

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-64098
от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет» (141070, Московская область, г. Королёв, ул. Гагарина, д. 42)

Издается с сентября 2014 г.
Выходит 4 раза в год
ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:
05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника [05.07.02 Проектирование конструкций и производство летательных аппаратов, 05.07.03 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, 05.07.10 Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности], (входит в Перечень ВАК)
05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление [05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям), 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, 05.13.18 Математическое моделирование численные методы и комплексы программ, 05.13.19 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность], (не входит в Перечень ВАК)
05.16.00 Металлургия и материаловедение [05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы, 05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям), 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)] (входит в Перечень ВАК)

Подписной индекс в каталоге
НТИ-Роспечать 62191

Главный редактор
Артюшенко Владимир Михайлович,
д.т.н., профессор

Над выпуском работали
Паршина Ю.С.
Пирогова Е.В.
Багдасарян А.А.
Харитонов А.А.

Адрес редакции:
141070, Королёв,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www.unitech-mo.ru

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, представленных авторами для публикации
Материалы приводятся в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Артюшенко В.М., Воловач В.И.
ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА СИГНАЛА В АВИАЦИОННЫХ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ РАДИОСИСТЕМАХ ПРИ НАЛИЧИИ АДДИТИВНЫХ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ С НИЗКИМ УРОВНЕМ.....3

Огурцова Т.С., Асташева Н.П.
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ПРИ СОЗДАНИИ ОБРАЗЦОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....13

Самаров Е.К.
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА В ВИДЕОИНФОРМАЦИИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ ОТ БОРТОВЫХ СЪЁМОЧНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....22

Усачев Д.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....33

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Аббасов Э.М., Польшин С.Н.
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БОЛЬШИХ БАЗ ДАННЫХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ИХ ОСНОВЕ ПРИКЛАДНЫХ СЕРВИСОВ.....42

Аббасова Т.С.
УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬ ИХ СОСТОЯНИЯ.....55

Акимкина Э.Э.
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ.....63

Белый А.В.
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ АППАРАТА УКЛАДКИ ПРОВОЛОКИ СТАНА ТОНКОГО ВОЛОЧЕНИЯ.....71

Вилисов В.Я., Клепко А.Е.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА.....76

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, Dr.sc.ing.
2. **Васильев Н.А.**, д.т.н., профессор
3. **Леоненко Д.В.**, д.ф.-м.н., профессор
4. **Тимофеев А.Н.**, д.т.н., профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасова Т.С.**, к.т.н., доцент
2. **Бухаров С.В.**, д.т.н., профессор
3. **Воловач В.И.**, д.т.н., профессор
4. **Логачева А.И.**, д.т.н., профессор
5. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
6. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
7. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
8. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
9. **Смердов А.А.**, д.т.н., профессор
10. **Стреналюк Ю.В.**, д.т.н., профессор

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Информационно-технологический вестник», допускается только с письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 11.03.2020

Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,8

Тираж 500 экз.

Заказ №82-10

Отпечатано в типографии

ООО «Научный консультант»

г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп.2

Воловач В.И.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СООТНОШЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АНСАМБЛЯ
СИГНАЛОВ, ИСКАЖЕННЫХ ФЛУКТУАЦИОННЫМИ
МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМИ ПОМЕХАМИ
И ОТДЕЛЬНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ ЭТОГО СИГНАЛА.....86**

Горелик В.Ю., Скоморохов Д.С.

**СЕТЕВЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ
ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ.....104**

Кузнецов А.И.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И БЛОКЧЕЙН.....110**

Максимов П.А., Симаков В.К., Говоров В.Р.

**ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ
КОМБИНАТОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ
НА МНОГОВЕРШИННЫХ ГРАФАХ.....120**

Маслобоев А.В.

**ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....127**

Хорев П.Б., Тихомиров А.М.

**РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДОВЕРИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН.....140**

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Волков В.С., Волкова В.А., Привалов В.И.

**ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА И ВЫБОРА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ
ВОЛОКОН.....149**

Кончус Д.А., Сивенков А.В., Пряхин Е.И.

**ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....157**

Ларионов Н.В.

**УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....165**

Скрябин М.Л.

**ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ
35ХГСЛ НА УСАДКУ, ЛИТЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ
И МИКРОСТРУКТУРУ.....171**

Шаньгин К.В.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СДВИГ
ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....180**

УДК 621.396.96:621.26

**Точность измерения информационного параметра сигнала
в авиационных и ракетно-космических радиосистемах при наличии
аддитивных и мультипликативных помех с низким уровнем**

В.М. Артюшенко, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные
технологии и управляющие системы»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область,

В.И. Воловач, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования,
Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

Рассмотрено и проанализировано влияние флуктуационных стационарных мультипликативных помех, действующих одновременно с аддитивными помехами, на точность измерения неэнергетических параметров информационных сигналов. Показано, что при низком уровне мультипликативных и аддитивных помех оценка одного параметра полезного сигнала оказывается несмещенной, а ее дисперсия представляет сумму двух слагаемых, первое учитывает влияние аддитивных помех, второе – мультипликативных. Наиболее опасными являются медленные мультипликативные помехи.

Радиотехническое приемное устройство, аддитивные и мультипликативные помехи, «низкий» уровень помех, условная вероятность правильного измерения информационного параметра.

**Accuracy of measurement of the signal information parameter in aviation
and space-rocket radio systems in the presence of additive
and multiplicative interference with a low level**

V.M. Artyushenko, doctor of Technical Sciences, Professor,
head of the Department of information technologies and control systems,
State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

V.I. Volovach, doctor of technical Sciences, associate Professor,
head of the Department «Information and electronic service»,

State budgetary educational institution of higher education

Volga region state University of service, Tolyatti

The influence of fluctuating stationary multiplicative interference acting simultaneously with additive interference on the accuracy of measurement of non-energy parameters of information signals is considered and analyzed. It is shown that at a low

level of multiplicative and additive interference, the estimation of one parameter of the useful signal is unbiased, and its dispersion is the sum of two terms, the first takes into account the influence of additive interference, the second – multiplicative. Slow multiplicative interference is the most dangerous.

Radio-technical receiving device, additive and multiplicative interference, «low» level of interference, conditional probability of correct measurement of the information parameter.

