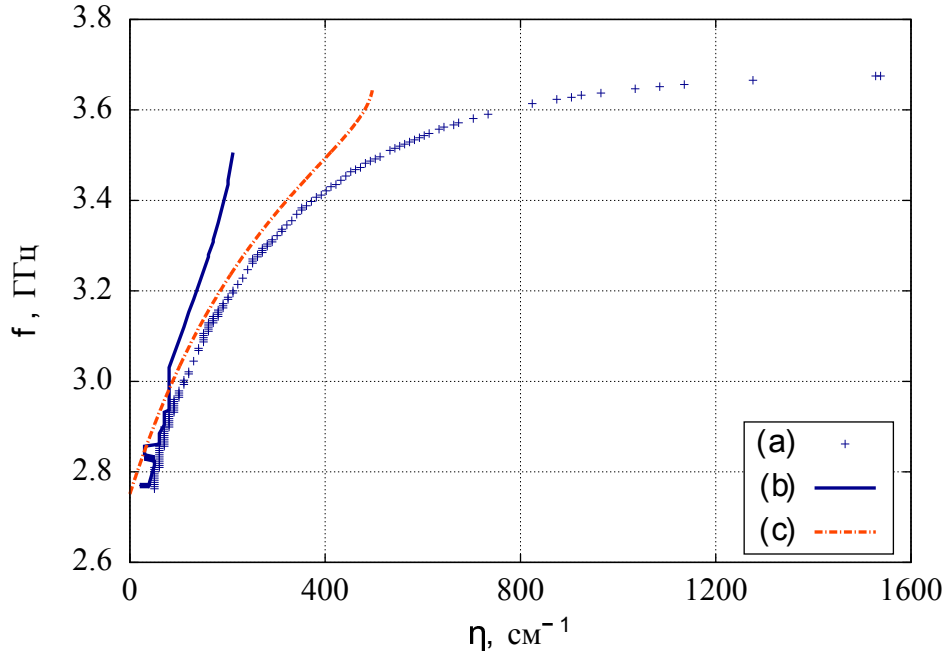


Рис. 2. Дисперсионные кривые для волн, распространяющихся в плёнке ЖИГ

можно, опираясь уже не на дисперсионные соотношения, а на распределения электрических и магнитных полей в плёнке.

Влияние магнитного поля на дисперсию электромагнитных волн показано на рис. 3. При построении этого рисунка было использовано значение $\alpha = 10^{-3}$, а остальные параметры выбраны такими же, как для рис. 2.

Как следует из рис. 3, увеличение магнитного поля сдвигает спектр электромагнитных волн в более высокочастотную область и сужает его. Этот результат также согласуется с данными [13]. Также следует заметить, что это явление относится к обоим ветвям волн.

Рис. 4 иллюстрирует влияние на дисперсию толщины плёнки. Как и следовало ожидать, увеличение толщины плёнок уменьшает волновое

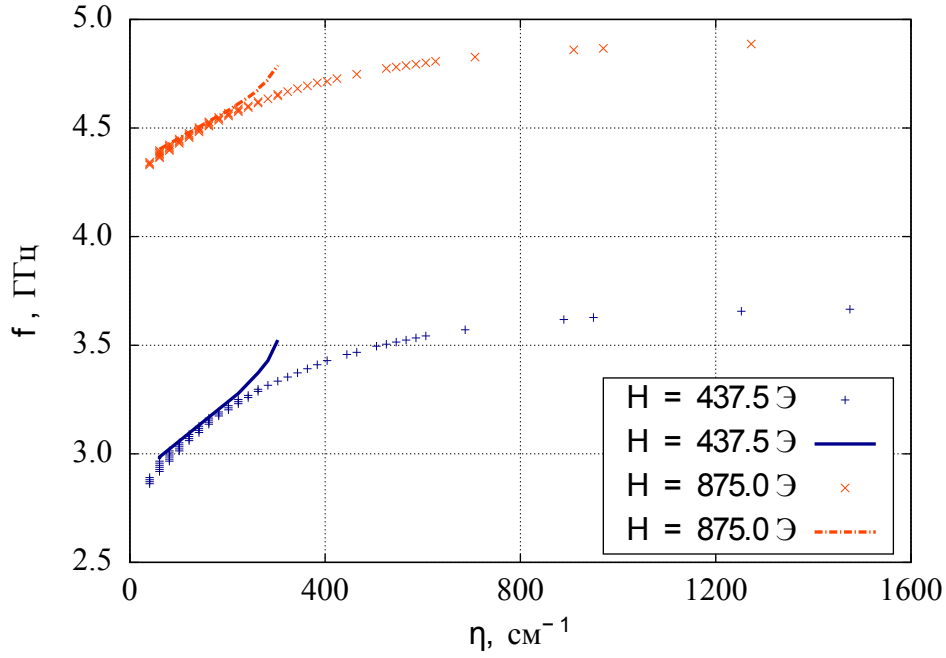


Рис. 3. Дисперсионные кривые, построенные при разных магнитных полях

число, что тоже проявляется для обоих ветвей.

6. Выводы

Таким образом, в рамках данной работы в геометрии Дэймона—Эшбаха получена система дисперсионных уравнений для действительной и мнимой компонент волнового числа, учитывающая диссипацию в среде. Система в равной степени может быть использована для определения дисперсии волн как в рамках полной электродинамики, так и в магнитостатическом приближении.

Решение полученной системы может быть получено численными методами, что продемострировано на нескольких примерах. Обнаружены две ветви электромагнитных волн в частотном диапазоне поверхностных магнитостатических волн. Исследовано влияние магнитного поля

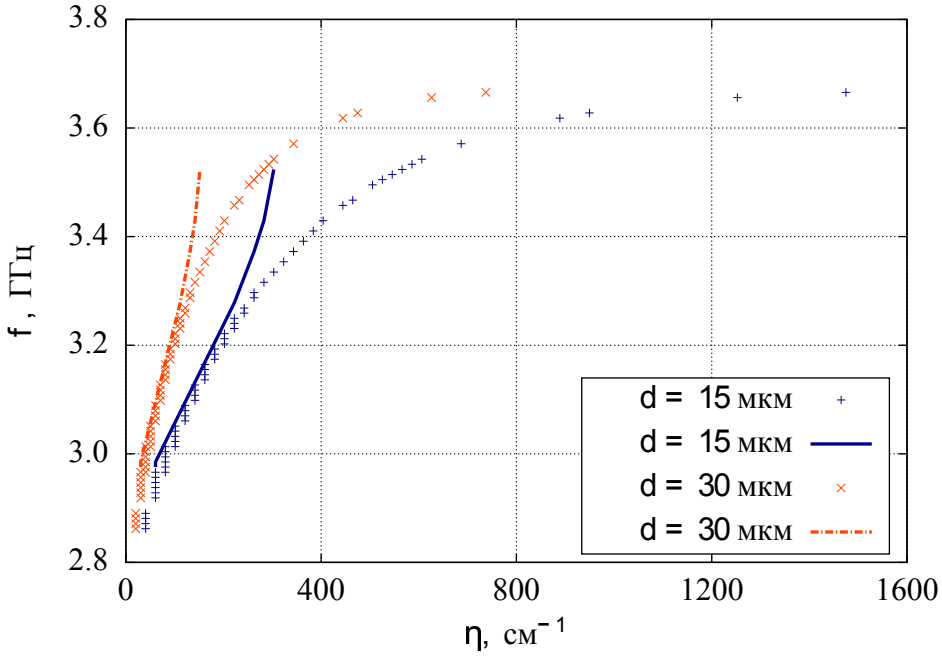


Рис. 4. Дисперсионные кривые для различных толщин плёнок ($\alpha = 10^{-3}$, $H = 437.5$ Э, остальные параметры описаны в тексте)

и толщины плёнок на дисперсию волн этих ветвей.

Список литературы

1. **Виноградов А. П.** Электродинамика композитных материалов. М.: УРСС, 2001. 207 с.

2. **Barta O., et al.** Magneto-optics in bi-gyrotropic garnet waveguide // *Opto-electronics review, 2001. Vol. 9. № 3. Pp. 320–325.*

3. **Bukhanko A. F., Sukstanskii A. L.** Optics of a ferromagnetic superlattice with noncollinear orientation of equilibrium magnetization

vectors in layers // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2002. Vol. 250. Pp. 338–352.*

4. **Dadoenkova N. N., et al.** Complex waveguide based on a magneto-optic layer and a dielectric photonic crystal // *Superlattices and Microstructures, 2016. Vol. 100. Pp. 45–56.*

5. **Eliseeva S. V., Sannikov D. G., Sementsov D. I.** Anisotropy, gyrotropy and dispersion properties of the periodical thin-layer structure of magnetic-semiconductor // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2010. Vol. 322. Pp. 3807–3816.*

6. **Rychly J. et al.** Magnonic crystals — Prospective structures for shaping spin waves in nanoscale // *Low Temperature Physics, 2015. Vol. 41. № 10. Pp. 745–759.*

7. **Ерицян О. С.** Оптические задачи электродинамики гиротропных сред // *УФН. 1982. Т. 138. № 4. С. 645–674.*

8. **Шавров В. Г., Щеглов В. И.** Магнитостатические и электромагнитные волны в сложных структурах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 360 с.

9. **Damon R. W., Eshbach J. R.** Magnetostatic modes of a ferromagnet slab // *J. Phys. Chem. Solids, 1961. V. 19. № 3/4. Pp. 308–320.*

10. **Келлер Ю. И., Макаров П. А., Шавров В. Г.** Дисперсионные свойства электромагнитных волн в касательно намагниченной

ферритовой пластине // *Журнал радиоэлектроники. 2018. № 4. 50 с.*

11. **Двайт Г. Б.** Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1973. 228 с.

12. **Макаров П. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И.** Дисперсия гиромагнитной волны в пластине феррита с диссипацией // *Журнал радиоэлектроники. 2018. № 9. 50 с.*

13. **Makarov P., Maltceva L., Kotov L., Shcheglov V.** Magnetostatic waves in a medium with damping // *EPJ Web of Conferences, 2018. V. 185. Pp. 02012:1–3.*

Summary

Makarov P. A., Ulyasheva M. A. On the theory of dispersion of gyromagnetic waves in a medium with dissipation

Gyromagnetic waves propagating in a tangentially magnetized ferrite slab with bi-gyrotropic properties was considered. Dissipation of the magnetic permeability of the material was considered. In the Damon-Eshbach geometry a system of transcendental equations was obtained. This system determines the dispersion of the wave vector components.

Keywords: gyromagnetic waves dispersion, dissipation.

References

1. **Vinogradov A. P.** *Elektrodinamika kompozitnykh materialov* (Electrodynamics of composite materials), M.: URSS, 2001, 207 p.

2. **Barta O., et al.** Magneto-optics in bi-gyrotropic garnet waveguide, *Opto-electronics review*, vol. 9, № 3, 2001, pp. 320–325.

3. **Bukhanko A. F., Sukstanskii A. L.** Optics of a ferromagnetic superlattice with noncollinear orientation of equilibrium magnetization vectors in layers, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 250, 2002, pp. 338–352.

4. **Dadoenkova N. N., et al.** Complex waveguide based on a magneto-optic layer and a dielectric photonic crystal, *Superlattices and Microstructures*, vol. 100, 2016, pp. 45–56.

5. **Eliseeva S. V., Sannikov D. G., Sementsov D. I.** Anisotropy, gyrotropy and dispersion properties of the periodical thin-layer structure of magnetic-semiconductor, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 322, 2010, pp. 3807–3816.

6. **Rychly J. et al.** Magnonic crystals — Prospective structures for shaping spin waves in nanoscale, *Low Temperature Physics*, vol. 41, № 10, 2015, pp. 745–759.

7. **Eritsyan O. S.** Opticheskiye zadachi elektrodinamiki girotropnykh sred (Optical problems in the electrodynamics of gyrotropic media), *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, v. 138, № 4, 1982, pp. 645–674.

8. **Shavrov V. G., Shcheglov V. I.** *Magnitostaticheskiye i elektromagnitnyye volny v slozhnykh strukturakh* (Magnetostatic and electromagnetic waves in complex structures), M.: FIZMATLIT, 2017, 360 p.

9. **Damon R. W., Eshbach J. R.** Magnetostatic modes of a ferromagnet slab, *J. Phys. Chem. Solids*, v. 19, № 3/4, 1961, pp. 308–320.

10. **Keller Yu. I., Makarov P. A., Shavrov V. G.** Dispersionnyye svoystva elektromagnitnykh voln v kasatel'no namagnichennoy ferritovoy plastine (Dispersion properties of electromagnetic waves on in-plane magnetized ferrite plate), *Journal of radio electronics*, № 4, 2018, 50 p.

11. **Dwight H. B.** *Tablitsy integralov i drugiye matematicheskiye formuly* (Tables of integrals and other mathematical data), M.: Science, 1973, 228 p.

12. **Makarov P. A., Shavrov V. G., Shcheglov V. I.** Dispersiya giromagnitnoy volny v plastine ferrita s dissipatsiyey (Dispersion of a gyromagnetic wave in a ferrite plate with dissipation), *Journal of radio electronics*, № 9, 2018, 50 p.

13. **Makarov P., Maltceva L., Kotov L., Shcheglov V.** Magnetostatic waves in a medium with damping, *EPJ Web of Conferences*, v. 185, 2018, p. 02012:1-3.

Для цитирования: Макаров П. А., Уляшева М. А. К теории дисперсии гиромагнитных волн в среде с диссипацией // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 3–20.*

For citation: Makarov P. A., Ulyasheva M. A. On the theory of dispersion of gyromagnetic waves in a medium with dissipation, *Bulletin*

of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics, 2019, 4 (33), pp. 3–20.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 21.11.2019*

ИНФОРМАТИКА

Вестник Сыктывкарского университета.

Серия 1: Математика. Механика. Информатика.

Выпуск 4 (33). 2019

УДК 539.3

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ ДВИЖКА ДЛЯ 2D ИГР И ИНТЕРФЕЙСОВ SAD LION ENGINE

В. А. Мельников

Статья описывает процесс поиска решений проблем, возникающих при разработке игр, на основе опыта, полученного в Sad Lion Studio. Рассматриваются готовые движки и описан путь появления собственного ядра игрового движка Sad Lion Engine.

Ключевые слова: C++, разработка игр, игровые движки, интерфейсы, архитектура игрового движка.

1. Введение

Разработка игр является технически сложным процессом. Современные игры выпускаются на множестве устройств, что остро ставит проблему совместимости и высокие требования к производительности. Несмотря на постоянно растущие мощности современных устройств, большое количество пользователей продолжает использовать даже сильно устаревшие модели, которые необходимо поддерживать. А после завершения разработки начинается цикл поддержки и развития

© Мельников В. А., 2019.

продукта, в течение которого приходится адаптировать игру под новые устройства, для использования самых современных технических возможностей. Со временем возникает необходимость добавлять новый функционал или модифицировать старый. Для снижения трудозатрат во время поддержки архитектура игры должна быть изначально хорошо спроектирована.

Что такое хорошая архитектура? На мой взгляд, основной признак хорошей архитектуры — простота внесения изменений в неё. В любые современные игры и программное обеспечение будут вноситься изменения, и затраты времени и средств для внесения этих изменений должны быть минимальны [1].

С точки зрения информатики игры — нестрогие, интерактивные, основанные на агентах системы компьютерной симуляции реального времени. Игры также имеют сходство с итеративными численными моделями: игровой цикл выполняется множество раз, и на каждом шаге различные системы вычисляют и обновляют свое состояние [2].

Во время разработки игр накапливается достаточно большая кодовая база, и её отдельные части можно переиспользовать при разработке других проектов для сокращения трудозатрат. Примером такого переиспользования могут послужить классы для рендеринга графики, работы с файловой системой на различных операционных системах, работа с аудиосистемой, чтение пользовательского ввода. Эти классы создают слой абстракции, который можно назвать игровым движком. Игровой движок или может быть оформлен в виде полноценной среды разработки со своим редактором сцен, ресурсов и т. д., или же может быть встраиваемым в другие среды разработки. Примером первой парадиг-

мы могут послужить Unity3D[1], Unreal Engine[2], CryEngine[3], примером второй парадигмы. URL: MonoGame[4], Cocos-2D[5] (хотя Cocos-2D имеет и редактор и может относиться к первой парадигме).

Разные игровые движки предоставляют разный уровень абстракции от операционной системы, на которой будет работать игра. Например, Unreal Engine предоставляет возможность написания кода на C++ и настройки всего цикла рендеринга, а Corona SDK[6], который использует скриптовый язык Lua [3], полностью абстрагирует пользователя от прямого взаимодействия с графикой и памятью. Как правило, игровые движки предоставляют довольно высокоуровневую абстракцию от операционной системы. В настоящее время для разработки игр популярен C#. С одной стороны, это ведёт к тому, что придётся обслуживать только одну кодовую базу, которая будет работать на всех устройствах, поддерживающих движок. С другой стороны, чем сложнее абстракция, тем дороже она стоит с точки зрения времени выполнения.

Большое количество сложных конструкций, такие как наследование и виртуальные функции, будут продуцировать сложный машинный код, также полное осознание принципов работы такого движка довольно проблематично. Соответственно, на выходе получается исполняемый файл заведомо худшего качества, оптимизация которого вызывает много проблем. Использование, например, C# упрощает написание кода,

[1]Сайт Unity3S. URL: https://unity.com/ru
[2]Сайт Unreal Engine 4. URL: https://www.unrealengine.com/en-US/
[3]Сайт CryEngine. URL: https://www.cryengine.com/
[4]Сайт MonoGame. URL: http://www.monogame.net/
[5]Сайт Cocos-2D. URL: https://www.cocos.com/en/
[6]Сайт Corona SDK. URL: https://ru.coronalabs.com/

а также позволяет не задумываться о проблемах с утечками памяти, сборщик мусора их не допустит [4]. С другой стороны, такие языки значительно медленнее во время выполнения, плюс сам сборщик мусора занимает довольно много процессорного времени.