Введение. Проведем анализ влияния флуктуационных стационарных мультипликативных (модулирующих) помех (МП), при одновременном воздействии аддитивных помех (АП), на точность измерения неэнергетических параметров сигналов, при их низком уровне, когда оценочное значение параметров с вероятностью, близкой к единице, лежит вблизи его истинного значения.

При анализе предполагаем, что радиотехническое приемное устройство рассчитано на прием неискаженного МП сигнала на фоне АП, а факт наличия сигнала, параметры которого измеряются, достоверно известен.

Как известно, термин «низкий» уровень для АП определяется величиной отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности АП

$$\rho^2 = 2E/N_0,$$

где E – энергия информационного сигнала; N_0 – спектральная плотность мощности аддитивной помехи.

Если величина $\rho^2 \gg 1$, то принято считать, что уровень АП низкий, в противном случае – высокий.

Заметим, что при совместном действии МП и АП указанные термины нуждаются в уточнении.

При низком уровне АП и МП ошибки измерения невелики. В этом случае помехи приводят лишь к искажению формы выходного сигнала приемного устройства, смещая его максимум. При наличии МП малые искажения формы выходного сигнала могут иметь место в двух случаях:

- при медленных МП, когда интервал корреляции функции помеховой модуляции соизмерим с длительностью принимаемого сигнала;

- при произвольном интервале корреляции функции помеховой модуляции, если мощность неискаженной части сигнала много больше мощности флуктуаций, обусловленных МП, мощности помеховой составляющей на выходе линейной части приемного устройства в точке $l = l_0$, где l_0 – истинное значение параметра принимаемого информационного сигнала.

С учетом [4], последнее условие можно записать как:

$$\frac{\alpha_0^2 E^2 C^2}{\sigma_s^2(l_0)} \gg 1,$$

где α_0 – относительный уровень неискаженной части сигнала на выходе фильтра; $\sigma_s^2(l_0)$ – дисперсия помеховой составляющей сигнала на выходе фильтра; C^2 – постоянный коэффициент, пропорциональный коэффициенту усиления приемного устройства.

Заметим, что в дальнейшем для простоты анализа, с соблюдением получаемых результатов, примем $C = 1$.

Сформулированное условие малости МП является достаточно наглядным, близким по смыслу к условию малости АП, и оно будет использоваться в дальнейшем при анализе влияния МП на ошибки единичных измерений информационного параметра (не следящий измеритель).

Условие малости АП в присутствии МП естественно записать в виде $\alpha_0^2 \rho^2 \gg 1$.

Таким образом, здесь учитывается уменьшение уровня неискаженной части сигнала за счет действия МП.

В качестве характеристик точности измерения параметров при низком уровне помех примем математическое ожидание, смещение, ошибки измерения $\bar{\Delta}l$ и дисперсию ошибки σ_l^2 . Влияние МП на точность измерения параметра будем оценивать отношением дисперсии ошибок измерения при наличии МП σ_l^2 к дисперсии ошибок измерения в их отсутствие $\sigma_{l,0}^2$.

При высоком уровне помех существенно изменяется характер возможных ошибок. За счет помеховой составляющей сигнала, искаженного МП, и за счет АП могут появляться большие «выбросы» выходного сигнала приемного устройства при значениях измеряемого параметра l , существенно отличающихся от истинного значения. В этом случае первой и основной задачей измерения является задача различения выброса, соответствующего истинному значению параметра, от ложных выбросов.

Точность измерения информационного параметра при низком уровне аддитивных и мультипликативных помех. Рассмотрим радиотехническое приемное устройство, оптимальное при оценке одного неизвестного неэнергетического информационного параметра l_0 полезного сигнала $s(t, l_0)$ со случайной начальной фазой φ_0 , распределенной равномерно на интервале $(0, 2\pi)$, на фоне нормального белого шума $n(t)$ с комплексной огибающей $\dot{N}(t)$.

Согласно [2, 5], такое приемное устройство по принятой реализации

$$y_{\text{вх}}(t) = s(t, l_0) + n(t)$$

образует функцию $\Lambda(l)$, равную логарифму функции правдоподобия

$$\Lambda(l) = \ln I_0[Z(l)], \quad (1)$$

где $I_0(x)$ – функция Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента; $Z(l)$ – огибающая сигнала на выходе линейной части оптимального измерителя по параметру l , которая записывается в виде:

$$Z(l) = \frac{1}{2} \left| \int_0^{T_n} \dot{N}(t) U_0(t, l) \exp\{-j\Phi(t, l)\} dt + \exp\{j\varphi_0\} \times \int_0^{T_n} U(t, l_0) U_0(t, l) \exp\{j[\Phi(t, l_0) - \Phi(t, l)]\} dt \right|, \quad (2)$$

где T_n – интервал наблюдения; $U(t, l_0)$ – информационный сигнал; $U_0(t, l)$ – опорный сигнал; $\Phi(t, l_0)$ – закон фазовой модуляции информационного сигнала; $\Phi(t, l)$ – закон фазовой модуляции опорного сигнала.

Выражения (1), (2) описывают структуру оптимального приемного устройства для измерения одного информационного параметра сигнала со случайной начальной фазой на фоне АП (рисунок 1).

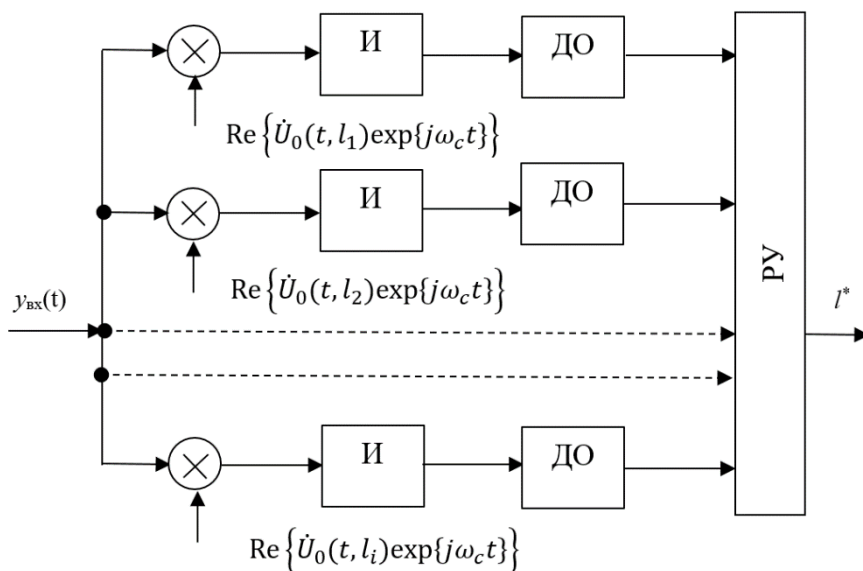


Рисунок 1 – Структурная схема оптимального приемного устройства измеряющего информационный параметр сигнала со случайной начальной фазой на фоне АП, где И – интегратор; ДО – детектор огибающей; РУ – решающее устройство

Поступающая на вход многоканального приемного устройства аддитивная смесь сигнала и помехи умножается на опорный сигнал с комплексной огибающей $\dot{U}_0(t, l)$ со всеми возможными значениями параметра l и интегрируется линейной системой в течении времени наблюдения T_H .

После каждой линейной системы стоит детектор огибающей с характеристикой $\ln I_0(Z)$. Решающее устройство выбирает канал с тем значением параметра l , при котором функция $\Lambda(l)$ достигает максимума.

Поскольку при наличии помех сигнал $\Lambda(l)$ на выходе решающего устройства может иметь несколько пиков, в качестве оценочного значения параметра принимается значение, соответствующее наибольшему из них. При низком уровне помех, надежном измерении параметра, пики, обусловленные наличием помех, с высокой вероятностью будут существенно меньше основного пика функции $\Lambda(l)$, сигнала на входе решающего устройства, и поэтому не могут быть приняты за истинный сигнал. При этом влияние помех сведется лишь к искажению формы основного пика.

В данном случае оценочное значение параметра l^* определяется как решение уравнения правдоподобия относительно параметра l [5]:

$$\frac{d}{dl} \Lambda(l) = \frac{d}{dl} Z(l) = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) при наличии АП и указанные выше статистические характеристики ошибок измерения параметра, среднее значение и дисперсия, полученные, в частности, в работе [5].

В данной статье методика и результаты этой работы обобщаются на случай, когда измерение параметра происходит при одновременном воздействии на

сигнал аддитивных и мультипликативных помех.

Представим сигнал, искаженный МП, в виде двух аддитивных составляющих

$$\begin{aligned} u_m(t) &= \operatorname{Re} \left\{ \dot{M}(t) \dot{U}(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\} = \\ &= \operatorname{Re} \left\{ \alpha_0 \sqrt{E} \dot{U}_0(t) \exp\{j(\beta_0 + \varphi_0 + \omega_c t)\} \right\} + \\ &+ \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t) \sqrt{E} \dot{U}_0(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\}, \end{aligned}$$

где амплитуда принимаемого сигнала относительно опорного в отсутствии МП принята численно равной \sqrt{E} .

Здесь $\dot{M}(t)$ – функция помеховой модуляции (ФПМ); $\alpha_0 = \left| \bar{M}(t) \right|$; $\beta_0 = \arg \bar{M}$; \bar{M} – математическое ожидание ФПМ; $\dot{V}(t)$ – комплексная огибающая помеховой составляющей сигнала, искаженного МП; ω_c – несущая частота сигнала.

С учетом этого представления для огибающей суммы сигнала, искаженного МП, и нормального белого шума на выходе линейной части приемного устройства вместо (2) имеем:

$$\begin{aligned} Z(l) &= \left| \exp\{j(\varphi_0 + \beta_0)\} \dot{W}_1(l - l_0) + \right. \\ &\left. + \exp\{j\varphi_0\} \dot{W}_2(l - l_0) + \dot{n}_1(l) \right|, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\dot{W}_1(l - l_0) = \frac{\alpha_0}{2} \int_0^{T_H} \dot{U}(t, l_0) U_0^*(t, l) dt; \quad (5)$$

$$\dot{W}_2(l - l_0) = \frac{1}{2} \int_0^{T_H} \dot{V}(t) \dot{U}(t, l_0) U_0^*(t, l) dt; \quad (6)$$

$$\dot{n}_1(l) = \frac{1}{2} \int_0^{T_H} \dot{N}(t) U_0^*(t, l) dt. \quad (7)$$

В выражениях (4) – (7) $\dot{W}_1(l - l_0)$ определяет комплексную огибающую преобразованной линейной частью приемника неискаженной части сигнала; $\dot{W}_2(l - l_0)$ – комплексную огибающую помеховой составляющей сигнала на выходе линейной части, появившейся за счет наличия МП; $\dot{n}_1(l)$ – комплексную огибающую преобразованного аддитивного шума; $\dot{V}(t)$ – флуктуации ФПМ.

Функция $\dot{W}_1(l - l_0)$ пропорциональна функции автокорреляции сигнала $\rho(l - l_0)$ по параметру l , и обладает следующими свойствами, которые будут использованы в дальнейшем:

$$\begin{aligned} \dot{W}_1(l - l_0) &= W_1^*(l_0 - l); \\ \dot{W}_1(0) &= \alpha_0 W(0) \geq \left| \dot{W}_1(l - l_0) \right|. \end{aligned}$$

То есть, действительная часть функции $\dot{W}_1(l - l_0)$ обладает четной, а мнимая – нечетной симметрией относительно точки $l = l_0$. В точке $l = l_0$ функция $\dot{W}_1(l - l_0)$ становится действительной, а ее модуль достигает максимума.

Для рассматриваемого в данной статье случая, низкого уровня АП и МП отношение мощности неискаженной части сигнала на выходе линейной части приемника $\dot{W}_1(l - l_0)$ в точке $l = l_0$ к мощности суммы аддитивных флуктуаций $n_1(l)$ и флуктуаций сигнала, возникающих за счет наличия МП $\dot{W}_2(l - l_0)$, в этой же точке много больше единицы. При этом огибающую сигнала (4) можно представить в виде

$$Z(l) \approx \alpha_0 W(l - l_0) \left[1 + 2 \operatorname{Re} \left\{ \frac{\exp \{j \beta_0\} W_2^*(l - l_0) \dot{W}_1(l - l_0)}{\alpha_0^2 W^2(l - l_0)} + \frac{\exp \{j(\varphi_0 + \beta_0)\} n_1^*(l) \dot{W}_1(l - l_0)}{\alpha_0^2 W^2(l - l_0)} \right\} \right]^{1/2}, \quad (8)$$

В последнем выражении отброшен член

$$\frac{|W_2^*(l - l_0) \dot{W}_1(l - l_0) + \exp \{j(\varphi_0 + \beta_0)\} n_1^*(l) \dot{W}_1(l - l_0)|^2}{\alpha_0^2 W^4(l - l_0)}$$

ввиду его малости при низком уровне АП и МП.