В SadLion Studio (ООО «СыкГеймЛаб»)[7] для разработки игр, ориентированных на мобильные платформы, изначально использовался Unity3D. По мере работы и решения различных проблем (большой вес выходного исполняемого файла, неудобные средства разработки пользовательского интерфейса, сложность развёртки и отладки на устройстве) решено разработать свой игровой движок, позволяющий:

- получить удобный доступ к нативным методам операционной системы;
- снизить объёмы межъязыкового взаимодействия;
- наладить быструю сборку и отладку;
- оптимизировать размер исполняемого файла;
- вёрстку адаптивных интерфейсов.

Разработка движка происходила в несколько этапов:

1. Рассмотрение существующих аналогов и анализ реализации поставленных требований к движку, если они выполнены.
2. Проектирование архитектур ядра движка.
3. Выбор языка реализации.

[7]Оифициальная страница Sdlion Stuido VK. URL: https://vk.com/sadliongames

4. Реализация, тестирование и отладка.

2. Аналоги

CryEngine и Unreal Engine являются большими движками со своими средами разработки для создания AAA-игр. Описание того, что такое AAA-игры и какие сложности встречаются при их разработке, можно найти в работе [5]. Также правообладатели этих движков берут плату в проценте от дохода игры после её запуска. По этим причинам эти два движка были отброшены как возможные инструменты для работы.

MonoGame работает на платформе Xamarin, которая предоставляет неплохой уровень доступа к системным функциям, но работа там происходит на языке C#, что снижает производительность, критичную для мобильных устройств.

Cocos-2D предоставляет слишком высокий уровень абстракции и на момент рассмотрения не имел поддержки рендерных систем Metal и Vulkan [6; 7].

Unity3D был изначальным инструментом для разработки, его минусы и плюсы будут рассмотрены далее.

3. Первая версия ядра движка Sad Lion Engine

Первая версия ядра движка Sad Lion Engine (SLE) была представлена в декабре 2018 года как плагин для Unity3D, которая решала две проблемы: большой исполняемый файл и неудобные средства для разработки пользовательского интерфейса. Для проекта Quiz Challenge[8], вы-

[8]Страница проекта Quiz Challenge в Google Play. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=urmobi.games.quizchallenge

полненном с использованием новых технологий, было достигнуто улучшение по размеру исполняемого файла приблизительно в три раза по сравнению с обычным инструментарием Unity3D.

На тот момент было реализовано две функции движка, которые заменили собой функции Unity3D:

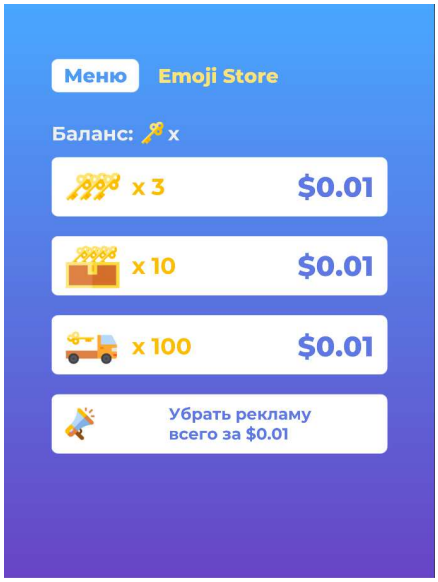
- нарезка и чтение атласов (группа графических ресурсов, сохранённых в виде одного изображения);

- модуль для чтения, принимающий на вход XML-файл и генерирующий по описанию игровые объекты. Модуль был спроектирован для поддержки адаптивности между соотношениями экранов (9:16, 3:4, 9.5:19) и интерполяции промежуточных соотношений. Множество соотношений не является заданным, оно расширяется или уменьшается под требования конкретного проекта [8, 9]. Результат работы модуля для вёрстки в трёх соотношениях можно увидеть на рис. 1 (экран магазина встроенных покупок в проекте Emoji Quest[9]).

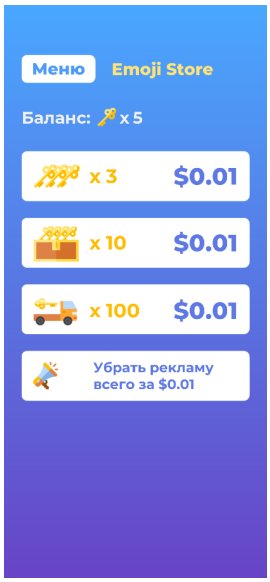
Описанная выше система полностью строилась на компонентной системе Unity3D и с использованием средств для разработки пользовательского интерфейса в Unity3D. Unity3D также является довольно большим движком, как Unreal Engine, к тому же с языком реализации игровой логики C#. Такой набор технологий приводит к большому объёму межъязыкового взаимодействия. Движок не предоставляется

[9]Страница проекта Emoji Quest в Google Play. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.novatikgame.emojiquest

9:16



3:4



9.5:19

Рис. 1. Вёрстка экранов в разных соотношениях

с исходным кодом, и решение проблем оптимизации на уровне движка и доработка под специфичные нужды невозможны. Большой про-

блемой являются затраты времени: сборка исполняемых файлов для мобильных платформ, даже для небольших проектов, таких как Quiz Challenge, занимает минимум десять минут.

Язык вёрстки бы сделан похожим на HTML, для упрощения подготовки специалистов к работе с ним. На текущий момент поддерживаются следующие теги: `Row, Col, Layer, Image, Text, Button`. Пример исходного файла для вёрстки всплывающего окна в проекте Emoji Quest приведён ниже.

```
1  <Form name="GameDescription" width="1080" height="1920">
2    <Layer>
3      <Row height="1920">
4        <Image color="0/0/0/128"/>
5      </Row>
6    </Layer>
7
8    <Layer>
9      <Row height="672.5"/>
10
11     <Row height="575">
12       <Col width="78"/>
13       <Col width="924">
14         <Image sprite="elems/1" useNativeSize="false"
             image-type="Sliced">
15           <Row height="80"/>
16
17           <Row height="230">
18             <Col width="89"/>
```

```
19
20            <Col width="751">
21              <Text name="txtGameDescription" text-
                   aligment="MiddleCenter" font="
                   Montserrat-Bold" best-fit="true" font-
                   max="50" color="69/68/120/255"/>
22            </Col>
23          </Row>
24
25          <Row height="169">
26            <Col width="89"/>
27            <Col width="751">
28              <Button name="btnStartGame" onClick="
                   OnClickStartGame" sprite="buttons/1"
                   useNativeSize="false">
29                <Row>
30                  <Col width="250"/>
31                  <Col width="251">
32                    <Row height="17"/>
33                    <Row height="135">
34                      <Col>
35                        <Text name="txtStartGame" text-
                             aligment="MiddleRight" font="
                             Montserrat-Bold" text="1"
                             best-fit="true" font-max="100
                             " color="255/255/255/255"/>
36                      </Col>
```

```
37                        </Row>
38                      </Col>
39                    </Row>
40                  </Button>
41                </Col>
42              </Row>
43
44            </Image>
45          </Col>
46        </Row>
47      </Layer>
48  </Form>
```

4. Вторая версия ядра движка Sad Lion Engine и Xamarin

Работа с Unity3D выявила следующие проблемы движка: частые «падения» среды разработки, отсутствие многих методов, стандартных для операционных систем, сложности с отладкой кода, который работает только на реальном устройстве. Эти проблемы обозначили необходимость реализации собственного ядра для игрового движка.

C++ на тот момент казался излишним, большая сложность разработки и высокая вероятность утечек памяти из-за ошибок, необходимость вести два полностью раздельных проектов в Android Studio и XCode привели к выбору C# + Xamarin [10] для Visual Studio. Такой подход позволял избежать использования двух сред разработки и держать всю кодовую базу в рамках C# в отличие от варианта с C++, где

для Android возникает использование Java для инициализации приложения и Objective-C для iOS.

Также вторая версия движка получила свою компонентную систему [11]. Получение конкретного компонента объекта и создание компонент было сделано с помощью шаблонов и рефлексии [4]. Реализация с помощью таких средств получалась довольно короткой по объёму кода.

На тот момент для реализации рендерного цикла была выбрана библиотека для векторной графики Skia[10], созданная Google. Библиотека полностью удовлетворяет потребности 2D игр: загрузка графических ресурсов, векторная графика, различные визуальные эффекты, например градиент, рисование текста, сглаживание. Как стало ясно позже, количество межъязыковых взаимодействий при таком подходе оказалось слишком большим, и приложения довольно часто «падали» без явных следов и сообщений об ошибках.

5. Третья версия ядра движка Sad Lion Engine

Третья и текущая версия ядра движка написана полностью на языке C++ с использованием современных средств управления памятью, потоками и синхронизацией потоков, таких как shared_ptr, unique_lock и т. д. [12; 13].

Изменение подхода к разработке в сторону низкоуровневого программирования позволило увеличить скорость работы приложений примерно на 30 % по сравнению со второй версией. Также концепция shared_ptr, в отличие от сборщика мусора, высвобождает память сразу же, как только на объект больше не осталось ссылок, и не нагружает

[10] Сайт Skia. URL: https://skia.org/

процессор процессом очистки.

В отличие от второй версии, где основным языком был C#, а к библиотеке рендеринга на каждом кадре происходили обращения через межъязыковое взаимодействие, в третьей версии рендеринг и логика написаны полностью на C++ и все ошибки и системные сигналы (SIGSEGV, SIGILL, SIGABRT и т. д.) отслеживаются, что позволяет пусть и с некоторыми сложностями, но полностью отслеживать «падения» [14]. Реализация создания компонент вместо рефлексии была заменена некоторым подобием паттерна «инъекция зависимостей» [15]. Переход на C++ также улучшил качество бинарных файлов и скорость их начальной загрузки.

Конечная версия компонентной системы имеет основной объект `SLObject`, который хранит в себе ссылки на компоненты с логикой. Базовый класс для компонентов `SLCompoent` наследуют все компоненты. По-умолчанию движок предоставляет пользователю три готовых компонента: `SLButton` для кнопок, `SLImage` для изображений, `SLText` для текста. Также есть ещё наследник класса компонентов — класс форм `Form`, этот класс наследуют компоненты-формы.

В третьей версии представлены следующие системы:

1. `XMLRenderer` — система для чтения XML-файлов и генерации деревьев объектов для форм. Автоматически создаёт компоненты, пользуясь инъекцией зависимостей. Расчитывает высоту и ширину объектов в процентах или пикселях.

2. `EngineContext` — основная система ядра движка. Предоставляет инициализацию и деинициализацию графики, доступ к ресурсам,

логированию и инициализирует часть других систем.

3. `PNGLoader` — система для загрузки атласов.

4. `KeyboardManager` — система для работы с клавиатурой.

5. `App` — система, реализующая цикл выполнения приложения.

6. Заключение

В результате работы было реализовано ядро игрового движка на языке C++. На данный момент разработка с ядром имеет довольно высокую сложность из-за особенностей языка. В дальнейшем планируется разработка инструментария для снижения сложности разработки. В последующих версиях запланирована реализация средств для предпросмотра вёрстки без компиляции и запуска приложения на реальном устройстве. Планируется замена Skia собственным ядром рендеринга с тесселятором для векторной графики, для возможности оптимизации конкретных сборок движка под нужды проектов.

Список литературы

1. **Nystrom R.** Game programming patterns. San Bernardino: Genever Benning, 2018. 345 p.

2. **Gregory J.** Game engine architecture, 3rd edition. Boca Raton: CRC Press, 2019. P. 1200.

3. **Иерузалимски Р.** Программирование на языке Lua. 3-е изд. М.: ДМК Пресс, 2016. 382 с.

4. **Nagel C.** Professional C# 6 and .NET Core 1.0. Indianopolis: Wrox, 2016. P. 1464.

5. **Шрейер Д.** Кровь, пот и пиксели. Обратная сторона индустрии видеоигр. М.: Бомбора, 2019. 363 с.

6. **Clayton J.** Metal programming guide. Addison-Wesley. 2018. 352 p.

7. **Sellers G.** Vulkan Programming Guide. The Official Guide to Learning Vulkan, Boston, Columbus, Indianapolis, New York, San Francisco, Amsterdam, Cape Town Dubai, London, Madrid, Milan, Munich, Paris, Montreal, Toronto, Delhi, Mexico City S?o Paulo, Sydney, Hong Kong, Seoul, Singapore, Taipei, Tokyo: Addison-Wesley, 2017. 480 p.

8. **Berg M., Duffy S., Moakley B., Van de Kerckhove E., Uccello A.** Unity games by tutorials. Razeware LLC. 2017. 634 p.

9. **Хокинг Д.** Unity в действии. М.; СПб.; Нижний новгород; Воронеж; Киев; Екатеринбург; Самара; Минск: Питер, 2018. 334 с.

10. **Petzold C.** Cross-platform C# programming for iOS, Android and Windows. Redmond, Washington: Microsoft Press. 1161 p.

11. **West M.** Evolve your hierarchy [Электронный ресурс]. Intel Game Dev. URL: https://software.intel.com/en-us/articles/parallel-techniques-in-modeling-particle-systems-using-vulkan-api (дата обращения: 16.11.2019).

12. **Stroustrup B.** The C++ programming languege 4th edition. Uppder Saddle River, Boston, Indianopolis, San Francisco, New York, Toronto,

Montral, London, Munich, Paris, Madrid, Capetown, Sydney, Tokyo, Singapore, Mexico city: Addison-Wesley. 2013. 1345 p.

13. **О'Двайр А.** Осваиваем C++17 STL. М.: ДМК, 2019. 351 с.

14. **Раго С. А., Стивенс Р. У.** Профессиональное программирование UNIX. М.; СПб.: Символ, 2014. 1100 с.

15. **Seeman M.** Dependency Infection in .NET. Shelter Island, New York: Manning Publications. 2011. 584 p.

Summary

Melnikov V. A. Development Process of game engine core for 2D games and interfaces Sad Lion Engine

Game engine core, written in C++, was released as a result of work. Currently, working with this core is quite difficult because of language specific. Further development of tools for reducing difficulty is planned. In next versions realization of tools for previewing of page layoputs also is planned. Also in future changing Skia with custom rendering core with tessalator for vector graphics is planned< due to needs of optimizations of concrete projects.

Keywords: C++, game development, game engines, interfaces, game engine architecture.

References

1. **Nystrom R.** *Game programming patterns*, San Bernardino: Genever Benning, 2018, 345 p.

2. **Gregory J.** *Game engine architecture*, 3rd edition, Boca Raton: CRC Press, 2019, p. 1200.

3. **Ierusalimschy R.** *Programmirovanie na yazyke Lua*, 3-e izdanie, (Programming in Lua. 3rd ed.), M.: DMK Press, 2016, 382 p.

4. **Nagel C.** *Professional C# 6 and .NET Core 1.0*, Indianopolis: Wrox, 2016, p. 1464.

5. **Schreier J.** *Krov, pot i pikseli. Obratnaya storona industrii videoigr* (Blood, Sweat, and Pixels: The Triumphant, Turbulent Stories Behind How Video Games Are Made), M.: Bombore, 2019, 363 p.

6. **Clayton J.** *Metal programming guide*, Addison-Wesley, 2018, 352 p.

7. **Sellers G.** *Vulkan Programming Guide. The Official Guide to Learning*, Vulkan, Boston, Columbus, Indianapolis, New York, San Francisco, Amsterdam, Cape Town Dubai, London, Madrid, Milan, Munich, Paris, Montreal, Toronto, Delhi, Mexico City S?o Paulo, Sydney, Hong Kong, Seoul, Singapore, Taipei, Tokyo: Addison-Wesley, 2017, 480 p.

8. **Berg M., Duffy S., Moakley B., Van de Kerckhove E., Uccello A.** *Unity games by tutorials*, Razeware LLC, 2017, 634 p.

9. **Hocking J.** *Unity in action*, M., SPb., Nizhnij novgorod, Voronezh, Kiev, Ekaterinburg, Samara, Minsk: Piter, 2018, 334 p.

10. **Petzold C.** *Cross-platform C# programming for iOS, Android and Windows*, Redmond, Washington: Microsoft Press, 1161 p.

11. **West M.** Evolve your hierarchy, Intel Game Dev, URL: https://software.intel.com/en-us/articles/parallel-techniques-in-modeling-particle-systems-using-vulkan-api (date of the application: 16.11.2019).

12. **Stroustrup B.** *The C++ programming languege*, 4th edition, Uppder Saddle River, Boston, Indianopolis, San Francisco, New York, Toronto, Montral, London, Munich, Paris, Madrid, Capetown, Sydney, Tokyo, Singapore, Mexico city: Addison-Wesley, 2013, 1345 p.

13. **O'Dwyer A.** *Osvaivaem C++17 STL* (Mastering the C++17 STL), M.: DMK, 2019, 351 p.

14. **Rago S. A., Stevens R. W.** *Professional'noe programmirovanie UNIX* (Advanced Programming in the UNIX Environment), M., SPb.: Simvol, 2014, 1100 p.

15. **Seeman M.** *Dependency Infection in .NET*, Shelter Island, New York: Manning Publication,. 2011, 584 p.