Разложим полученное выражение для $Z(l)$ в ряд по степеням функции:

$$[\alpha_0 W(l - l_0)]^{-2} \operatorname{Re} \{ \exp \{j \beta_0\} W_2^*(l - l_0) \dot{W}_1(l - l_0) + \exp \{j(\varphi_0 + \beta_0)\} n_1^*(l) \dot{W}_1(l - l_0) \}, \quad (9)$$

которая при низком уровне помех в среднем квадратическом смысле много меньше единицы.

Ограничиваясь двумя членами указанного степенного ряда, получим

$$Z(l) \approx \alpha_0 W(l - l_0) + \frac{\operatorname{Re} \{ \exp \{j \beta_0\} W_2^*(l - l_0) \dot{W}_1(l - l_0) \}}{\alpha_0 W(l - l_0)} + \frac{\operatorname{Re} \{ \exp \{j(\varphi_0 + \beta_0)\} n_1^*(l) \dot{W}_1(l - l_0) \}}{\alpha_0 W(l - l_0)} = \alpha_0 W(l - l_0) + n_m(l - l_0) + n_a(l). \quad (10)$$

Выражение (10) тем точнее описывает огибающую $Z(l)$, чем меньше функция (9), средний квадрат которой равен отношению суммы мощностей аддитивных помех и флуктуаций, обусловленных МП, помеховой составляющей сигнала, к мощности неискаженной части сигнала на выходе согласованного фильтра.

Первые два слагаемых в (10) определяют искаженную МП огибающую выходного сигнала, третье – флуктуации огибающей, обусловленные АП.

Как видно из выражения (10), использование представления сигнала, искаженного МП, в виде двух аддитивных составляющих позволяет в первом приближении свести эффект действия МП на процесс измерения параметров к появлению дополнительных аддитивных флуктуаций.

При низком уровне помех для решения уравнения правдоподобия (5) можно воспользоваться широко известным методом, основанным на разложении сигнальных членов в выражении для огибающей (10) в ряд Тейлора по степеням разности $l - l_0$. В силу малости ошибок измерения в разложениях функции $W(l - l_0)$, $n_m(l - l_0)$ можно ограничиться тремя первыми членами.

Подставляя разложения функций $W(l - l_0)$, $n_m(l - l_0)$ в ряд Тейлора в выражение (3) и учитывая, что

$$\frac{d}{dl} W(l - l_0)|_{l=l_0} = 0,$$

получим следующее выражение для ошибки измерения параметра при наличии АП и МП:

$$\Delta l = l^* - l_0 = - \frac{\frac{d}{dl} [n_m(l - l_0) + n_a(l)]|_{l=l_0}}{\frac{d^2}{dl^2} [\alpha_0 W(l - l_0) + n_m(l - l_0)]|_{l=l_0}}. \quad (11)$$

Как следовало ожидать, в отсутствие МП полученное выражение совпадает с первым приближением для ошибки измерения, найденном в [5] с использова-

нием так называемого метода малого параметра.

При низком уровне МП второе слагаемое в знаменателе (11) в среднеквадратическом смысле много меньше первого, поэтому в дальнейшем мы им пренебрегаем по сравнению с $\alpha_0 W(l - l_0)$.

Учитывая, что функции $n_m(l - l_0), n_a(l)$ (10) не коррелированы и имеют нулевые средние имеют нулевые средние, и пренебрегая в знаменателе (11) вторым слагаемым по сравнению с первым, видим, что среднее значение ошибок измерения определяется выражением

$$\begin{aligned} \sigma_l^2 = \overline{\Delta l^2} = \sigma_{l.a}^2 + \sigma_{l.m}^2 = & \left[\alpha_0 \frac{d^2}{dl^2} W(l - l_0) \right]_{l=l_0}^{-2} \times \\ & \times \left[\frac{d^2}{dl_1 dl_2} \overline{n_a(l_1) n_a(l_2)} + \right. \\ & \left. \times + \frac{d^2}{dl_1 dl_2} n_m(l_1 - l_0) n_m(l_2 - l_0) \right]_{l_1=l_2=l=l_0}. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, при низком уровне МП и АП оценка одного параметра полезного сигнала оказывается несмещенной, а ее дисперсия представляет сумму двух слагаемых, первое из которых $\sigma_{l.a}^2$ с точностью до постоянного множителя α_0^2 повторяет выражение для дисперсии оценки параметра на фоне АП, а второе, $\sigma_{l.m}^2$, учитывает влияние МП.

С учетом результатов работы [5] выражение для $\sigma_{l.a}^2$ может быть записано в виде

$$\sigma_{l.a}^2 = \frac{\sigma_{l_0}^2}{\alpha_0^2} = - \left[q^2 \alpha_0^2 \frac{d^2}{dl^2} |\dot{\rho}(l - l_0)|_{l=l_0} \right]^{-1}, \quad (13)$$

где $q^2 = 2E/N_0$; $\sigma_{l_0}^2$ – дисперсия ошибки измерения параметра в отсутствие МП.

Для вычисления величины $\sigma_{l.m}^2$ необходимо определить корреляционную функцию флуктуационной составляющей $n_m(l_2 - l_0)$ по параметру l :

$$\begin{aligned} \overline{n_m(l_1 - l_0) n_m(l_2 - l_0)} = & \\ = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \exp\{j2\beta_0\} \overline{W_2^*(l_1 - l_0) \dot{W}_1(l_2 - l_0)} \times & \\ \times \exp\{j[\beta(l_1 - l_0) + \beta(l_2 - l_0)]\} + & \\ + \overline{W_2^*(l_1 - l_0) \dot{W}_1(l_2 - l_0)} \times & \\ \times \exp\{j[\beta(l_1 - l_0) - \beta(l_2 - l_0)]\} \}. & \end{aligned} \quad (14)$$

Как видно из выражения (14), корреляционная функция $\overline{n_m(l_1 - l_0) n_m(l_2 - l_0)}$ зависит не только от l_1 и l_2 , но и от β_0 – аргумента среднего значения комплексной ФПМ $\dot{M}(t)$.