Для цитирования: Мельников В. А. Процесс разработки движка для 2D игр и интерфейсов Sad Lion Engine // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 21–37.*

For citation: Melnikov V. A. Development Process of game engine core for 2D games and interfaces Sad Lion Engine, *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 21–37.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 05.12.2019*

НАСТАВНИК-УЧЕНИК

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика.
Выпуск 4 (33). 2019

УДК 378.147

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ДОСТУПНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ[1]

В. А. Воеводин, Э. А. Арзуманян, Д. С. Ганенков, А. А. Чумаков

На основе анализа деятельности по организации аудита информационной безопасности осуществляется постановка научной задачи по оценке доступности информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами, имеющей практическую значимость. Приводятся основные положения методического подхода к решению задачи. Для её решения была выдвинута рабочая гипотеза о целесообразности оценивания доступности информации с помощью числа управляемых исполнитель-

[1]Материалы публикации подготовлены с использованием гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина.

© Воеводин В. А., Арзуманян Э. А., Ганенков Д. С., Чумаков А. А., 2019.

ных объектов. Сообщается об ограниченности методики и обозначены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: доступность, информация, автоматизированная система управления, технологические процессы, исполнительный объект, компьютерная модель.

Для принятия решения по применению сил и средств информационной безопасности (ИБ), в том числе и предназначенных для аудита информационной безопасности (АИБ) лицу, принимающему решение (ЛПР), требуется обладать информацией о степени соответствия текущего уровня защиты информации (ЗИ) принятым для отрасли критериям аудита. Эта информация отражается в аудиторском заключении (АЗ) [1, 2].

Для вывода достоверного аудиторского заключения (АЗ), требуются добыть и объективно оценить значительное множество свидетельств аудита (СА), которые представляют собой записи, формализованное изложение фактов и другую информацию. Оценивание СА осуществляется посредством сравнения их с соответствующими критериями аудита [3].

Для отраслей народного хозяйства, связанных с применением в производственных процессах объектов, отнесенных к объектам критической информационной инфраструктуры, нормы права выстраиваются на основе специального федерального закона [1] и соответствующих подзаконных актов (Нормативное поле). Анализ Нормативного поля позволяет утверждать, что приоритетным направлением ЗИ является обеспечение доступности информации по отношению к целостности и конфиденциальности. В этой связи основные усилия сил и средств ИБ

должны быть сосредоточены на обеспечении доступности информации (ДИ) [4], а конфиденциальность и целостность обеспечиваются по принципу достаточности и при постановке задачи исследования выносятся в ограничения. Поэтому предметом научного исследования является оценка доступности информации в компьютерных сетях (КС) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), где четко выделен орган управления (ОУ) и исполнительные объекты (ИО), которые выполняют команды от ОУ и сообщают о результатах исполнения по цепи обратной связи. Такие сети в рамках статьи будем позиционировать как автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Постановка задачи научного исследования

А) Определены исходные данные:

D_{mp} — требуемый уровень обеспечения ДИ в АСУ ТП;

M_{cc} — модель (графическая, матричная или аналитическая) АСУ ТП, $S_{CC}\} = \{a_i, \| \ \alpha_{ij} \ \|\}$, где $\| \ \alpha_{ij} \ \|$ — матрица связности элементов АСУ ТП. В том случае, когда $\alpha_{ij} = 1$, то связь между i-м и j-м элементами с требуемым качеством обеспечена. В противном же случае $\alpha_{ij} = 0$; $|\alpha_i|$ — идентификатор состояния i-го элемента АСУ ТП. Если $\alpha_i = 1$, то элемент находится в работоспособном состоянии, в противном случае $\alpha_{ij} = 0$;

$W(t) = \{w_i(t)\}$ — структурная важность элементов АСУ ТП в текущий момент.

Б) Требуется:

Разработать методику решения задачи по оценке текущего уровня ДИ — $D(t)$ и оценить степень его соответствия требованию — D_{mp}.

В качестве показателя ДИ в АСУ ТП выбрана вероятность того, что между ОУ и ИО будет существовать хотя бы одно направление обмена информацией с требуемым качеством, в котором показателем готовности КС к обмену технологической информации является число управляемых объектов.

В) Задача исследования решается при следующих допущениях:

1. Состояние ИО описывается множеством групповых признаков $D = \{d_i\}$, d_i — идентификатор i-го элемента АСУ ТП.

2. τ_A — период времени, который отводится на проведение аудита, определяется нормативным-правовым актом [5]. Срок проведения добровольного аудита ИБ – предмет договора. Считается разумным срок аудита ИБ не более одного месяца.

3. Исходным положением для организации АИБ является то, что аудиторы обладают полной исходной информацией об АСУ ТП, владеют базой знаний, позволяющей оценивать отдельные стороны АСУ ТП, для оценки которых разработаны и внедрены, апробированные на практике, модели АСУ ТП как объекта исследования (математические, статистические, логические).

4. Уровень обеспечения конфиденциальности информации не хуже требуемого.

5. Уровень обеспечения целостности информации не хуже требуемого.

Г) Алгоритм решения задачи:

1. Анализ существующих методов оценивания ДИ в АСУ ТП [6; 7].
2. Анализ существующих методов оценивания структурной важности

элементов [6; 7]. 3. Поиск решения поставленной задачи [6; 7]. 4. Разработка рекомендаций по применению методики для вывода АЗ.

Поставленная задача характеризуется большой размерностью и нелинейным характером целевой функции, поэтому основными методами её решения являются либо прямой перебор альтернативных вариантов, либо ограничение области поиска решения [4].

Для обоснования выбора показателя, характеризующего доступность информации в АСУ ТП, представим его в виде многополюсного иерархического графа, вершиной которого является узел, сопоставленный с ОУ («Вершина ЛПР»), конечные вершины сопоставлены с ИО («Вершина УО»). Для управления (например, технологическими объектами) требуется двухсторонняя связь между «Вершиной ЛПР» и «Вершиной УО», посредством которой передаются управляющие воздействия и осуществляется обратная связь. Однако в некоторые моменты времени элементы АСУ ТП могут потерять работоспособность, и связь между ОУ и ИО, требуемого качества, может быть нарушена, т. е. последние теряют управляемость — становятся недоступными для доведения управляющих воздействий и выбывают из технологического процесса. Как итог, ОУ не может получить информацию о состоянии ИО и доводить управляющие воздействия.

Введем дополнительные ограничения:

1. Пусть известна вероятность безотказной работы каждого из ИО, p_i, где $i = 1, 2, \ldots, M$, где — число ИО (активных средств).

2. Вероятность того, что ОУ находится в работоспособном состоянии, равна 1.

3. Производственные возможности АСУ ТП прямо пропорциональ-

ны числу ИО.

С учетом дополнительных ограничений для решения задачи была выдвинута рабочая гипотеза, что в качестве показателя, характеризующего доступность информации в АСУ ТП, целесообразно выбрать или текущее число ИО для оценки ДИ в конкретный момент времени, или усредненное значение числа управляемых ИО по нескольким реализациям при статистическом моделировании или на определенном временном промежутке, например за время производственного цикла.

Таким образом, для оценки доступности необходимо иметь сведения о числе управляемых ИО (рис. 1). Если это число будет меньше некоторого порогового значения, то необходимо принять решение о восстановлении управляемости (рис. 2), т. е. решить соответствующую задачу синтеза.

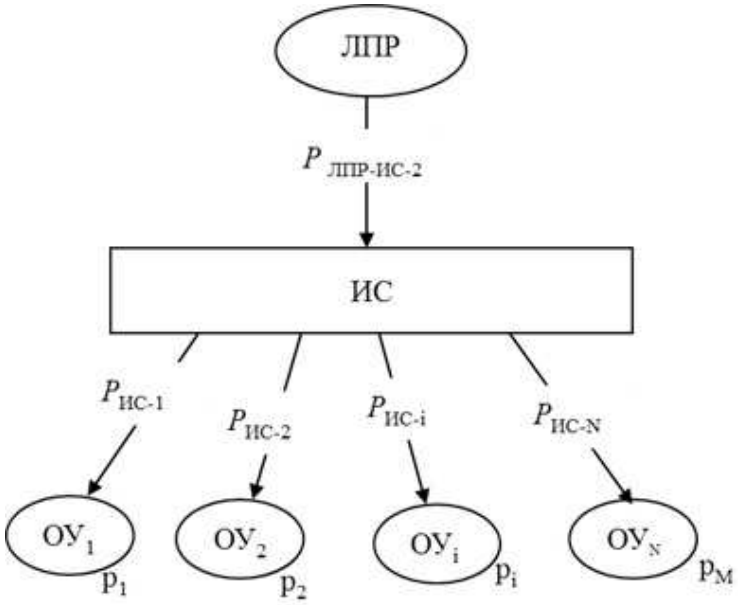


Рис. 1. Структурная избыточность

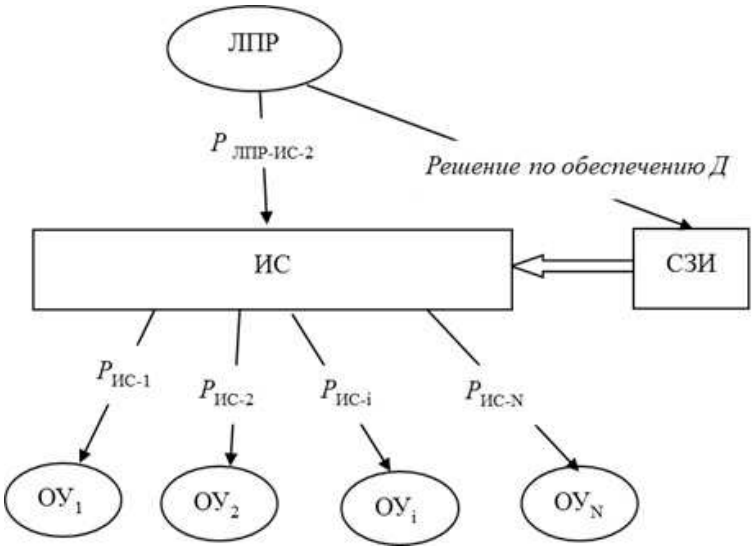


Рис. 2. Функциональная избыточность

Решение должно выбираться из множества альтернативных вариантов восстановления доступности и обязательно с учетом ограничений выделенного ресурса. Для обеспечения выбора необходимо оценивать на каждом шаге «вес», «значимость» и «вклад» каждого из элементов АСУ ТП. Эта задача имеет практическую значимость для ЛПР.

Из постановки задачи следует, что ее решение можно найти, применяя логико-вероятностные методы (ЛВМ) исследования надежности технических систем, которые используются в «теории надежности технических систем со структурной избыточностью» [7].

Логико-вероятностный метод (ЛВМ) включает две части:

1) логическую модель компьютерной сети АСУ ТП, где она отображается в виде структурных схем, мостиковых структур или в виде графа переходов. С помощью логической модели определяются структурные характеристики КС;

2) вероятностную модель компьютерной сети АСУ ТП, где она представляется в виде статистической модели, с помощью которой определяются статистические характеристики ДИ в КС.

Применение метода позволяет количественно оценить Доступность, а также определить роль конкретных элементов АСУ ТП в обеспечении ДИ.

При использовании ЛВМ оперируют структурными характеристиками элементов КС: «вес», «значимость» и «вклад» элемента при обеспечении ДИ:

«вес» позволяет оценить местоположение элемента в структуре КС;

«значимость» — местоположение элемента в структуре КС и зависимость его роли от вероятностных характеристик взаимодействующих элементов;

«вклад» — местоположение элемента в структуре КС, условие её функционирования и связь с вероятностью безотказной работы всех элементов КС, включая и сам оцениваемый элемент.

Для оценки роли того или иного элемента ИС в обеспечении ДИ необходимо оценить влияние приращения ДИ при извлечении из структуры соответствующего элемента или группы элементов.

Оценку ДИ предлагается осуществлять с применением функции работоспособности (ФРС) [6], с помощью которой представляется возможным описать условия работоспособности КС с помощью минимального набора работоспособных элементов АСУ ТП, который необходим для успешного функционирования, или с помощью минимального набора отказов элементов ИС, который не повлияет на её работоспособность (минимальное сечение отказов системы).

Далее рассмотрен метод расчета ФРС для вычисления вероятностных характеристик АСУ ТП, она же выполняет роль целевой функции.

Порядок применения логико-вероятностного метода для оценки ДИ:

1. Формулировка критерия отказа.

2. Построение логической ФРС состояния ИС с использованием сформулированного выше критерия отказа.

3. Преобразование ФРС с учетом цели исследования.

4. Преобразование логической формы ФРС в математическую.

5. Расчет вероятности безотказной работы АСУ ТП.

При решении задачи необходимо записать на языке алгебры логики условия работоспособности АСУ ТП, используя операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания [5].

Рис. 3. Схема передачи информации пользователю

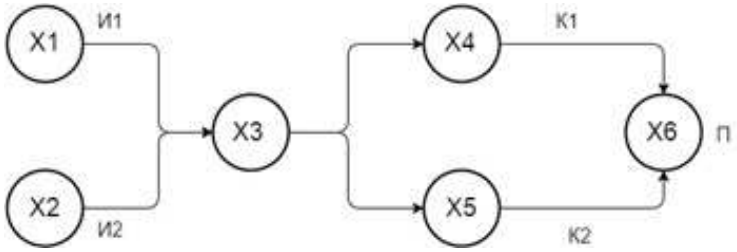


Рис. 4. Структурная мостиковая схема передачи информации пользователю

Пример 1. Определим вероятность безотказной работы P(t) КС, приведенной на рис. 3 и 4, при условии, что известны вероятности безотказной работы каналов $p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t)$.

Решение:

ДИ будет обеспечена при следующих условиях:

— исправны основной источник информации X1, распределительный элемент X3 и канал связи X4;

— исправны основной источник информации X1, распределительный элемент X3 и канал связи X5;

— исправны резервный источник информации X2, распределительный элемент X3 и канал связи X4;

— исправны резервный источник информации X2, распределительный элемент X3 и канал связи X5.

Запишем логическую ФРС:

$$y = (x1 \wedge x3 \wedge x4) \vee (x1 \wedge x3 \wedge x5) \vee (x2 \wedge x3 \wedge x4) \vee (x2 \wedge x3 \wedge x5).$$

Раскрыв скобки и используя закон идемпотентности $a \vee a = a$ и закон поглощения $a \wedge (a \vee b) = a$, получим в окончательном виде:

$$y = x1 \wedge x2 \wedge x3 \wedge (x4 \vee x5).$$

Заменив в функции y логические операции математическими, получим:

$$y = x1 \cdot x2 \cdot x3 \cdot (x4 + x5 - x4 \cdot x5).$$

Заменив события $x1, x2, x3, x4, x5$ их вероятностями, определим количественное значение вероятности работоспособного состояния АСУ ТП:

$$y = p_{x1}(t) \cdot p_{x2}(t) \cdot p_{x3}(t) \cdot \{p_{x4}(t) + p_{x5}(t) - p_{x4}(t) \cdot p_{x5}(t)\}.$$

Таким образом, можно найти вероятность связности получателя с источниками информации И1 и И2, которая будет являться вероятностью обеспечения доступности ИО.

По мере увеличения числа элементов ИС и усложнения её структуры становится труднее записать условия работоспособности с помощью функций алгебры логики. В таком случае можно использовать метод расчета с помощью несовместных гипотез [6].

Данный метод заключается в необходимости формулировки всех несовместных гипотез успешного функционирования АСУ ТП и расчета её доступности многократным поэтапным использованием формулы полной вероятности.

Таким образом, в результате проведенного научного исследования предложено методическое решение задачи по оценке доступности информации в АСУ ТП, имеющей практическую значимость.

Однако по материалам [4] следует, что аналитические методы исследования ДИ приемлемы для структур, содержащих порядка 100 элементов и 300 связей, а дальнейшее увеличение элементов модели ограничено допустимой вычислительной сложностью, при которой решение не

может быть найдено в приемлемые сроки с учетом производительности процессора. В [6] предложено решать такие задачи с помощью физической модели КС АСУ ТП.

Дальнейшие исследования направлены на разработку компьютерной модели [8] планируется построить виртуальный лабораторный стенд для исследования доступности КС АСУ ТП, а также на разработку рекомендаций по внедрению результатов исследований в практику организации АИБ

Результаты научного исследования докладывались на секции «Математическое моделирование в информационной безопасности» в рамках Национальной (всероссийской) научной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии», приводимой в г. Сыктывкаре, СГУ им. Питирима Сорокина 7–9 ноября 2019 году.

Материалы публикации подготовлены с использованием гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина.

Список литературы

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации : федер. закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ: [принят Гос. думой 12 июля 2012 г.: одобрен Советом Федерации 19 июля 2017 г.] [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/ (дата обращения: 07.11.2019).

2. **Макаренко С. И.** Аудит безопасности критической инфраструктуры специальными информационными воздействиями : монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2018. 122 с.

3. ГОСТ Р ИСО 19011-2012 г. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. Введ. 2012-07-19 № 196-ст. М.: Стандартинформ, 2019. 75 с.

4. **Воеводин В. А., Кикоть И. Р.** Доступность информации и информационных сервисов сети связи. Оценка сложности моделирования // Сборник научных трудов: интеллектуальные системы в информационном противоборстве. В 2 т. под научн. ред. Н.И. Баяндина. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2018. С. 140–146.

5. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : федер. закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ: [принят Гос. думой 19 декабря 2008 г.: одобрен Советом Федерации 22 июля 2008 г.] [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/ (дата обращения: 07.11.2019).

6. **Авдуевский В. С., Кузнецов В. И., Кузнецов Н. Д. и др.** Надежность и эффективность в технике : справочник: В 10 т. Т. 5. Проектный анализ надежности. М.: Машиностроение, 1988. С. 58–124.

7. **Авдуевский В. С., Кузнецов В. И., Кузнецов Н. Д. и др.** Надежность и эффективность в технике : справочник: В 10 т. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.

8. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. Введ. 2017-03-10 № 110-ст. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.

Summary

Voevodin V. A., Arzumanyan E. A., Ganenkov D. S., Chumakov A. A. About the mathematical model of assessing the availability of information in the automated process control system. Statement of the problem-solving methods

Based on the analysis of activities on organization of information security audit is the formulation of scientific tasks to assess the accessibility of information in automated control system of technological processes of practical relevance. The main provisions of the methodological approach to solving the problem are presented. To solve the problem, a working hypothesis was put forward about the feasibility of assessing the availability of information using the number of managed Executive objects. It is reported about the limitations of the technique, the directions of further research are indicated.

Keywords: availability, information, automated control system, technological processes, Executive object, computer model.

References

1. «O bezopasnosti kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii» ot 26.07.2017 N 187-FZ: feder. zakon ot 26 iyulya 2017 g. № 187-FZ: [prinyat Gos. Dumoy 12 iyulya 2012 g.: odobren Sovetom Federatsii 19 iyulya 2017 g.] («On security of critical information infrastructure of the Russian Federation» dated 26.07.2017 N 187-FZ: Feder. law No. 187-FZ of 26 July 2017: [adopted by the state Duma on 12 July 2012: approved by the Federation Council on 19 July 2017]) [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/ (date of the application: 07.11.2019).

2. **Makarenko S. I.** *Audit bezopasnosti kriticheskoy infrastruktury spetsial'nymi informatsionnymi vozdeystviyami* (Security Audit of critical infrastructure by special information impacts), Monograph, SPb.: Science-intensive technologies, 2018, 122 p.

3. GOST R ISO 19011-2012g. Rukovodyashchiye ukazaniya po auditu sistem menedzhmenta. Vved. 2012-07-19 № 196-st (GOST R ISO 19011-2012. Guidelines for audit of management systems), No. 2012-07-19 № 196-art, M.: STANDARTINFORM, 2019, 75 p.

4. **Voyevodin V. A., Kikot' I. R.** *Dostupnost' informatsii i informatsionnykh servisov seti svyazi. Otsenka slozhnosti modelirovaniya. Sbornik nauchnykh trudov* (Availability of information and information services of the communication network. Estimation of modeling complexity. Collection of scientific papers), pod nauchn. N. I. Bayandina: in 2 t, Moscow FGBOU VO «REU them. G. V. Plekhanova»,

2018, pp. 140–146.

5. «O zashchite prav yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimateley pri osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i munitsipal'nogo kontrolya» : feder. zakon ot 26 dekabrya 2008 g. № 294-FZ: [prinyat Gos. Dumoy 19 dekabrya 2008 g.: odobren Sovetom Federatsii 22 iyulya 2008 g.] («On the protection of the rights of legal entities and individual entrepreneurs in the exercise of state control (supervision) and municipal control» : Feder. law No. 294-FZ of 26 December 2008: [adopted by the state Duma on 19 December 2008: approved by the Federation Council on 22 July 2008]), [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/ (date of the application: 07.11.2019).

6. **Avduyevskiy B. C., Kuznetsov V. I., Kuznetsov N. D., etc.** *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik* (Reliability and efficiency in technology: Handbook), in 10 vols, vol. 5, Project reliability analysis, Moscow: Mashinostroenie, 1988, pp. 58–124.

7. **Avduevsky B. C., Kuznetsov V. I., Kuznetsov N. D., etc.** *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik* (Reliability and efficiency in technology: Handbook), in 10 vols, vol. 2. Mathematical methods in the theory of reliability and efficiency. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 280 p.

8. GOST R 57412-2017. Komp'yuternyye modeli v protsessakh razrabotki, proizvodstva i ekspluatatsii izdeliy. Obshchiye polozheniya. Vved. 2017-03-10 № 110-st (GOST R 57412-2017. Computer models in

the development, production and operation of products. Generalities. No. 2017-03-10 no. 110-art), M.: STANDARTINFORM, 2018, 15 p.

Для цитирования: Воеводин В. А., Арзуманян Э. А., Ганенков Д. С., Чумаков А. А. О математической модели оценки доступности информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами. Постановка задачи. Методы решения // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 38–54.*

For citation: Voevodin V. A., Arzumanyan E. A., Ganenkov D. S., Chumakov A. A. About the mathematical model of assessing the availability of information in the automated process control system. Statement of the problem-solving methods, *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 38–54.

МИЭТ *Поступила 07.11.2019*

НАСТАВНИК-УЧЕНИК

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика.
Выпуск 4 (33). 2019

УДК 004.4

О МЕТОДИКЕ ПЕРЕХОДА ОРГАНИЗАЦИЙ НА НОВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ю. В. Гольчевский, В. К. Щукин

Данная работа посвящена проблеме уменьшения рисков, возникающих при переходе организации или предприятия на новое программное обеспечение, на основе выполнения последовательного комплекса мероприятий. Обсуждена необходимость этих шагов. Приведен пример апробации предложенного алгоритма.

Ключевые слова: программное обеспечение, организация, переход на новое программное обеспечение.

Введение Ранее мы уже обсуждали некоторые вопросы, связанные с проблемами информатизации современных организаций и предприятий [1]. ИТ-специалисты подчеркивают, что для современных предприятий характерно достаточно быстрое изменение информационной среды, что вызвано постоянным появлением на рынке множества новых приложений и технологий. При этом остро встает вопрос об обеспечении непрерывного бесперебойного функционирования организации на

© Гольчевский Ю. В., Щукин В. К., 2019.

этапе замены программных продуктов и уменьшении различных рисков, связанных с данной ситуацией [2]. Конечно, речь здесь идет не о переходе на новый офисный пакет, а о замене ключевых корпоративных систем, например систем, обеспечивающих поддержание основных бизнес-процессов, контроль обеспечения информационной безопасности и подобных.

На первый взгляд процедура замены программного обеспечения (ПО) в организации довольно проста: достаточно купить сертифицированный продукт и отдать приказ на удаление старого и установку нового ПО. На самом деле, при такой организации работы появляются угрозы, которые могут нарушить непрерывность деятельности предприятия, в частности:

– уменьшение скорости работы как отдельного ПО, так и различной вычислительной техники, а также сетевого обмена данными, вплоть до полной остановки;

– частичное или полное блокирование работы системы;

– несовместимость ранее установленного ПО с новым, что также влечет замедление или невозможность дальнейшей работы;

– появление ошибок при установке, что может привести к нарушению принятых правил разграничения доступа, повышению уязвимости системы к различного рода атакам, утечке корпоративной информации и т. п.

Чтобы предотвратить возможность наступления негативных последствий, стоит проводить процедуру замены в соответствии с определенным планом, инструкцией или алгоритмом. Поиск в открытых источниках точных инструкций по порядку перехода на новое ПО не дал

каких-либо результатов, так как данная процедура четко не регламентирована. Это обусловило необходимость самостоятельной разработки рекомендаций по порядку перевода организации на эксплуатацию нового ПО и действий непосредственно в период замены ПО.

Итак, поступает Приказ от вышестоящего должностного лица (либо организации, например для филиалов) на переход от эксплуатации одного программного продукта на другой. Желательно, чтобы в нем указывались причины изменений, сам программный продукт, который следует внедрить в организации, конкретные сроки по реализации перехода и сотрудники, на которых возлагается исполнение и контроль по переходу.

Обсудим основные аспекты методики перехода и опишем комплекс мероприятий, которые должны провести ответственные сотрудники для обеспечения бесперебойного функционирования ИТ-инфраструктуры организации.

1. Организационные мероприятия

Рекомендуется подготовить организационно-распорядительную документацию в целях соблюдения внутренних документов по обеспечению безопасного и бесперебойного функционирования ПО в организации (если, конечно, таковые имеются). Изначально требуется создать план мероприятий по выводу из эксплуатации старых программных продуктов и внедрению новых. В нем нужно описать конкретные меры, которые требуется исполнить для вывода старого ПО. В частности, отмена документов, связанных с эксплуатацией выводимого продукта, изменение настроек сетевого доступа для ПО, изменение конфигурационных файлов, отключение учетных записей и прочее. После плана ме-

роприятий для нового продукта создается новая документация, которая будет регулировать работу сотрудников и самого ПО, взаимодействие сотрудников, их доступ к управлению продуктом, соответствующие руководства и инструкции, необходимые при работе. Примерный перечень выглядит следующим образом:

– приказ о назначении администраторов и контролеров ПО в данной организации;

– акт установки и ввода в эксплуатацию ПО;

– конфигурация ПО;

– матрица доступа к ПО;

– руководство по установке и настройке ПО применительно к средствам вычислительной техники (СВТ) данной организации;

– инструкция по проведению контроля;

– инструкция для персонала;

– инструкция по идентификации / аутентификации (создается новая или дорабатывается старая с учетом изменений);

– руководство по настройке дополнительных функций стороннего ПО (при отсутствии использования на каких–либо СВТ данного продукта);

– перечень СВТ, на которых необходимо осуществить переход на новое ПО, с отметками о выполнении.

Переход на новое ПО также требует выделения дополнительных ресурсов (финансовых, людских, технических и т. д.), что необходимо тщательно спланировать.

2. Обучение сотрудников

Для повышения качества и безопасности перехода в организации и

расширения осведомленности ее сотрудников о вводе нового ПО следует проводить соответствующее обучение.

Для администраторов и контролеров ПО рекомендуется проводить обучение в части установки, настройки и администрирования продукта в специализированных учебных центрах. Причем провести обучение таких сотрудников следует максимально оперативно, по возможности еще до активного внедрения нового продукта, когда исполнители только начинают разрабатывать организационно-распорядительную документацию и могут после обучения внести корректировки. В общем случае рекомендуется выделить на это не более двух недель.

Для остальных сотрудников, которые выполняют роль пользователей ПО, можно проводить обучающие мероприятия в форме презентации или видеокурсов на самом предприятии. Также полезно создать отдельную памятку или инструкцию по правилам пользования ПО. Данное мероприятие следует проводить с сотрудниками, у которых планируется замена ПО за несколько дней, при этом само обучение в организации длится на всем этапе перехода частями.

3. Технические мероприятия

Для понимания того, как интегрируется новое ПО в корпоративные системы, какие проблемы при этом возникают и каковы пути их решения, а также для дальнейшей подготовки таких организационно–распорядительных документов, как «Конфигурация ПО», «Матрица доступа к ПО», доработки «Руководства по установке и настройке», «Инструкции по проведению контроля» и т. д., требуется создать тестовый стенд, моделирующий инфраструктуру предприятия. На таком стенде можно провести испытание нового продукта в инфраструктуре

предприятия. На его развертку требуется выделить необходимое оборудование и сотрудника из числа исполнителей проекта перехода, который производит сборку, первоначальную установку и настройку нужных компонентов инфраструктуры и ПО.

Стенд позволяет еще до ввода продукта в эксплуатацию предварительно выявить и решить появившиеся проблемы, провести проверку совместимости ПО, интеграции с другими системами, продумать возможности передачи данных между внедряемой и функционирующими системами, подготовить файлы–шаблоны, которые могут понадобиться для проведения контроля и т. д.

В организации может эксплуатироваться достаточно большое количество различных вычислительных устройств, для которых следует провести описанные мероприятия. Это обусловливает необходимость отслеживания информации о них, что может быть достаточно трудоемко. К тому же новая информация о них может фигурировать и в других документах в организации. Для решения этой проблемы можно порекомендовать исследовать вопрос выполнения автоматизации таких процедур. Проведение процесса следует проводить с использованием ПО, установленных на СВТ ранее, либо с установкой нового ПО, если это не противоречит внутренним организационно–распорядительным документам в части безопасности СВТ.

С учетом вышеизложенных рекомендаций примерное планирование процесса перехода может выглядеть так, как представлено на рис. 1.

Резюмируя, представить рекомендуемый метод перехода можно в виде SADT-диаграммы, показанной на рис. 2.

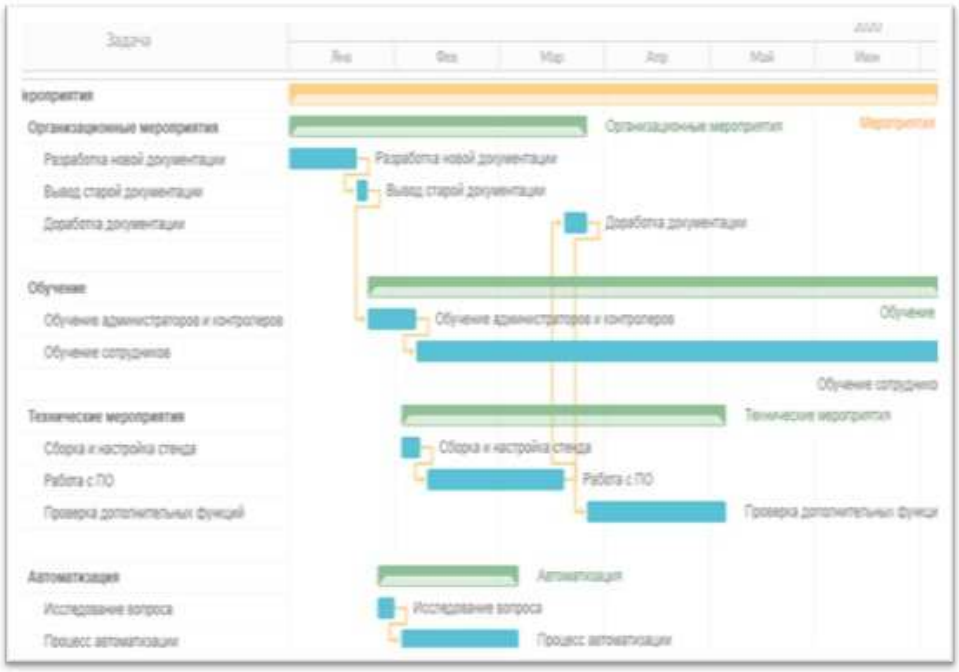


Рис. 1. График перехода на новое программное обеспечение

Апробация

В соответствии с изложенным выше алгоритмом была проведена апробация некоторых мероприятий на примере отказа от DLP DeviceLock, СЗИ от НСД Secret Net и Паспорт АРМ и перевод на эксплуатацию Secret Net Studio — комплексное решение для защиты рабочих станций и серверов на уровне данных, приложений, сети, операционной системы и периферийного оборудования [3] и дополнительные функции для антивируса Kaspersky Endpoint Security в одной из достаточно крупных организаций Республики Коми, имеющей в своей структуре пятнадцать подразделений и свыше четырехсот различных вычислительных средств.

Апробация проводилась в очередности, отличающейся от представ-

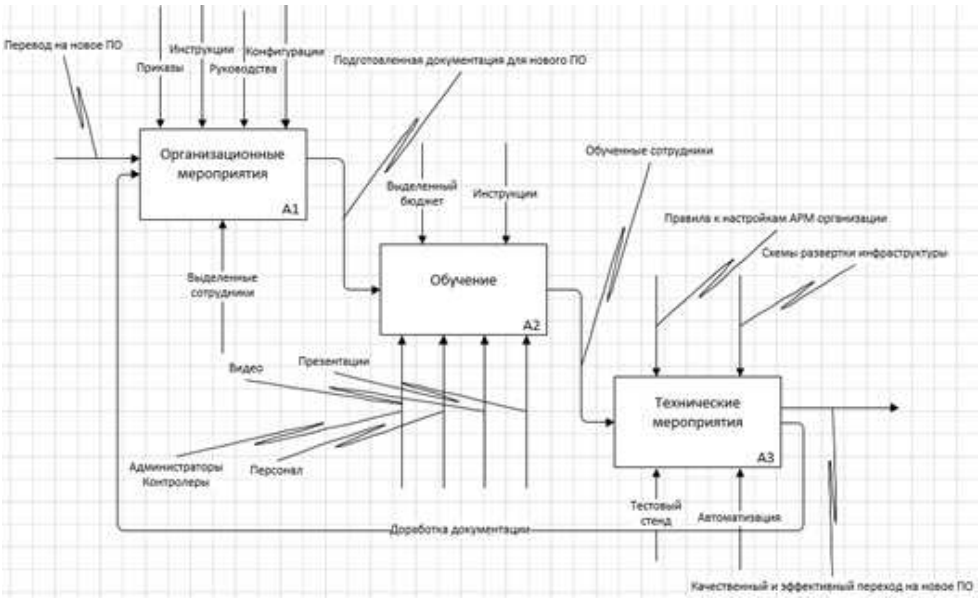


Рис. 2. SADT-диаграмма, представляющая переход организации на новое ПО

ленной выше, так как в описываемом случае ключевыми были именно технические мероприятия и затем уже остальные. Остановимся более подробно на некоторых результатах.

Тестовый стенд был создан на базе двух компьютеров и коммутатора: первый компьютер имитировал пользователя на базе операционной системы семейства Windows, на втором средствами виртуализации были развернуты два сервера под управлением операционной системы Windows Server 2012 (рис. 3).

На одном сервере была добавлена роль контроллера домена и с помощью служб Active Directory созданы пользователи, необходимые в дальнейшем для отработки сценариев работы нового программного продукта в корпоративной сети. На другом сервере были установлены компоненты Net Framework, реляционная база данных SQL Server 2012 и

Рис. 3. Схема тестового стенда

развернут Сервер безопасности Secret Net Studio.

Далее была произведена удаленная установка агентов и настроены Политики безопасности в соответствии с внутренними документами организации. На компьютере пользователя было установлено необходимое ПО, которое используется на каждом рабочем месте (каждой роли) в организации, и проверена корректность работы с новым ПО. Дополнительно были добавлены и настроены различные электронные идентификаторы и устройства, которые используются при работе на предприятии.