В тех случаях, когда плотность вероятностей фазовых искажений сигнала – симметричная функция, а амплитудные искажения либо функционально связаны с фазовыми, и также имеют симметричную плотность вероятностей, либо независимы от фазовых искажений, аргумент постоянной составляющей ФПМ β_0 равен нулю. При этом в (14) зависимость от β_0 отсутствует.

Рассмотрим второе слагаемое в выражении (14), обозначив его $K_{m,1}$:

$$\begin{aligned} K_{m,1}(l_1, l_2) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \overline{W_2^*(l_1 - l_0) \dot{W}_2(l_2 - l_0)} \times & \\ \times \exp\{j[\beta(l_1 - l_0) - \beta(l_2 - l_0)]\} \}. & \end{aligned}$$

Второй смешанный момент функции $\dot{W}_2(l - l_0)$ совпадает с корреляционной функцией сигнала, искаженного МП, на выходе линейного фильтра по параметру l и будет равен

$$\begin{aligned} & \overline{W_2^*(l_1 - l_0)\dot{W}_2(l_2 - l_0)} = \\ & = \frac{E}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) \rho^*(l_1 - l_0, \Omega) \dot{\rho}(l_2 - l_0, \Omega) = \\ & = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) W(l_1 - l_0, \Omega) W(l_2 - l_0, \Omega) \times \\ & \times \exp\{j[\beta(l_2 - l_0, \Omega) - \beta(l_1 - l_0, \Omega)]\} d\Omega, \end{aligned} \quad (15)$$

где $G_V(\Omega)$ – энергетический спектр флуктуаций ФПМ; $\sqrt{E}\dot{\rho}(l - l_0, \Omega)$ – отклик линейной части приемного устройства на неискаженный сигнал, сдвинутый по частоте относительно ожидаемого на Ω .

С учетом (15)

$$\begin{aligned} K_{м.1}(l_1, l_2) &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) W(l_1 - l_0, \Omega) W(l_2 - l_0, \Omega) \times \\ & \times \cos[\beta(l_1 - l_0) - \beta(l_2 - l_0) - \\ & - \beta(l_1 - l_0, \Omega) + \beta(l_2 - l_0, \Omega)] d\Omega. \end{aligned} \quad (16)$$

После аналогичны преобразований для первого сигнала в (14) получим

$$\begin{aligned} K_{м.1}(l_1, l_2) &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_D(\Omega) W(l_1 - l_0, \Omega) W(l_2 - l_0, \Omega) \times \\ & \times \cos[\beta(l_1 - l_0) - \beta(l_2 - l_0) - \\ & - \beta(l_1 - l_0, \Omega) + \beta(l_2 - l_0, \Omega)] d\Omega, \end{aligned} \quad (17)$$

где $G_D(\Omega)$ – преобразование Фурье от

$$G_V(t_1 - t_2) = [\dot{M}(t_1) - \alpha_0 \exp\{j\beta_0\}][\dot{M}(t_2) - \alpha_0 \exp\{j\beta_0\}].$$

Для вычисления $\sigma_{l.м}^2$ в соответствии с (12) необходимо определить вторую смешанную производную от $\overline{n_m(l_1 - l_0)n_m(l_2 - l_0)}$ в точке $l_1 = l_2 = l = l_0$.

После дифференцирования в (16) и (17), производимого независимо от интегрирования, и несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial l_1 \partial l_2} K_{м.1}(l_1, l_2) |_{l_1=l_2=l_0} = K''_{м.1}(0, 0) = \\ & = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) \{ [W'(0, \Omega)]^2 + \\ & + W^2(0, \Omega) [\beta'(0) - \beta'(0, \Omega)]^2 \} d\Omega, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} K''_{м.2}(0, 0) &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) \{ ([W'(0, \Omega)]^2 - W^2(0, \Omega) \times \\ & \times [\beta'(0) - \beta'(0, \Omega)]^2 \} \cos 2[\beta(0) - \beta(0, \Omega)] - \\ & - 2W'(0, \Omega)W(0, \Omega) [\beta'(0) - \beta'(0, \Omega)] \times \\ & \times \sin 2[\beta(0) - \beta(0, \Omega)] \} d\Omega. \end{aligned} \quad (19)$$

Подстановка (18), (19) в (12) дает искомое выражение для дисперсии оценки параметра с учетом действия МП и АП.

Выражения (18), (19) весьма сложны, однако в некоторых случаях они могут быть значительно упрощены.

1. Пусть $\beta(0) = \beta(0, \Omega) = 0$, что имеет место, например, при измерении частоты немодулированного радиоимпульса. С учетом принятого условия

$$\sigma_{l.м}^2 = \frac{1}{4\pi} [\alpha_0 W''(0)]^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} W'(0, \Omega) [G_V(\Omega) + G_D(\Omega)] d\Omega. \quad (20)$$

2. Пусть $W(l, \Omega) = p(l)r(\Omega)$, $\frac{d}{dl} p(l) |_{l=0} = 0$.

Представление $W(l, \Omega)$ в форме $W(l, \Omega) = p(l)r(\Omega)$ имеет место, как будет

видно далее, например, при измерении времени прихода радиоимпульсов с постоянной частотой заполнения, а также фазокодовоманипулированных сигналов и сигналов с шумовой модуляцией на фоне белого шума [1, 3, 6]. Для рассматриваемого случая

$$\begin{aligned} \sigma_{l,m}^2 = & \frac{1}{4\pi} [\alpha_0 W''(0)]^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} \{G_V(\Omega) W^2(0, \Omega) [\beta'(0) - \beta'(0, \Omega)]^2 - \\ & - G_D(\Omega) W^2(0, \Omega) [\beta'(0) - \beta'(0, \Omega)]^2 \times \\ & \times \cos 2[\beta(0) - \beta(0, \Omega)]\} d\Omega. \end{aligned} \quad (21)$$

3. Пусть $\beta(l, \Omega) = \mu l \Omega$, то есть аргумент $\beta(l, \Omega)$ пропорционален (μ – коэффициент пропорциональности) измеряемому параметру l и частоте Ω , тогда $\beta(0) = \beta(0, \Omega) = 0$ и

$$\begin{aligned} \sigma_{l,m}^2 = & \frac{1}{4\pi} [\alpha_0 W''(0)]^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} G_V(\Omega) \{[W'(0, \Omega)]^2 + \\ & + W^2(0, \Omega) [\beta'(0, \Omega)]^2\} d\Omega + \frac{1}{4\pi} [\alpha_0 W''(0)]^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} G_D(\Omega) \times \\ & \times \{[W'(0, \Omega)]^2 - W^2(0, \Omega) [\beta'(0, \Omega)]^2\} d\Omega. \end{aligned} \quad (22)$$

Выражения (20) – (22) показывают, что дисперсия ошибок, обусловленная наличием МП, существенно зависит от спектральных характеристик ФПМ.