После выполнения описанных выше действий на стенде появляется возможность выполнять ряд процедур, которые нужно протестировать перед вводом в эксплуатацию Secret Net Studio. Таким образом были

отработаны типовые ситуации в части «Администрирования», «Журналирования» и «Проведения аудита» для раздела Контроль устройств, а также проведено тестирование функции Паспорт ПО.

Данная отработка сценариев позволила еще на этапе ввода в эксплуатацию нового ПО заранее проверить, насколько оно удовлетворяет потребностям организации и превосходит (либо не превосходит) уже имеющееся и эксплуатируемое на данный момент ПО. Это позволило определиться с правами для контролеров, подготовить файл-выборки при проведении внутреннего контроля с использованием ПО, заранее продумать и решить проблемы тех сценариев, которые оно выполнять не может.

В ходе замены программного продукта возникла потребность во внесении достаточно значительных изменений в работу компьютеров, которые не подключены к централизованной системе. Отказ от одного продукта не подразумевает обязательной установки другого. В таком случае дополнительно должны быть предусмотрены сценарии для решения подобного рода проблем. В описанном случае потребовалось включить дополнительные функции на Kaspersky Endpoint Security [4]. И в связи с этим потребовалось разработать инструктивно-методический материал — «Руководство для администраторов информационной безопасности по настройке блокировки доступа к устройствам». Данное руководство включает в себя полное описание общей настройки Контроля устройств, настройки журналирования и создания «белого» списка.

Для организации и планирования перехода на новое программное обеспечение необходимо обладать актуальной информацией об используемых технических средствах и статусе их перевода на новое ПО.

В ходе выполнения описываемых мероприятий возникла необходимость реализовать автоматизированный сбор данных об используемых технических средствах. Был создан Справочник типизируемых данных, который позволяет сотрудникам вносить данные, которые при последующем использовании удобно фильтровать и сортировать. Добавлены функции условного форматирования и логические правила, позволяющие уменьшить вероятность ошибки при заполнении документов и наглядно показать, где информация еще не введена. Также была доработана система сбора и обобщения информации о технических средствах через соответствующие настройки запросов и генерации сводных таблиц.

Заключение

Предложенная методика зарекомендовала себя как практически полезная при организации перевода достаточно большого предприятия на эксплуатацию нового программного продукта. Ее применение позволило обеспечить в организации высокий уровень безопасности функционирования структурных подразделений организации на этапе перехода, наладить и сделать более эффективным сам процесс перехода при помощи автоматизации, решить появившиеся в ходе апробаций проблемы.

Список литературы

1. **Гольчевский Ю. В., Малдрик А. В.** Пять шагов на пути к эффективной информатизации предприятия // *Прикладная информатика. 2013. № 3(45). С. 23–35.*

2. **Торосян Е. К., Торопчинова А. Д.** Вопросы управления рисками IT-проектов при переходе на новое программное обеспечение в современных условиях // *Петербургский экономический журнал. 2018. № 3. С. 105–109.*

3. Secret Net Studio [Электронный ресурс] «Код безопасности» URL: https://www.securitycode.ru/products/secret–net–studio/ (дата обращения: 16.06.2019).

4. Kaspersky Endpoint Security for Windows [Электронный ресурс] «Энциклопедия фан–клуба Лаборатории Касперского». URL: https://forum.kasperskyclub.ru/wiki/Kaspersky_Endpoint_Security_for_Windows (дата обращения: 16.06.2019).

Summary

Golchevskiy Yu. V., Schukin V. K. The enterprise transition method to new software operation

The paper is devoted to the problem of reducing risks arising during the enterprise transition to new software operation, based on the implementation of a consistent set of measures. The necessity of these steps is discussed. An example of testing the proposed algorithm is given.

Keywords: software, organization, transition, product, enterprise transition to new software operation.

References

1. **Golchevskiy Yu. V., Maldrik A. V.** Pyat' shagov na puti k effektivnoy informatizatsii predpriyatiya (Five steps to effective

enterprise informatization), *Prikladnaya informatika (Applied Informatics)*, 2013, No 3(45), pp. 23–35.

2. **Torosyan Ye. K., Toropchinova A. D.** Voprosy upravleniya riskami IT-proyektov pri perekhode na novoye programmnoye obespecheniye v sovremennykh usloviyakh (Risk management issues of IT-projects during the transition to new software in modern conditions), *Peterburgskiy ekonomicheskiy zhurnal (Petersburg Economic Journal)*, 2018, No 3, pp. 105–109.

3. Secret Net Studio. URL: https://www.securitycode.ru/products/secret–net–studio/ (date of the application: 16.06.2019).

4. Kaspersky Endpoint Security for Windows. URL: https://forum.kasperskyclub.ru/wiki/Kaspersky_Endpoint_ Security_for_Windows (date of the application: 16.06.2019).

Для цитирования: Гольчевский Ю. В., Щукин В. К. О методике перехода организаций на новое программное обеспечение // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 55–67.*

For citation: Golchevskiy Yu. V., Schukin V. K. The enterprise transition method to new software operation, *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 55–67.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 08.11.2019*

ИНФОРМАТИКА

Вестник Сыктывкарского университета.

Серия 1: Математика. Механика. Информатика.

Выпуск 4 (33). 2019

УДК 004.4

ВОЗМОЖНОСТИ РЕШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОБЫТИЯМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ

Н. Р. Оленева, Д. С. Семяшкина

В статье рассматриваются возможности реализации мероприятий по выявлению инцидентов информационной безопасности посредством регистрации событий безопасности о возможных угрозах и уязвимостях в информационных системах организации. Также приводятся функциональные преимущества SIEM-систем отечественного и зарубежного производства.

Ключевые слова: аналитика безопасности, мониторинг информационных систем, инциденты информационной безопасности, сбор событий безопасности, угроза, уязвимость.

С развитием информационных технологий растет и актуальность проблемы обеспечения информационной безопасности информационных систем. Атакующие технологии развиваются быстрее защитных, и

© Оленева Н. Р., Семяшкина Д. С., 2019.

поэтому любые информационные системы находятся в постоянной опасности. Вместе с развитием функциональных возможностей различных информационных систем развиваются и технические решения, обеспечивающие безопасность их функционирования.

Специалистам в области защиты информации приходится прилагать немало трудовых и временных затрат на поиски уязвимостей в автоматизированных информационных системах. На помощь приходят стремительно развивающиеся программы сбора данных от различных источников событий — SIEM (Security Information and Event Management).

SIEM (Security information event management) — класс систем обеспечения информационной безопасности, появившихся в результате слияния SEM-систем (анализ информации в режиме реального времени) и SIM-систем (анализ уже накопленной информации) [1]. Основной функцией SIEM-систем является анализ информации, поступающей от различных источников событий, таких как системы DLP, средства антивирусной защиты информации, межсетевые экраны, системы учета трафика, сканеры уязвимости и т. д. На основе анализа данных из этих источников выявляются отклонения от нормального функционирования, заданного критериями безопасности, и в случае обнаружения происходит оповещение администратора безопасности.

После установки SIEM-системы подключаются источники событий информационной безопасности и задаются правила обработки данных событий по следующей схеме, представленной на рис. 1 [2].

Российским законодательством в области защиты персональных данных даже предусмотрено обязательное применение SIEM-систем в информационных системах предприятий. Такие требования регламен-

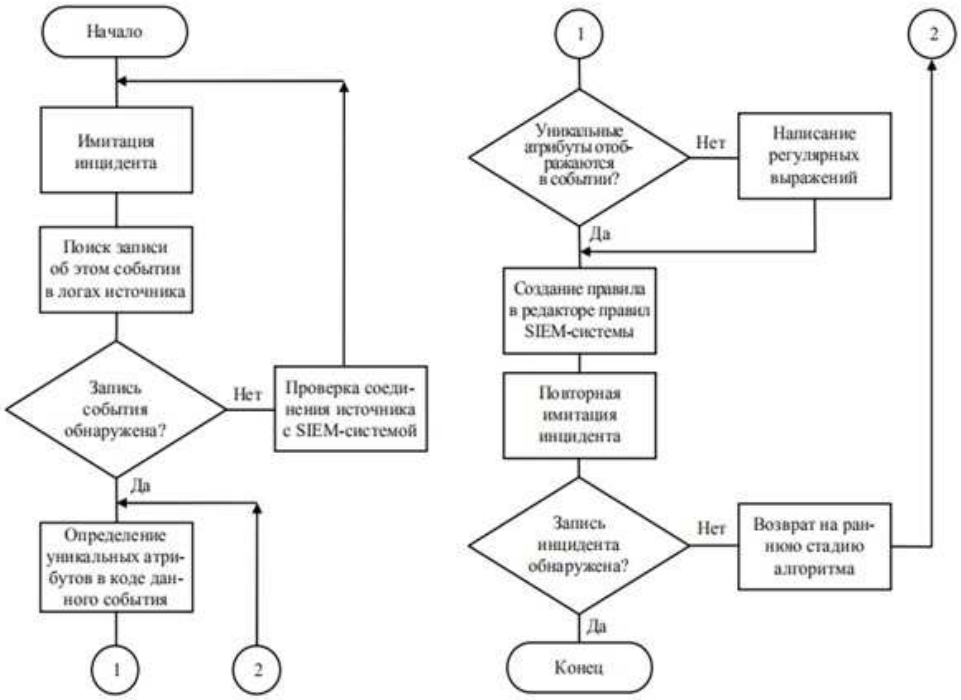


Рис. 1. Схема алгоритма описания правила

тируют: Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 N 21 «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 11.02.2013 N 17 «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» и др.

Мировой рынок SIEM-систем достаточно разнообразен. Среди лидеров мирового рынка имеются продукты и отечественного производства, например «НПО «Эшелон»» КОМРАД [1]. Указом Президента РФ «Об утверждении доктрины информационной безопасности РФ» отмечает-

ся, что развитие в отрасли информационных технологий и электронной промышленности, а также совершенствование деятельности по разработке, производству и эксплуатации средств обеспечения информационной безопасности являются национальными интересами в информационной сфере [3].

Проведем сравнительный анализ функциональных возможностей данных технологий среди следующих отобранных систем отечественного и зарубежного производства: Splunk Enterprise Security, IBM Qradar SIEM, HP ArcSight Security Intelligence, FortiSIEM, AlienVault Unified Security Management, Micro Focus ArcSight Data Platform, КОМРАД, MaxPatrol, RuSIEM, Security Capsule SIEM.

Разработки США

Splunk Enterprise Security — это SIEM, основанный из пяти различных структур, которые могут использоваться независимо друг от друга для удовлетворения широкого спектра случаев использования безопасности, включая безопасность приложений, управление инцидентами, расширенное обнаружение угроз, мониторинг в режиме реального времени. Система включает в себя:

– мониторинг в реальном времени;

– назначение приоритетов и принятие мер;

– быстрое расследование;

– многоэтапные расследования.

Решение Splunk ES может быть развернуто в виде программы или облачной службы, в общедоступном или частном облаке [4].

Продукт *IBM Qradar SIEM*. Отвечает за нормализацию и проведение анализа корреляции с целью выявления угроз безопасности. При

помощи механизма Sense Analytics обнаруживает аномалии, раскрывает угрозы и удаляет ложноположительные результаты.

Программа использует опциональное ПО IBM Security X-Force Threat Intelligence для определения действий, связанных с подозрительными IP-адресами, например при подозрении во вредоносной активности [5].

Комплексное решение *HP ArcSight Security Intelligence* компании HP ArcSight включает в себя следующие составляющие решения:

– HP ArcSight Logger — обеспечивает сбор и фильтрацию событий;

– HP ArcSight Threat Response — обеспечивает моментальную реакцию на инциденты путем анализа информации от HP ArcSight ESM, локализацию проблемы и применение ответных мер реагирования;

– HP ArcSight Configuration Management — позволяет провести конфигурацию сетевого оборудования и настроек безопасности;

– HP ArcSight Fraud Detection — решение для выявления и предотвращения мошенничества в области интернет-банкинга и банковских карт [6].

FortiSIEM — технология управления информационной безопасностью и событиями — способствует интеграции сред с адаптивной системой сетевой безопасности. Технология предусматривает создание центра по работе с сетями и обеспечению безопасности с управлением из единого окна. Центр реализует функции отслеживания и сбора актуальных данных об угрозах в рамках всей инфраструктуры.

Разработки Европейских стран

Продукт *AlienVault Unified Security Management* (Испания) сочетает в себе возможности SIEM и управления журналом с другими важными инструментами безопасности, включая обнаружение активов, оценку уязвимости и обнаружение вторжений, чтобы обеспечить централизованный мониторинг безопасности облака, помещения и гибридные среды [7]. AlienVault USM предоставляет:

– единый мониторинг безопасности;

– простое управление безопасностью и отчетность;

– непрерывный мониторинг угроз;

– быстрое внедрение;

– функции безопасности в единой консоли.

Micro Focus ArcSight Data Platform (Великобритания) — это платформа SIEM, которая объединяет сбор информации и управление журналами машинных данных для обеспечения интеллектуальной безопасности. Обладает возможностями интеграции со сторонними платформами Big Data.

Отечественные разработки

SIEM-система *КОМРАД* — разработка российской компании «НПО "Эшелон"». Особенности системы [8]:

– централизованный сбор и анализ данных журналов событий систем защиты информации, автоматизированных рабочих мест, серверов и сетевого оборудования;

– удаленный контроль параметров конфигурации и работы отслеживаемых объектов;

– оперативное оповещение и реагирование на внутренние и внешние

угрозы безопасности автоматизированной системы;

– контроль выполнения заданных требований по безопасности информации, сбор статистики и построение отчетов по защищенности;

– возможность масштабирования решения и создания системы мониторинга информационной безопасности произвольного масштаба;

– интеграция с системами защиты информации.

MaxPatrol SIEM — средство безопасности от производителя Positive Technologies, в основе которого лежит сбор и анализ информации обо всех активах и событиях защищаемой системы в режиме реального времени. Системы класса SIEM, функционал которых предполагает не только сбор данных от различных устройств и приложений, но и автоматическое выявление инцидентов, призваны обеспечить всесторонний мониторинг событий информационной безопасности в информационной инфраструктуре как государственных организаций, так и частных компаний [9].

RuSIEM — российская разработка отечественной компании РУСИЕМ. Решение позволяет организовать централизованный и распределенный сбор событий с систем любого класса, автоматическое обнаружение инцидентов ИТ, ИБ и бизнес-процессов по правилам корреляции и с применением механизмов искусственного интеллекта.

RuSIEM имеет широкий набор визуализаций данных: карту взаимосвязей, выборку по событиям, аналитику, отчеты, инциденты. Решение позволяет отслеживать входы и доступы персонала с новых мест и приложений — из других браузеров, IP–адресов и операционных систем [10].

Система *SIEM «Security Capsule»* предназначена для регистрации,

учета, анализа, корреляции и разбора инцидентов событий ИБ [11]. Обеспечиваются следующие возможности:

– организация сбора и передачи информации о событиях ИБ;

– встроенный «мастер» настройки модулей;

– нормализация событий;

– корреляция событий;

– разбор инцидентов ИБ;

– управление учетными записями пользователей системы;

– хранение информации о событиях ИБ, фильтрация данных по заданным критериям;

– формирование отчетов о событиях ИБ;

– отправка сообщения о событиях ИБ в реальном масштабе времени и по расписанию;

– отправка отчетов о событиях ИБ в зашифрованном виде;

– просмотр и анализ результатов регистрации и реагирование на них;

– восстановление работоспособности системы после сбоев и отказов.

Сравнительная характеристика SIEM-систем отечественного и зарубежного производства представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика SIEM-систем

	Параметр сравнения	Splunk Enterprise Security	IBM Qradar SIEM	HP ArcSight Security Intelligence	Forti SIEM	AlienVault Unified Security Management
1	2	3	4	5	6	7
	Страна	США	США	США	США	Испания
1	Целевой сегмент	Средний и крупный бизнес	Малый и средний бизнес, корпорации	Малый и средний бизнес, корпорации	Корпорации	Средний и малый бизнес, корпорации
2	Платформа	Linux/ Windows	Linux, Windows	Red Hat Enterprise Linux, Windows Server	Linux, Windows	Windows
3	Интерфейс	Английский	Английский, русский	Английский, русский	Английский	Английский, русский
4	Отчетность	+	+	+	+	+
5	Сбор событий	+	+	+	+	+
6	Обновление баз угроз	–	+	+	+	+

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
7	Принцип работы	Сбор и последующий анализ событий	Сбор и анализ событий	Сбор и последующий анализ событий	Сбор и анализ событий	Сбор и анализ событий
8	Мониторинг	+	+	+	+	+
9	Оповещение об инцидентах	+	+	+	+	+
10	Технология клиент-сервер	+	–	+	–	+
11	Управление инцидентами	+	+	+	+	+
12	Фильтрация событий	–	+	+	+	+
13	Управление хранилищем данных	+	+	+	–	+
14	Стоимость	От 500 тыс. руб.	От 3 млн руб.	От 4 млн руб.	От 500 тыс. руб.	От 300 тыс. руб.
15	Сертификация ФСТЭК	–	–	+	–	–

Продолжение таблицы 1

	Параметр сравнения	Micro Focus ArcSight Data Platform	КОМРАД	MaxPatrol	RuSIEM	Security Capsule SIEM
	8	9	10	11	12	13
	Страна	Великобритания	Россия	Россия	Россия	Россия
1	Целевой сегмент	Крупный и средний бизнес	Крупные корпоративные клиенты, госсектор	Корпоративные клиенты, средний бизнес, госсектор	Малый и средний бизнес, корпорации	Малый и средний бизнес, корпорации
3	Интерфейс	Английский, русский	Русский	Русский	Английский, русский	Русский
4	Отчетность	+	+	+	+	+
5	Сбор событий	+	+	+	+	+
6	Обновление баз угроз	+	+	+	+	–

Окончание таблицы 1

	8	9	10	11	12	13
7	Принцип работы	Сбор и анализ событий	Управление событиями ИБ	Подключение к системе, аутентификация, авторизация, сбор событий	Сбор событий систем любого класса	Syslog, Eventlog, SNMP, SQL, собственный протокол
8	Мониторинг	+	+	+	+	+
9	Оповещение об инцидентах	+	+	+	+	+
10	Технология клиент-сервер	–	+	–	+	+
11	Управление инцидентами	+	+	+	+	+
12	Фильтрация событий	–	–	+	+	+
13	Управление хранилищем данных	+	+	+	+	+
14	Стоимость	От 1 млн руб.	От 200 тыс. руб..	От 3 млн руб.	От 300 тыс. руб.	От 200 тыс. руб.
15	Сертификация ФСТЭК	+	+	+	+	+

Анализ отобранных программных продуктов производился на основании мониторинга сайтов-производителей и сайтов с экспертными оценками. Можно заметить, что российские продукты не уступают в функциональности мировым и способны с ними конкурировать.