Как видно из (20), наибольшие ошибки измерения параметра обусловленные МП низкого уровня, имеют место в случае, когда ширина энергетического спектра флуктуаций ФПМ соизмерима с шириной огибающей выходного сигнала по частотной оси (с шириной функции $|\dot{\rho}(0, \Omega)|$).

Таким образом, наиболее опасными являются сравнительно медленные МП. Аналогичный вывод можно сделать также для примеров 2 и 3 (формулы (21), (22)) при условии, что функции $W^2(0, \Omega)$ и $[W'(0, \Omega)]^2$ убывают с ростом частоты гораздо быстрее, чем $[\beta'(0, \Omega)]^2$.

Общие соотношения для дисперсии ошибок измерения параметра при наличии МП, как уже было указано ранее, справедливы при условии малости функции (9). В среднеквадратическом смысле это условие имеет вид

$$[\alpha_0 W(l - l_0)]^{-2} \{0,5 |\dot{n}_1|^2 + [n_m(l - l_0)]^2\} \ll 1. \quad (23)$$

Учитывая, что

$$|\dot{n}_1(l)|^2 = N_0;$$

$$[n_m(l - l_0)]^2 = K_{m,1}(l_1, l_2) + K_{m,2}(l_1, l_2), \quad l_1 = l_2 = l, \quad (24)$$

вместо (23) имеем

$$[\alpha_0 W(l - l_0)]^{-2} \left[\frac{N_0}{2} + K_{m,1}(l_1, l_2) + K_{m,2}(l_1, l_2) \right]_{l_1=l_2=l} \ll 1. \quad (25)$$

Поскольку решение уравнения правдоподобия (5) при малых ошибках ищется в окрестностях точки $l = l_0$, в выражении (25) для ориентировочных оценок может быть принято $l = l_0$, тогда условие применимости полученных соотношений записывается в виде

$$\begin{aligned} \frac{1}{q^2} + \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{\rho}(0, \Omega)|^2 \{G_V(\Omega) + \\ + G_D(\Omega) \cos 2[\beta(0, \Omega)]\} d\Omega \ll \alpha_0^2, \end{aligned} \quad (26)$$

где учтено, что $\beta(0) = 0$.

Выводы. Таким образом, рассмотрена и проанализирована точность измерения информационного параметра сигнала в авиационных и ракетно-космических радиосистемах при наличии аддитивных и мультипликативных по-

мех с низким уровнем. Получены общие выражения для измерения частоты и времени прихода полезного сигнала.

Показано, что при низком уровне мультипликативных и аддитивных помех оценка одного параметра полезного сигнала оказывается несмещенной, а ее дисперсия представляет сумму двух слагаемых, первое из которых с точностью до постоянного множителя повторяет выражение для дисперсии оценки параметра на фоне аддитивных помех, а второе, учитывает влияние мультипликативных помех.

Показано, что наиболее опасными являются сравнительно медленные мультипликативные помехи.

Литература

1. Бакут П.А., Большаков И.А., Герасимов Б.М и др. Вопросы статистической теории радиолокации. Под ред. Г.П. Тартаковского. Т.1 и 2 // М.: Советское радио. 1963 и 1964. 424 с.
2. Гуткин Л.С. Потенциальная точность измерения в одноканальных и многоканальных измерителях параметров сигналов // Радиотехника. 1964. Т. 19. № 3. 4.
3. Докторов А.Л. Спектры и совместная корреляционная функция модуляции сигналов с фазовой манипуляцией // Электросвязь. 1966. № 7.
4. Кремер И.Я., Владимиров В.И., Карпухин В.И. Модулирующие (мультипликативные) помехи и прием радиосигналов // М.: Советское радио. 1972. 480 с.
5. Куликов Е.И. Вопросы оценок параметров сигналов при наличии помех // М.: Советское радио. 1969. 244 с.
6. Фалькович С.Е. Прием радиолокационных сигналов на фоне флуктуационных помех // М: Советское радио. 1961. 310 с.

УДК 629.78:658.562

Анализ системы управления рисками, применяемый при создании образцов ракетно-космической техники

Т.С. Огурцова, аспирант второго года обучения кафедры управления качеством и стандартизации,

Н.П. Асташева, доктор биологических наук, профессор кафедры управления качеством и стандартизации,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В работе рассмотрены основные принципы использования риск-ориентированных подходов при создании ракетно-космической техники. Показателем результативности внедрения процедуры управления рисками является снижение количества отклонений при производстве ракетно-космической техники от норм, рекомендованных стандартами.

Показано, что внедрение риск-ориентированного подхода должно быть комплексным с учетом совокупности наиболее важных рисков и мероприятий с учетом значимости каждого из них. В статье представлен порядок идентификации, анализа и оценки рисков в подразделениях «КБХиммаш им. А.М. Исаева» при создании образцов ракетно-космической техники. В работе представлена форма карты управления рисками при оценке качества продукции на производстве.

Качество изделий, управление рисками, ракетно-космическая техника.

Analysis of the risk management system when creating samples of rocket and space technology

T.S. Ogurtsova, second-year postgraduate student, Department of Quality Management and Standardization,

N.P. Astasheva, Doctor of Biological Sciences, Professor,
Department of Quality Management and Standardization,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The paper discusses the basic principles of using risk-based approaches when creating space rocket technology. An indicator of the effectiveness of the implementation of the risk management procedure is the reduction in the number of deviations in the production of rocket and space technology from the norms recommended by the standards.