Наиболее полным функционалом обладают Splunk Enterprise Security (США), AlienVault Unified Security Management (Испания), КОМРАД, Security Capsule SIEM (Россия), RuSIEM (Россия). Наименьшим функционалом обладают FortiSIEM (США) не обеспечивает управление хранилищем данных, Micro Focus ArcSight Data Platform (Великобритания) отсутствует фильтрация событий.

Рынок SIEM-систем представлен достаточно разнообразно. Каждая SIEM-система обладает своими достоинствами и недостатками. Какой продукт выбрать, решает сам потребитель в зависимости от того какие функциональные возможности необходимы для выполнения поставленных целей и задач. Статистические данные об инцидентах безопасности, собранные системой, позволяют сделать выводы о том, насколько надежно работают применяемые компанией средства защиты и насколько эффективно применение в ней разработанной системы безопасности.

Список литературы

1. **Дрозд А.** Обзор SIEM-систем на мировом и российском рынке [Электронный ресурс] // Сайт Anti-Malware. URL: https://www.antimalware.ru/analytics/Technology_Analysis/Overview_SECURITY_systems_global_and_Russian_market (дата обращения: 09.12.2019).

2. **Шабуров А. С., Борисов В. И.** Разработка модели защиты информации корпоративной сети на основе внедрения SIEM-системы // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2016. № 19. С. 111–124. [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка». URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-zaschity-informatsii-korporativnoy-seti-na-osnove-vnedreniya-siem-sistemy/viewer (дата обращения: 09.12.2019).*

3. Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 05.12.2016 N 646 [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_208191/ (дата обращения: 09.12.2019).

4. SIEM для обеспечения безопасности на основе аналитики [Электронный ресурс] // Сайт компании Splunk. URL: https://www.splunk.com/ru_ru/products/premium-solutions/splunk-enterprise security.html (дата обращения: 09.12.2019).

5. На страже безопасности: IBM QRadar SIEM [Электронный ресурс] // Сайт Habr. URL: https://habr.com/company/muk/blog/325330/ (дата обращения: 09.12.2019).

6. HP Arcsight [Электронный ресурс] // Сайт компании Hewlett Packard Enterprise. URL: http://arcsight-russia.ru/products-hp-arcsight/products-hp-arcsight (дата обращения: 09.12.2019).

7. **Alien Vault** Unified Security Management [Электронный ресурс] // Сайт AlienVault. URL: https://alienvault.ru/products/ (дата обращения: 09.12.2019).

8. КОМРАД [Электронный ресурс] // Эшелон. URL: https://npo-echelon.ru/production/65/11174 (дата обращения: 09.12.2019).

9. MaxPatrol SIEM [Электронный ресурс] // SIEM. URL: http://siem.su/MaxPatrol_SIEM.php (дата обращения: 09.12.2019).

10. **Сапрыкина А.** Обзор мирового и российского рынка SIEM-систем 2017 [Электронный ресурс] // Сайт Anti-Malware. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/overview-global-and-russian-market-siem (дата обращения: 09.12.2019).

11. Security Capsule SIEM [Электронный ресурс] // ООО «ИТБ». URL: https://www.itb.spb.ru/docs/SC/Security_Capsule_SIEM_Description_of_application.pdf (дата обращения: 09.12.2019).

Summary

Oleneva N. R., Semyashkina D. S. Possibilities of solving by information systems problems of information security events management in organizations

The paper discusses the possibilities of implementing measures to identify information security incidents by registering security events about

potential threats and vulnerabilities in the organization's information systems. The functional advantages of SIEM-systems are observed.
Keywords: security analytics, information systems monitoring, information security incidents, security event gathering, threat, vulnerability.

References

1. Drozd Aleksey, Obzor SIEM-sistem na mirovom i rossiyskom rynke (Overview of SIEM systems in the world and Russian markets) [Electronic resource], Anti-Malware site: Access mode: https://www.antimalware.ru/ analytics/Technology_Analysis/ Overview_SECURITY_systems_global_and_Russian_market (date of the application: 09.12.2019).

2. **Shaburov A. S., Borisov V. I.**, Razrabotka modeli zashchity informatsii korporativnoy seti na osnove vnedreniya SIEM-sistemy (Development of a corporate network information security model based on the implementation of the SIEM system), *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, control systems*, 2016, No 19, pp. 111–124 [Electronic resource], Scientific electronic library «CyberLenink». Access Mode: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-zaschity-informatsii-korporativnoy-seti-na-osnove-vnedreniya-siem-sistemy/viewer (date of the application: 09.12.2019).

3. Ukaz Prezidenta RF ot 05.12.2016 N 646 «Ob utverzhdenii Doktriny informatsionnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii» (Decree of the President of the Russian Federation of 05.12.2016 N 646 «On approval

of the Doctrine of information security of the Russian Federation») [Electronic resource], Website Consultant Plus. Access Mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_208191/ (date of the application: 09.12.2019).

4. SIEM dlya obespecheniya bezopasnosti na osnove analitiki (SIEM for security based on analytics) [Electronic resource], Splunk company website: Access mode: https://www.splunk.com/ru_ru/products/premium-solutions/splunk-enterprise security.html (date of the application: 09.12.2019).

5. Na strazhe bezopasnosti: IBM QRadar SIEM (Security Watch: IBM QRadar SIEM) [Electronic resource], Habr website: Access mode: https://habr.com/company/muk/blog/325330/ (date of the application: 09.12.2019).

6. HP Arcsight [Electronic resource], Hewlett Packard Enterprise website: Access mode: http://arcsight-russia.ru/products-hp-arcsight/products-hp-arcsight (date of the application: 09.12.2019).

7. AlienVault Unified Security Management [Electronic resource], Alien Vault website: Access mode: https://alienvault.ru/products/ (date of the application: 09.12.2019).

8. COMRAD [Electronic resource], Echelon: Access mode: https://npo-echelon.ru/production/65/11174 (date of the application: 09.12.2019).

9. MaxPatrol SIEM [Electronic resource], SIEM: Access mode: http://siem.su/MaxPatrol_SIEM.php (date of the application:

09.12.2019).

10. Saprykina Anastasia, Obzor mirovogo i rossiyskogo rynka SIEM-sistem 2017 (Overview of the global and Russian market of SIEM systems 2017) [Electronic resource], Anti-Malware site: Access mode: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/overview-global-and- russian-market-siem (date of the application: 09.12.2019).

11. Security Capsule SIEM [Electronic resource], ITB LLC: Access mode: https://www.itb.spb.ru/docs/SC/Security_Capsule_SIEM_ Description_of_application.pdf (date of the application: 09.12.2019).

Для цитирования: Оленева Н. Р., Семяшкина Д. С. Возможности решения информационными системами проблем управления событиями информационной безопасности в организации // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 68–85.*

For citation: Oleneva N. R., Semyashkina D. S. Possibilities of solving by information systems problems of information security events management in organizations, *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 68–85.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 09.12.2019*

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика.
Выпуск 4 (33). 2019

УДК 539.3

О ПРИМЕНЕНИИ БИБЛИОТЕК PYTHON ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛАСТИН

А. В. Ермоленко, К. С. Осипов

В данной статье приведен пример расчета задачи механики упругих тел по расчету прогиба пластины под нагрузкой с применением пакетов NumPy, SciPy и визуализация результата с помощью пакета MatPlotLib.

Ключевые слова: Python, численные методы, механика упругого тела.

Язык программирования Python применяется в различных областях [1]. Не стала исключением и научная составляющая, а именно математические расчеты. Python «из коробки» имеет инструментарий для решения тривиальных математических задач. Данный функционал можно расширить, подключив различные библиотеки. Рассмотрим некоторые доступные возможности.

Первым, наиболее простым вариантом использования Python в расчетах являются расчеты со встроенным модулем math. Модуль не име-

© Ермоленко А. В., Осипов К. С., 2019.

ет обширного функционала, но вполне подходит для выполнения базовых расчетов. Включает в себя тригонометрические функции, например math.cos, math.sin, логарифмические функции, а также наиболее известные математические константы. Для начала работы с модулем необходимо его подключить командой *import*. Пример использования показан в листинге 1.

```
>>> import math
>>>math.cos(0)
1.0
>>> math.exp(1)
2.718281828459045
>>> math.e
2.718281828459045
>>> math.pi
```

Листинг 1

Для интегрирования, дифференцирования, операций из линейной алгебры для Python разработаны такие библиотеки, как **SciPy, NumPy, SymPy**. Если необходимо использовать символьные вычисления (по аналогии с Maple, MATLAB), то для этого используется библиотека SymPy. Для начала использования библиотеки необходимо ее загрузить. Далее в программном коде следует импортировать либо всю библиотеку SymPy, либо отдельный ее компонент. Важно отметить, что при использовании символьных вычислений необходимо каждую переменную объявлять как символьную. Пример символьного вычисления интеграла указан в листинге 2.

```
>>> from sympy import *
>>> x = Symbol('x')
>>>integrate(x**2 + x + 1, x)
x**3/3 + x** 2/2 + x
```

Листинг 2

Пример символьного вычисления первой и второй производных показан в листинге 3.

```
>>> from sympy import *
>>> x = Symbol('x')
>>> diff(sin(2*x),x)
2*cos(2*x)
>>> diff(sin(2*x),x,2)
-4*sin(2*x)
```

Листинг 3

Для выполнения численных расчетов используется связка библиотек SciPy и NumPy. SciPy — это целая экосистема, ориентированная на выполнение математических, научных и инженерных вычислений. В качестве основной структуры данных используются массивы, реализованные в NumPy. Библиотека представляет обширные возможности для выполнения численных расчетов. Для ее применения в программе необходимо выполнить импортирование функций NumPy следующей командой:

```
>>import numpy as np
```

В дальнейшем можно вызывать функции NumPy через имя np.

На примере расчета круглой пластины [2] покажем использование связки библиотек SciPy и NumPy. Для этого рассмотрим круглую шарнирно закрепленную пластину радиуса R и толщиной h, которая находится под действием осесимметричной нагрузки q_n. Требуется найти прогиб пластины.

Для того чтобы показать использование Python и не погружаться в сложные расчеты, решение поставленной задачи найдем с помощью следующего уравнения Софи Жермен – Лагранжа [3]:

$$D\Delta^2 w = q_n. \tag{1}$$

Здесь w — прогиб пластины, $D = Eh^3/12/(1-\nu^2)$ — цилиндрическая жесткость, E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона, $\Delta = \dfrac{1}{\rho}\dfrac{d}{d\rho}(\rho\dfrac{d}{d\rho})$ — оператор Лапласа в полярных координатах.

Граничные условия шарнирного закрепления примем в виде

$$w(R) = 0, w''(R) = 0, \tag{2$_1$}$$

$$|w(0)| < +\infty, |w''(0)| < +\infty. \tag{2$_2$}$$

Функция Грина, соответствующая краевой задаче $\{(1), (2)\}$ имеет вид

$$G(\rho,\xi) = \frac{\xi}{4}H(\rho-\xi)(\ln\frac{\rho}{\xi}(\rho^2+\xi^2)+\xi^2-\rho^2)-$$
$$-\frac{\xi}{8}(2\ln R\xi(\rho^2+\xi^2)+3\xi^2-3R^2+\rho^2-\frac{\xi^2\rho^2}{R^2}). \tag{3}$$

Функция Хевисайда H имеет реализацию в пакете NumPy, что и будет использовано в дальнейшем решении задачи. Для представления функции Грина в языке программирования Python воспользуемся лямбда-функциями. Они имеют более строгий и лаконичный вид,

чем обычное, классическое определение функции через def и понятнее отображают смысл математической функции в коде. Лямбда-функции встроены в Python по умолчанию, поэтому для их использования нет необходимости подключать какой-либо пакет. В результате функция Грина в Python имеет следующий вид:

```
>>> green = lambda xi, rho: (xi / 4) * \
np.heaviside(rho-xi, 1) * (np.log(rho / xi) * (rho ** 2 + \
xi ** 2) + xi ** 2 - rho ** 2) - (xi / 8) * \
(np.log(R / xi) * (2 * rho ** 2 + 2 * xi ** 2) + \
3 * xi ** 2 - 3 * R ** 2 + rho ** 2 - \
(xi ** 2 * rho ** 2) / R ** 2)
```

Как можно увидеть, здесь функция Хевисайда вызывается с двумя параметрами. Первый параметр это само выражение, которое передается в функцию. Второй параметр определяет поведение функции при случаях, когда ее выражение равно нулю.

Решение краевой задачи $\{(1), (2)\}$ с использованием функции (3) имеет вид

$$w(\rho) = \frac{1}{D} \int_0^R G(\rho, \xi) q_n(\xi) d\xi. \tag{4}$$

Для расчета возьмем $q_n(x) = \sin(x)$. Для упрощения представления задачи введем функцию qnGreen, которая будет представлять подынтегральное выражение и выглядит так:

```
>>> qnGreen = lambda xi, rho : np.sin(xi) * green(xi, rho)
```

Далее введем точки, на которых рассматривается данная задача. Если принять $R = 100$, а количество точек равным 100, то тогда получится

набор точек от 0 до 100 с шагом 0,01. Для этого в программе воспользуемся основной структурой данных — массивами numpy и функцией arange, которая задает последовательность чисел в массиве. Для этого запишем следующую команду:

```
>>> rho = np.arange(0, R, 0.01)
```

Функция arange принимает 3 значения — начало и конец последовательности, а также ее шаг. После всех выполненных подготовительных процедур можно приступить к численному интегрированию, для этого используется набор функций integrate из пакета SciPy. При решении данной задачи использовалась функция quad. Загрузка функций integrate выглядит так:

```
>>> import scipy.integrate as integrate
```

При использовании функции quad вычисление прогиба имеет вид

```
>>> for i in range(1,100):
w[i] = (1 / D) * integrate.quad(qnGreen, 0, 1,
args=(rho[i],))[0]
```

Функция quad возвращает массив значений из двух элементов, в котором первый элемент — это само значение интеграла, а второй — погрешность вычислений.

Для визуализации расчетов используем библиотеку matplotlib. Визуализируем решение данной задачи с помощью данного пакета. Для этого импортируем набор функций pyplot, которые позволяют строить графики в стиле MATLAB. В таком случае используется команда

```
>> import matplotlib.pyplot as plt
```

Теперь к функциям pyplot можно обращаться через алиас plt. Отрисовка графиков показана в листинге 4.

```
rho = np.arange(0, R, 1)
fig, axs = plt.subplots()
plt.gcf().canvas.set_window_title("Прогиб")
plt.plot(rho1, w)
progibla = [round(progib, 8) for progib in w]
axs.yaxis.set_ticklabels(progibla)
plt.xlabel('rho, см')
plt.ylabel('w, см')
plt.show()
```

Листинг 4

В листинге 4 первая строчка отвечает за создание макета для размещения графика со вспомогательными элементами. Если функцию subplots вызывать без параметров, то по умолчанию она вернет окно с одним графиком. Функция возвращает массив значений из двух элементов, первый из которых — это объект фигуры, а второй — это объекты осей графика. Во второй строке указывается заголовок вызываемого окна, в котором будет отрисован график. Третья строка рисует линии осей и саму фигуру, координаты которой указаны в массивах точек. В четвертой и пятой строках инициализируется массив с точками, округленными до определенного значения, далее эти точки отмечаются на оси Y. Функция label в шестой и седьмой строках отмечает подписи

под осями X и Y. Последняя строка обеспечивает отображение подготовленной ранее фигуры на экране со всеми указанными свойствами.

На рис. 1 представлен пример визуализации задачи по расчету прогиба пластины со следующими параметрами:

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2, R = 100 \text{ см}, h = 1 \text{ см}, q_n = \sin x \text{ кГ/см}^2.$$

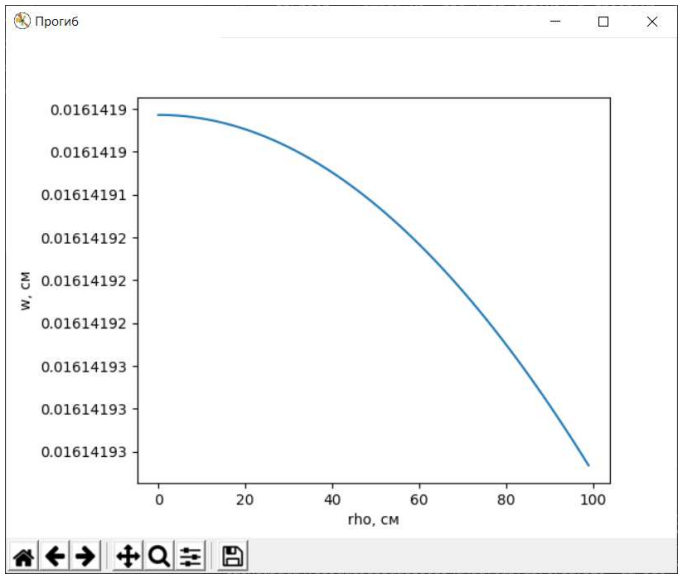


Рис. 1. Визуализация расчета прогиба пластины

Подводя итог, отметим, что Python с математическими пакетами представляет собой мощный инструмент для решения задач механики пластин и оболочек. Решение задачи вычисления прогиба пластины достаточно легко решается средствами пакетов NumPy и SciPy, а пакет matplotlib позволяет визуализировать полученный результат, при этом, чтобы отрисовать двумерный график, достаточно лишь определить numpy массив с точками x и y, инициализировать графическое окно для отрисовки графика, передать массивы с точками и задать

дополнительные параметры. Таким образом, решение задач с помощью языка Python также просто, как и в математических пакетах Maple или MATLAB, но при этом разработчик получает более мощный и более производительный инструмент в виде математических пакетов Python.

Список литературы

1. **Вандер Плас Дж.** Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. СПб.: Питер, 2018. 576 с.

2. **Ермоленко А. В.** Расчет круглых пластин по уточненным теориям // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2006. Вып. 6. С. 78–86.*

3. **Михайловский Е. И., Бадокин К. В., Ермоленко А. В.** Теория изгиба пластин типа Кармана без гипотез Кирхгофа // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 1999. Вып. 3. С. 181–202.*

Summary

Yermolenko A. V., Osipov K. S. On using Python libraries to calculate plates

This article provides an example of calculating the elastic mechanics problem of calculating plate deflection under load using NumPy, SciPy packages and visualizing the result using the MatPlotLib package.

Keywords: Python, numerical methods, elastic body mechanics.

References

1. **Vander Plas Dzh.** *Python dlya slozhnykh zadach. Nauka o dannykh i mashinnoye obucheniye* (Python for complex tasks. Data Science and Machine Learning), St. Petersburg: Peter, 2018, 576 p.

2. **Yermolenko A. V.** Raschet kruglykh plastin po utochnennym teoriyam (Calculation of round plates according to revised theories), *Bulletin of Syktyvkar University*, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics, 2006, № 6, pp. 78–86.

3. **Mihajlovskii E. I., Badokin K. V., Yermolenko A. V.** Teorija izgiba plastin tipa Karmana bez gipotez Kirhgofa (The theory of bending of Karman-type plates without the Kirchhoff's hypotheses), *Bulletin of Syktyvkar University*, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics, 1999, № 3, pp. 181–202.

Для цитирования: Ермоленко А. В., Осипов К. С. О применении библиотек Python для расчета пластин // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 86–95.*

For citation: Yermolenko A. V., Osipov K. S. On using Python libraries to calculate plates, *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 86–95.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 11.11.2019*

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика.
Выпуск 4 (33). 2019

УДК 614.8

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТОВ ВЗРЫВОВ ГАЗА В EXCEL ПРИ ОБУЧЕНИИ БАКАЛАВРОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

С. В. Шилов

В работе предложен метод использования программы Excel в целях обучения бакалавров направления «Техносферная безопасность». Используя данный метод, студенты более глубоко освоят методики расчетов, научатся вводить формулы и грамотно оформлять разделы электронной таблицы, а также отображать опасные зоны на карте местности.

Ключевые слова: техносферная безопасность, Excel, расчет взрывов.

Современная техносфера насыщена используемыми в разных технологиях горючими веществами. Широкое применение получили горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости [1–3]. Для превентивного нахождения опасных параметров взрыва воздушных смесей существуют специализированные программы [4–6]. Преимущества их очевидны —

© Шилов С. В., 2019.

наглядность, удобство работы, быстрота вычислений, нанесение результата на карту местности, соответствие требованиям нормативных документов. Вместе с тем они достаточно дорогостоящие. К тому же пользователь отстранен от исходного формульного аппарата и от алгоритма вычислений. Студенты даже не представляют, по какой методике идет расчет, каково влияние температуры, скорости испарения, загроможденности окружающего пространства и других параметров на результат расчета. Поэтому обучаемые должны обладать способностью самим создавать электронные таблицы, куда вносятся необходимые формулы, уметь отображать результаты на графиках и наносить зоны поражения на карту местности. Полезен также навык перевода графиков, полученных из литературных источников в цифровой вид. Это дает возможности аппроксимации и получения формулы зависимости, которую уже можно ввести в электронную таблицу для автоматизации расчета. Последнее поясним на примере ниже.

Расчеты взрывов — это часто встречающаяся задача в области техносферы, поскольку при этом возникают особенно большие разрушения объектов инфраструктуры и поражения людей. Бакалавры, обучающиеся в данной области, должны иметь об этом хорошее понятие. Более глубокому пониманию теоретических знаний, полученных в дисциплинах «Пожаровзрывозащита», «Теория горения и взрыва» и др., в значительной мере будет способствовать самостоятельное моделирование последствий таких аварий. В области взрывных процессов существует целый ряд утвержденных методик. Их можно использовать как целиком, так и отдельные фрагменты. Ввиду необходимости большого количества времени на освоение методик целиком полное их применение це-

лесообразно в рамках выпускных квалификационных работ магистров и бакалавров. Практика последних лет на кафедре инженерной физики и техносферной безопасности СГУ им. Питирима Сорокина показала, что студенты не испытывают существенных трудностей с освоением формульного аппарата и внесением его в электронные таблицы, построением графиков и отображением зон поражения.

Одна из лучших, на наш взгляд, методик расчета взрывов топливно-воздушных смесей — это методика [7]. С помощью нее можно моделировать последствия взрывов как газов, так и паровоздушных смесей. Она не только учитывает класс опасности вещества и вид окружающего пространства, но и использует наиболее прогрессивный подход — вероятностный в оценке повреждения зданий и поражения людей.

Для расчета интенсивности испарения топлива при проливах можно рекомендовать пособие [2], также построенное в основном на утвержденных методиках и раскрывающее их более подробно. При этом в пособии имеется необходимая справочная информация.

Остановимся на моделировании аварии со взрывом газовоздушной смеси на основании [7]. Она детально рассмотрена в публикации [8], поэтому опишем ее кратко.

Расчеты взрыва начинаются с определения эффективного энергозапаса $E = M_g \cdot q_g$, где M_g — масса горючего вещества в облаке, участвующая в создании поражающих факторов взрыва, кг, q_g — удельная теплота сгорания газа, Дж/кг. Теплоту сгорания студенты могут найти по формуле в методике [7] или в сети «Интернет». За массу газа может быть принят весь объем газа в емкости (это самый простой вариант). Но он справедлив для сжатых газов, не содержащих жидкую фазу. Если

быть более точным, то надо принять, что во взрыве сжиженных под давлением газов участвует лишь 1/2 всего объема, а для сжиженных охлаждением (метан, например) — всего 1/10 всего газа [3]. Большинство газов, хранящихся и перевозимых в емкостях, — это пропан-бутановые смеси. И они относятся к сжиженным под давлением. Поэтому целесообразно ставить студентам задачу с такими веществами.

Будет логичным оформить расчет эффективного энергозапаса в виде отдельного блока на странице электронной таблицы Excel (см. рис. 1).

	A	B	C
1			
2	Расчет эффективного энергозапаса, Дж		
3	Mг, кг	163,0	
4	qг, Дж/кг	43000000	
5	E, Дж	7,01E+09	

Рис. 1. Блок расчета эффективного энергозапаса

Далее, согласно [7], находятся безразмерные расстояние, давление и импульс, а затем уже реальное давление во фронте волны ΔP и ее ударный импульс I. Данный блок целесообразно сделать ниже на том же листе (см. рис. 2). Следует обращать внимание студентов на то, что горючие газы имеют определенный *класс чувствительности*, и это заложено в [7]. Вещества 1-го класса могут взорваться в минимальном объеме в детонационном режиме. Сюда относят, в частности, водород. Для 4-го класса характерна относительно слабая чувствительность к внешним, провоцирующим взрыв факторам и самый большой размер ячейки детонации.

Необходимо обратить внимание студентов на влияние окружающей

	A	B
7		
8	**Нахождение параметров взрыва**	
9	R, м	100
10	Po, Па	101325
11	Rx	2,435933834
12	Rx^2	5,933773641
13	Rx^3	14,45427997
14	σ	7
15	классификация окружающей территории	вид 4
16	класс вещества	3
17	режим взрыва	дефлаграция
18	Co, м/с	349
19	Px1	0,025896798
20	Ix1	0,005892923
21	Ln(Rx)	0,890330188
22	Ln(Rx)^2	0,792687843
23	Px2	0,091095281
24	Ix2	0,014569481
25	Px	0,025896798
26	Ix	0,005892923
27	ΔP, Па	2624,0
28	I, Па*с	70,2
29		

Рис. 2. Блок параметров взрыва

территории на избыточное давление ударной волны и ее импульс. Любое препятствие на пути волны вызывает турбулентные потоки во фронте. При этом за препятствием резко возрастает скорость и избыточное давление (давление может вырасти в 15 раз) по сравнению с открытой

местностью. В науке даже введено такое понятие — «турбулизация потока». Поэтому при открытом пространстве последствия взрыва будут существенно меньше.

Полученные значения ΔP иI используются для нахождения вероятностей поражения через пробит-функции Pr. Таким образом, необходим еще один блок. Назовем его блоком оценки поражений. Для перевода пробит-функции в вероятность поражения удобно рядом с данным блоком расположить соответствующую таблицу из методики [7].

Далее стоит задача нахождения опасных зон вокруг центра взрыва. Поскольку все расчеты уже автоматизированы, то это не составляет большого труда. Удобно решать задачу с «конца» и для этого воспользоваться функцией «Анализ что, если», расположенной во вкладке «Данные» программы Excel. Так, если нам надо найти радиус с вероятностью поражения человека ударной волной 90 %, то мы встаем на ячейку с соответствующей пробит-функцией и выбираем в разделе «Анализ что, если» пункт «Подбор параметра». Задаем, что должно подбираться расстояние от центра взрыва, расположенное в соответствующей ячейке (см. рис. 4).

После нахождения опасных расстояний (зон) для людей (также их можно найти для зданий) для наглядности представления используем нанесение кругов на карту. Обычно используют два сервиса — карты Google и Yandex. Для того чтобы отмерить нужные расстояния на карте, необходимо выбрать соответствующие инструменты. На картах Google используется инструмент «Измерить расстояние», на Yandex — «Линейка». Оба инструмента можно вызвать через щелчок правой кнопки мыши в окне сервиса. Добавим еще, что большую реальность

	A	B	C	D	E
31	**Блок оценки поражения**				
32					
33	***Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва ТВС***				
34	Vi	фактор			
35	Pri	пробит функция			
36					
37	V1	15013,18613			
38	Pr1	7,500337884	можно восстановить без сноса		
39					
40	V2	2385233,502			
41	Pr2	1,769342332	вероятн что придется сносить		
42					
43	***Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС***				
44	m(чел)	80	средний вес человека		
45	p(с черточкой)	1,055147755			
46	i(с черточкой)	0,110937124	безразмерный импульс		
47	V3	15,69883473			
48	Pr3	-10,80558645	вероятность нокдауна		
49					
50	Pr4	0,549604197	вероятность разрыва барабанных перепонок		
51					
52	V5	1530,29565			
53	Pr5	-12,8930476	вероятность отброса людей волной давления		

Рис. 3. Блок оценки поражения

дает использование карт в режиме «Спутник» или «Гибрид».

Вышеописанная методика для расчета взрывов емкостей с газами может быть применена и для паровоздушных смесей. Для этого необходимо найти массу M (аналогичную массе газа M_g) испарившегося топлива, т. е. паров легковоспламеняющейся жидкости. Для этого студентам можно рекомендовать пособие [2]. Масса испарившейся жидко-

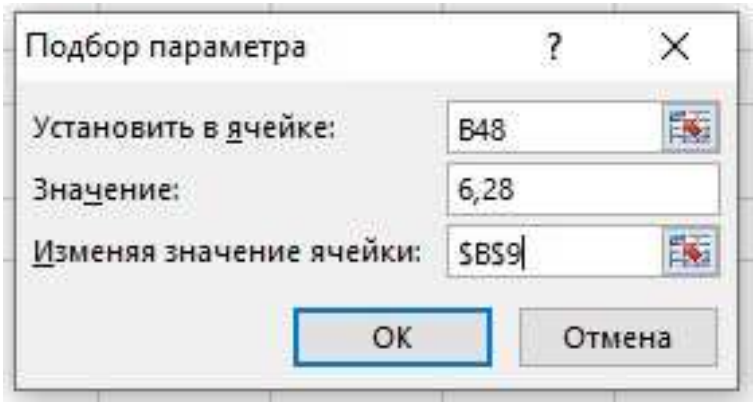


Рис. 4. Использование пункта подбора параметра

сти определяется по формуле

$$M_p = I_p \cdot T \cdot S_p, \text{ кг},$$

где I_p — интенсивность испарения, (кг/с $\cdot$ м^2), S_p — площадь разлива, м^2, а T — продолжительность испарения, с. Необходимая интенсивность испарения определяется из выражения

$$I_p = 10^6 \cdot \eta \cdot \mathrm{M}_m \cdot 0,5 \cdot P_H,$$

где η — коэффициент, зависящий от температуры и скорости ветра, M_m — молекулярная масса, кг/кмоль, P_H — давление насыщенных паров, кПа. Последнюю величину можно найти через константы Антуана по формуле

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{[A-(B/(C_A)+t_p)]},$$

где A, B, C_A — константы Антуана, приведенные для некоторых веществ в [2], t_p — температура воздуха, °C. Для расчета массы испарившегося вещества на практических занятиях можно дать жидкость с известными константами Антуана. Однако при написании выпускных

квалификационных работ можно столкнуться с трудностью их нахождения для конкретного вида разлитой жидкости. Например, для такого широко используемого топлива для реактивных самолетов, как ТС-1, найти константы в литературе весьма проблематично. В данном случае можно использовать опубликованные в источниках экспериментальные зависимости P_H от температуры [1]. Если имеется несколько графиков, то для расчета следует брать наиболее неблагоприятный вариант, где давление паров выше (кривая 1 на рис. 5).

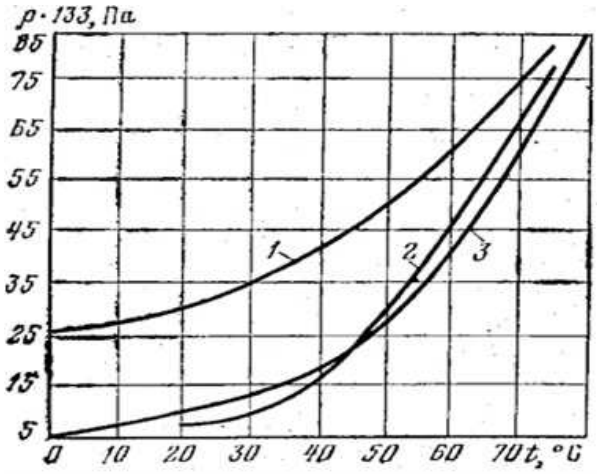


Рис. 5. Зависимость P_H от температуры для топлива ТС-1 по различным источникам

Далее следует этот график оцифровать с помощью онлайн-сервисов или построить его в Excel. В результате мы получаем график с точками. Его можно аппроксимировать (провести линию тренда) и получить аналитическое уравнение кривой (рис. 6). Затем вводим уравнение в нужную ячейку таблицы и получаем возможность автоматического расчета давления насыщенных паров от температуры. В итоге возможен автоматический расчет массы топлива в паровоздушном облаке и

последующие параметры взрыва.