It is shown that the introduction of a risk-based approach should be comprehensive, taking into account the totality of the most important risks and measures, taking into account the significance of each of them. The article presents the

procedure for identifying, analyzing and assessing risks in the units of KBhimmash im. A.M. Isaeva when creating samples of rocket and space technology. The paper presents the form of a risk management card in assessing the quality of products in production.

Product quality, risk management, rocket and space technology.

В связи с наличием различных точек зрения ученых и практиков на осуществление контрольно-надзорной деятельности в организации на основе риск-ориентированного подхода необходимы дополнительные научно-методические разработки [4, С. 6].

Внедрение риск-ориентированного подхода в «КБхиммаш им. А.М. Исаева» актуально и своевременно, так как предприятие разрабатывает и испытывает жидкостные ракетные двигатели, разгонные блоки и двигательные установки для пилотируемых и автоматических космических аппаратов, а также занимается исследованиями важными для развития ракетно-космической техники.

В ходе общей производственной деятельности при планировании работ на предстоящий год руководители процессов при необходимости организуют в подчиненных подразделениях проведение идентификации, анализа и оценки рисков с разработкой мероприятий по их снижению или исключению [3].

По результатам проведенных работ подразделения «КБхиммаш им. А.М. Исаева», где выявлены риски, оформляют карты управления рисками, которые утверждаются руководителем процесса (Риск).

В ходе выполнения работ, по которым возникают риски, карты управления данными рисками согласовываются с руководителями процессов и подразделений, ответственных за выполнение организационно-технических мероприятий, а также с координатором темы (менеджером по рискам).

Определение и анализ рисков является основной целью руководства организации при производстве образцов ракетно-космической техники, для этого проводится:

- выявление и оценка существующих и потенциально возможных рисков при выполнении определенного проекта, в ходе общей производственной деятельности;
- снижение вероятности ухудшения качества выпускаемой продукции;
- ликвидация последствий от возникновения рисков и снижение экономических потерь;
- определение направлений совершенствования политики и системы менеджмента качества, направленных на улучшение деятельности организации.

Оценка рисков является основанием для планирования и реализации мероприятий по снижению и исключению технологических нарушений, а также актуализации политики и целей предприятия в области качества.

Показателем результативности внедрения процедуры управления рисками является снижение количества отклонений при производстве образцов ракетно-космической техники от норм, рекомендованных стандартами.

Цель выявления производственных рисков заключается в поиске и перечислении возможных видов рисков, а также в выявлении причин, которые могут влиять на выполнение процессов в целом.

Основную работу по определению причин рисков проводят руководители подразделений.

Комиссию для выявления рисков в области качества создают руководители подразделений с учетом направления работ. В состав комиссии должны входить:

- руководитель подразделения, начальник цеха/отдела (для производственных и испытательных подразделений);
- начальник технологического бюро (технолог) цеха/отдела (для производственных и испытательных подразделений);
- начальник участка (старший мастер, мастер);
- уполномоченный по качеству.

В случае необходимости в состав комиссии могут привлекаться другие специалисты.

Виды рисков, оказывающие влияние на качество продукции, а также причины их появления определяет и анализирует комиссия с помощью специальных методов.

Схема проведения идентификации, анализа и оценки рисков при производстве образцов ракетно-космической техники представлена на рисунке 1.

Оценка рисков при производстве образцов ракетно-космической техники базируется на исходных данных, к которым относятся результаты:

- внутренних проверок и внешних аудитов;
- исследования удовлетворенности потребителей;
- функционирования системы менеджмента качества;
- действий по улучшению системы менеджмента качества;
- отчетов со стороны руководства о работе системы менеджмента качества;
- применения предупреждающих и корректирующих действий;
- контроля технологической дисциплины;
- оценки несоответствующей продукции;
- потребности в ресурсном обеспечении.



Рисунок 1 – Схема проведения идентификации, анализа и оценки рисков

Руководители подразделений на основании отчетности «КБхиммаш им. А.М. Исаева», а также результатов внутренних проверок проводят сбор и анализ

исходных данных для мониторинга рисков, проявившихся при сборе данных и предыдущем анализе.

Экспертная группа после определения рисков и анализа условий их появления, оценивает по пятибалльной шкале показатели вероятности появления «О» и тяжести последствий «S» риска по каждой из причин.

Оценка значения показателя вероятности появления риска «О», приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Показатель вероятности появления риска «О»

Вероятность появления данного риска	Проявление событий	Балл «О»
Максимальная	высокая возможность наступления события в ближайший период (вероятность 75-100 %), данное событие могло быть недавно	5
Высокая	событие может произойти в большинстве случаев (вероятность 50-75%)	4
Средняя	наступление события возможно (вероятность 25-50%)	3
Низкая	событие может произойти (вероятность менее 25%)	2
Минимальная	минимальная вероятность наступления события, событие в прошлом не происходило	1

Оценка значения показателя тяжести последствий «S», представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Показатель тяжести последствий риска «S»

Значимость последствий данного риска	Показатели	Балл «S»
Очень опасное	Основные характеристики продукции не соответствуют установленным требованиям. Утвержденные сроки сдачи продукции сорваны.	5
Опасное	Некоторые характеристики продукции не соответствуют требованиям, однако: - продукция в целом работоспособна, но ряд ее основных функций выполняется не эффективно, требуется переделка вплоть до 100%; - продукция неработоспособна с потерей одной из основных функций; - утвержденные сроки сдачи продукции не выполняются.	4
Умеренное	Продукция в целом соответствует требованиям, возможно, незначительное нарушение производственного процесса, отдельные вспомогательные функции выполняются не эффективно. Незначительное отклонение от плана по срокам сдачи продукции.	3

Слабое	Продукция работоспособна, но отдельные ее функции выполняются неэффективно. Отклонение от требований вызывает незначительное нарушение производственного процесса. Неосновные функции и характеристики продукции не соответствуют ожиданиям потребителя.	2
Незначительное (или отсутствует)	Рисковое событие не вызывает последствий и не приводит к заметным для потребителя последствиям.	1

Значение критичности риска (R) определяется экспертной группой по следующей формуле [3]:

$$R = O \times S$$

где O – показатель вероятности появления риска,

S – показатель тяжести последствий риска.