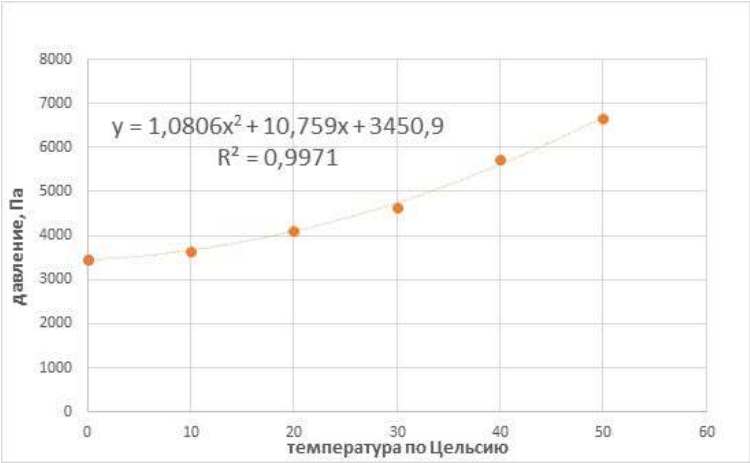


Рис. 6. Аппроксимация данных и получение уравнения зависимости

Следует обратить внимание студентов на метод поиска оптимальной функции, заложенный в программу Excel. Это метод наименьших квадратов, позволяющий найти оптимальную аппроксимационную функцию не только линейного, но и более сложного вида. Главным условием поиска является минимизация суммы квадратов отклонения (невязки Q) между экспериментальными значениями y_i и искомой функции f по всем точкам:

$$Q = Q(a_0, a_1, a_2, \ldots, a_m) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - f(x_i, a_0, a_1, \ldots, a_m)^2 \to min.$$

Во многих случаях для нелинейной аппроксимации экспериментальных точек достаточно хорошо подходит квадратичная функция. В этом случае невязка принимает вид:

$$Q = Q(a, b, c) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2 \to min.$$

Так как невязка $Q \geqslant 0$, то она имеет минимум. А для функции, как известно, необходимое условие минимума – равенство нулю производной по всем переменным. Поэтому отыскание наилучшей квадратичной функции для аппроксимации сводится к решению системы уравнений вида

$$\begin{cases} \frac{dQ}{da} & = 0 \\ \frac{dQ}{db} & = 0 \\ \frac{dQ}{dc} & = 0. \end{cases}$$

После подстановки Q получаем:

$$\begin{cases} \frac{dQ}{da} = 2\sum_{i=1}^{n}(y_i - ax_i^2 - bx_i - c)\cdot(-x_i^2) & = 0 \\ \frac{dQ}{db} = 2\sum_{i=1}^{n}(y_i - ax_i^2 - bx_i - c)\cdot(-x_i) & = 0 \\ \frac{dQ}{dc} = 2\sum_{i=1}^{n}(y_i - ax_i^2 - bx_i - c)\cdot(-1) & = 0. \end{cases}$$

Преобразуем и получим обычную систему из трех линейных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2 & = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2 & = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i + cn & = \sum_{i=1}^{n} y_i. \end{cases}$$

Ее можно решить различными методами (например, простейшим методом подстановки) и найти искомые коэффициенты аппроксимирующей функции. Все данные операции в Excel производятся автоматически, но нужно иметь представление об их математической основе. Отметим также, что выведенная рядом с уравнением кривой величина

R^2 (см. рис. 6) носит название величины достоверности аппроксимации. Она рассчитывается по отдельной формуле и является критерием точности подгонки кривой к экспериментальным точкам. Если ее величина составляет более 0.85, то обычно считают, что аппроксимация проведена успешно. На практике ее значение выше и практически приближается к единице (см. рис. 6).

Однако следует обратить внимание студентов на то, что R^2 недостаточна для оценки правильности аппроксимации. Более точными критериями являются величины p-значимости коэффициентов зависимости. Получить их можно через пункт меню «Анализ данных», находящийся во вкладке «Данные». Для нахождения коэффициентов квадратичной функции и их p-значимостей необходимо создать три колонки (x_i, x_i^2, y_i). Соответственно это будут колонки температуры, температуры в квадрате и давление в паскалях (см. экспериментальные точки на рис. 6). После этого нажимаем кнопку «Анализ данных» и выбираем в раскрывшемся меню пункт «Регрессия». Указываем входной интервал Y (колонка давлений), входной интервал X (колонки с температурой и температурой в квадрате). Уровень надежности оставляем 95 %. Для отображения результатов в выходном интервале отмечаем его круглую кнопку, щелкаем на свободное место в таблице или выбираем кнопку «Новый рабочий лист». В результате получаем полный набор значений, сведенных в таблицу (см. рис. 8).

Среди них можно видеть полученный нами ранее коэффициент R^2. Под Y-пересечением понимается свободный коэффициент уравнения. Переменная X1 — это коэффициент перед первой степенью x, а X2 — перед второй (ср. с рис. 6). Рядом с ними можно видеть стандартные

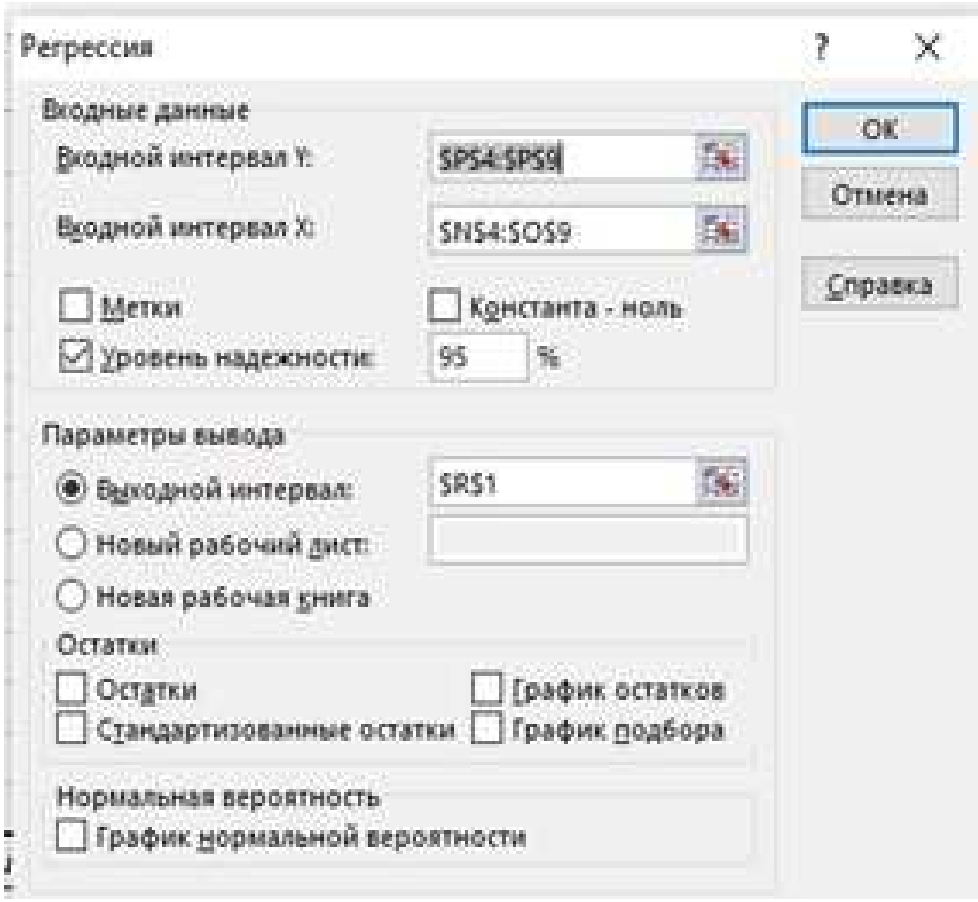


Рис. 7. Окно регрессионного анализа в Excel

ошибки. Значения t-статистики — это отношение коэффициент / стандартная ошибка. За ним следует колонка с нужными нам p-значениями. При величине $p < 0{,}05$ можно доверять полученным значениям коэффициентов и модели аппроксимации в целом [9]. Как можно видеть на рис. 8, два полученных коэффициента удовлетворяют данному условию. Третий из них, равный 0,241, существенно больше 0,05. Таким образом, проведенный регрессионный анализ показывает в целом сомнительность сделанной аппроксимации. Для повышения p-значимости

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
ВЫВОД ИТОГОВ								
Регрессионная статистика								
Множественный	0,998556086							
R-квадрат	0,997114256							
Нормированный	0,995190427							
Стандартная ош	86,64465265							
Наблюдения	6							
Дисперсионный анализ								
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*			
Регрессия	2	7782012,321	3891006,16	518,2966339	0,00015502			
Остаток	3	22521,8875	7507,295833					
Итого	5	7804534,208						
	Коэффициент	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*рхние 95%*	*жние 95,0*	*рхние 95,0%*
Y-пересечение	3450,875	78,52838526	43,94430101	2,5939E-05	3200,96263	3700,787	3200,963	3700,787
Переменная X 1	10,75875	7,386606369	1,456521366	0,241283478	-12,74872815	34,26623	-12,7487	34,26623
Переменная X 2	1,080625	0,1418056	7,620467752	0,004690697	0,629336293	1,531914	0,629336	1,531914

Рис. 8. Окно с результатами анализа

можно рекомендовать увеличить количество точек для построения (в нашем примере их бралось шесть). При этом следует ожидать уменьшения и стандартной ошибки [9]. Если данная мера не помогает, то целесообразно использовать другую модель аппроксимации.

Таким образом, регрессионный анализ позволяет студентам оценить достоверность подобранной для экспериментальных точек функции.

В целом таблица расчета взрыва паровоздушной смеси может содержать три раздела, расположенных для удобства на отдельных листах:

– «Расчет массы испарившегося топлива»;

– «Расчет взрыва паров»;

– «Зависимость давления ударной волны от расстояния до центра взрыва и зоны поражения, нанесенные на карту».

Можно сказать, что создание таких электронных таблиц углубит понимание бакалаврами методик проведения аппроксимации, расчета, того, как влияет класс опасности вещества, окружающее пространство,

температура на параметры взрывов. Также это даст возможность быстро смоделировать и отобразить последствия аварий на карте окружающей территории.

Список литературы

1. **Волков О. М., Проскуряков Г. А.** Пожарная безопасность на предприятиях транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. М.: Недра, 1981. 256 с.

2. Пожаровзрывозащита : учебное пособие / сост. А. И. Сечин, О. С. Кырмакова; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 248 с.

3. **Храмов Г. Н.** Горение и взрыв. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2007. 278 с.

4. Комплекс прогнозирования чрезвычайных ситуаций. URL: https://gisinfo.ru/products/emergency.htm (дата обращения: 25.09.2019).

5. Программа «Дефлаграция». URL: http://www.titan-optima.ru/programm/deflagrodisgroup.ru (дата обращения: 25.09.2019).

6. Программа «Токси+». URL: https://www.softsalad.ru/software (дата обращения: 25.09.2019).

7. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : руководство по безопасности (утв. Приказом Ростехнадзора от 31.03.2016 N 137).

8. **Шилов С. В.** Моделирование опасных факторов взрыва автоцистерн с сжиженным газом // *Математическое моделирование и информационные технологии: Национальная (Всероссийская) научная конференция (6-8 декабря 2018 г., г. Сыктывкар) : сборник материалов / отв. ред. А. В. Ермоленко. Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2018. 161 с. С. 49–51.*

9. **Карлберг К.** Регрессионный анализ в Microsoft Excel. М.: Диалектика, 2017. 400 с.

Summary

Shilov S. V. The use of explosion calculations in Excel when teaching bachelors in the direction of «technosphere safety»

The paper proposes a method of using the Excel program in order to train bachelors in the direction of «technosphere security». Using this method, students will more deeply master the methods of calculations, learn how to enter formulas and competently design sections of the spreadsheet, as well as display hazardous areas on the map.

Keywords: technosphere safety, Excel, explosion calculation.

References

1. **Volkov O. M., Proskuryakov G. A.** *Pozharnaya bezopasnost' na predpriyatiyakh transporta i khraneniya nefti i nefteproduktov* (Fire safety at the enterprises of transport and storage of oil and oil products), M.: Nedra, 1981, 256 p.

2. *Pozharovzryvozashchita: uchebnoye posobiye* (Fire and explosion protection: study guide), compilers.: A. I. Sechin, O. S. Kirmakova, Tomsk Polytechnic University, Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2015, 248 p.

3. **Hramov G. N.** *Goreniye i vzryv* (Burning and explosion), Saint-Petersburg, St. Petersburg State Technical University Publ, 2007, 278 p.

4. Kompleks prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy (Complex of forecasting of emergency situations), URL: https://gisinfo.ru/products/emergency.htm (date of the application: 25.09.2019).

5. Programma «Deflagratsiya» (The Program «Deflagration»), URL: http://www.titan-optima.ru/programm/deflagrodisgroup.ru (date of the application: 25.09.2019).

6. Programma «Toksi+» (The Program «Toxi+»), URL: https://www.softsalad.ru/software (date of the application: 25.09.2019).

7. Rukovodstvo po bezopasnosti «Metodika otsenki posledstviy avariynykh vzryvov toplivno-vozdushnykh smesey» (Safety Guide «Methods for assessing the effects of emergency explosions of fuel-air mixtures») Series 27. Issue 15. Moscow, Closed Joint Stock Company «Scientific and Technical Center for the Study of Industrial Safety Problems», 2015, 44 p.

8. **Shilov S. V.** Modelirovaniye opasnykh faktorov vzryva avtotsistern s szhizhennym gazom (The calculation of hazardous areas explosion

of tanks with liquefied gas), *Mathematical modeling and information technologies: national (all-Russian) scientific conference* (6-8 December 2018, Syktyvkar): collection of materials, Executive editor. A. V. Ermolenko, Syktyvkar: Publishing house of SSU Pitirima Sorokina, 2018, pp. 49–51.

9. **Carlsberg K.** Regressionnyy analiz v Microsoft Excel (Regression analysis in Microsoft Excel), Moscow: Dialectics, 2017, 400 p.

Для цитирования: Шилов С. В. Применение расчетов взрывов в Excel при обучении бакалавров направления «Техносферная безопасность» // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 96–113.*

For citation: Shilov S. V. The use of explosion calculations in Excel when teaching bachelors in the direction of «technosphere safety», *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 96–113.

СГУ им. Питирима Сорокина *Поступила 03.12.2019*

ПЕРСОНАЛИИ

Арзуманян Эрик Араикович – студент, Московский институт электронной техники, Москва, e-mail: vva541@mail.ru

Воеводин Владислав Александрович – к.т.н., доцент, Московский институт электронной техники, e-mail: vva541@mail.ru

Ганенков Дмитрий Сергеевич – студент, Московский институт электронной техники, e-mail: vva541@mail.ru

Гольчевский Юрий Валентинович – к.ф.-м.н, доцент, заведующий кафедрой информационных систем, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: yurygol@mail.ru

Ермоленко Андрей Васильевич – к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий в образовании, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: ea74@list.ru

Макаров Павел Андреевич – к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики и электроники, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: mkrvpa@gmail.com

Мельников Вадим Андреевич – аспирант, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: ea74@list.ru

Оленева Наталья Рудольфовна – старший преподаватель кафедры информационной безопасности, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: kib@syktsu.ru

Осипов Константин Сергеевич – аспирант, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: ea74@list.ru

Семяшкина Диана Сергеевна – студент, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: kib@syktsu.ru

Уляшева Мария Алексеевна – студент, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: mkrvpa@gmail.com

Чумаков Андрей Александрович – студент, Московский институт электронной техники, e-mail: vva541@mail.ru

Шилов Сергей Владимирович – к.ф-м.н., доцент кафедры ИФиТБ, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: shilovsykt@rambler.ru

Щукин Вячеслав Константинович – магистрант, Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, e-mail: yurygol@mail.ru

AUTHORS

Arzumanyan Erich – student, Moscow Institute of electronic technology, e-mail: vva541@mail.ru

Voevodin Vladislav – Ph. D., associate Professor, Moscow Institute of electronic technology, e-mail: vva541@mail.ru

Ganenkov Dmitry – student, Moscow Institute of electronic technology, e-mail: vva541@mail.ru

Golchevsky Yuri – Ph. D., associate Professor, head of the Department of information systems, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: yurygol@mail.ru

Yermolenko Andrey – Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies in Education, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: ea74@list.ru

Makarov Pavel – Ph.D., Assistant Professor of Radio Physics and Electronics, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: mkrvpa@gmail.com

Melnikov Vadim – graduate student, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: ea74@list.ru

Oleneva Natalia – senior lecturer, Department of information security, Syktyvkar state University named after Pitirim Sorokin, e-mail: kib@syktsu.ru

Osipov Konstantin – graduate student, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: ea74@list.ru

Semyashkina Diana – student, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: kib@syktsu.ru

Ulyasheva Maria – student, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: e-mail: mkrvpa@gmail.com

Chumakov Andrey – student, Moscow Institute of electronic technology, e-mail: vva541@mail.ru

Shilov Sergey – candidate of physico-mathematical Sciences, associate Professor of the Department of Engineering Physics and Technosphere Safety, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: shilovsykt@rambler.ru

Schukin Vyacheslav – student, Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, e-mail: yurygol@mail.ru

Для заметок

Для заметок

Contents

Applied mathematics and mechanics

Makarov P. A., Ulyasheva M. A. *On the theory of dispersion of gyromagnetic waves in a medium with dissipation* 3

Computer sciences

Melnikov V. A. *Development Process of game engine core for 2D games and interfaces Sad Lion Engine* 21

Tutor-follower

Voevodin V. A., Arzumanyan E. A., Ganenkov D. S., Chumakov A. A. *About the mathematical model of assessing the availability of information in the automated process control system. Statement of the problem-solving methods* 38

Golchevskiy Yu. V., Schukin V. K. *The enterprise transition method to new software operation* 55

Oleneva N. R., Semyashkina D. S. *Possibilities of solving by information systems problems of information security events management in organizations* 68

Methodical materials

Yermolenko A. V., Osipov K. S. *On using Python libraries to calculate plates* 86

Shilov S. V. *The use of explosion calculations in Excel when teaching bachelors in the direction of «technosphere safety»* 96

Authors **114**

Научное периодическое издание

Вестник Сыктывкарского университета
Серия 1: Математика. Механика. Информатика
Выпуск 4 (33) 2019

Гл. редактор О.А. Сотникова
Отв. редактор А.В. Ермоленко

Редактор Е.М. Насирова
Компьютерный макет М.Н. Юркина
Корректор Л.Н. Руденко

Подписано в печать 12.12.2019. Дата выхода в свет 31.12.2019.
Формат $70 \times 108\frac{1}{8}$. Бумага офсетная.
Гарнитура Computer Modern. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 13,9.
Тираж 500 экз. Заказ № 175.

Отпечатано в соответствии с предоставленными
материалами в ООО «Амирит»
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88
Тел. 8-800-700-86-33 | (845-2)24-86-33
E-mail: zakaz@amirit.ru
Сайт: amirit.ru