Установленные значения показателей O, S, R заносят в карту управления рисками. Экспертная группа, исходя из значений критичности риска R и его категории, принимает необходимые решения по организационным задачам в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 – Значение критичности и категория риска

Значение критичности риска $R = O \times S$	Категория риска	Организационные задачи
Для всех категорий риска рекомендуется: Обратить внимание руководства, ответственного за выполнение работ, на риск		
1-4	низкий уровень риска	Разработать мероприятия по исключению риска.
5-8	средний уровень риска	Разработать конкретные мероприятия по снижению риска.
9-15	высокий уровень риска	Максимально быстро разработать мероприятия и провести оперативные действия по снижению риска.
16-25	очень высокий уровень риска	Принять оперативные меры для снижения (исключения) риска

Исходя из категории риска и его причин, экспертная группа вырабатывает предложения по корректирующим и предупреждающим действиям для снижения (исключения) риска. Предложения и сроки по корректирующим и предупреждающим действиям согласовываются с подразделениями, ответственными за их выполнение. Подразделение, где выявлены риски, оформляют карты управления рисками и утверждают их у руководителя процесса.

Подразделения по производству образцов ракетно-космической техники, ответственные за выполнение мероприятий, обеспечивают проведение корректирующих и предупреждающих действий в установленные сроки. Результативность мероприятий определяется при следующей оценке данного риска, до момента пока уровень риска не станет низким (значение критичности 1 .. .4) и, следовательно

но, корректирующие и предупреждающие действия будут признаны результативными.

Ответственность за оформление карт управления рисками несут руководители процессов, где выявлены отклонения.

Пример карты управления рисками в «КБХиммаш им. А.М. Исаева» для заполнения представлен на рисунках 2 и 3.

СОГЛАСОВАНО
Ведущий темы

СОГЛАСОВАНО*
Руководитель процесса (ОТМ)

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель процесса (Риск)

подпись _____ ФИО _____
« » _____ 20 ____ г.

подпись _____ ФИО _____
« » _____ 20 ____ г.

подпись _____ ФИО _____
« » _____ 20 ____ г.

Карта управления рисками в области качества

подразделение/процесс СМК

Риск	Причины появления риска	О (оценка вероятности появления данного вида риска)	S (оценка тяжести последствий данного вида риска при возможной его реализации)	R (значение критичности риска) R = O × S	Мероприятия по снижению или исключению риска	Срок и ответственный исполнитель
1	2	3	4	5	6	7

Руководитель подразделения (Риск) _____
подразделение _____ подпись _____ ФИО _____ « » _____ 20 ____ г.

Руководители подразделений (ОТМ)

подразделение _____ подпись _____ ФИО _____ « » _____ 20 ____ г.

подразделение _____ подпись _____ ФИО _____ « » _____ 20 ____ г.

Рисунок 2 – Форма карты управления рисками в области качества

Мониторинг результатов (повторная оценка выявленных отклонений) процедуры управления рисками осуществляется руководителями подразделений, координатором темы и руководителем процесса (Риск) не реже одного раза в год.

Руководители подразделений, где выявлены отклонения от стандарта, проводят повторную оценку рисков в определенные сроки.

Повторная оценка рисков должна быть оформлена записью в разделе карты управления рисками «Мониторинг результатов (повторная оценка рисков)» (оборотная сторона) с указанием тенденции изменения процессов. Решение по дальнейшим действиям в отношении рисков принимаются руководителем подразделения.

Процесс управления рисками является одним из основных в управлении деятельностью организации [1].



Рисунок 4 – Структурная схема отдела № 214

В настоящее время проект «Проведение идентификации, анализа и оценки рисков в отделе № 214» находится на стадии реализации. Повышение качества продукции на основе управления рисками в системе менеджмента качества «КБхиммаш им. А.М. Исаева» будет способствовать снижению рисков на предприятии до минимального уровня. Эффективное внедрение процесса управления рисками может стать одним из инструментов совершенствования и успешности «КБхиммаш им. А.М. Исаева» в целом.

Таким образом, предложенная контрольно-надзорная система в управлении качеством организации, должна обеспечить эффективное выявление и снижение рисков различной природы, что позволит существенно повысить качество выпускаемой ракетно-космической техники.

Литература

1. МДК 134-020-2012 СМК. Управление рисками при обеспечении качества изделий ракетно-космической техники при функционировании систем менеджмента качества предприятий и организаций ракетно-космической промышленности.
2. Положение об отделе холодных испытаний № 214.
3. СТП 255-164-2019 СМК. Управление рисками. Общие требования.
4. Авдийский В.И., Безденежных В.М., Катаева Е.Г. Управление рисками как ключевой элемент обеспечения реализации риск-ориентированного подхода в деятельности хозяйствующих субъектов // Экономика. Налоги. Право. 2017. № 6. С. 6-15.

УДК 004.932

Применение вейвлет-преобразований для подавления шума в видеоинформации, поступающей от бортовых съёмочных систем летательных аппаратов

Е.К. Самаров, кандидат технических наук, доцент,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Статья посвящена синтезу алгоритма шумоподавления в видеоинформации, поступающей от бортовых съёмочных систем летательных аппаратов, основанному на технологии дискретных вейвлет-преобразований. Показано, что разработанный метод является развитием фильтрации Колмогорова-Винера, использующей для шумоподавления дискретное преобразование Фурье.

Бортовая съёмочная система, видеоинформация, дискретные вейвлет-преобразования, летательный аппарат, подавление шума.

The Application of Wavelet-transformation for Noise Suppression in Video Information Received from on-Board Camera Systems of Aircrafts

E. Samarov, PhD, associate professor,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The article is devoted to the synthesis of the noise reduction algorithm in the video information received from on-Board camera systems of aircrafts, based on the technology of discrete wavelet transformations. It is shown that the developed method is the extension of Kolmogorov-Wiener filtration using discrete Fourier transform for noise reduction.

On-Board camera system, video information, discrete wavelet-transformation, aircraft, noise suppression.

Вейвлет-преобразования

Функцию вещественного переменного $\psi(x)$ называют материнским вейвлетом [1], если она удовлетворяет следующим четырем условиям:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)| dx < \infty, \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)|^2 dx = 1, \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 0, \quad (3)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty. \quad (4)$$

Условие (1) означает, что функция $\psi(x)$ принадлежит пространству $L_1(\mathbb{R}_1)$. Из условия (2) вытекает, что функция $\psi(x)$ принадлежит также и пространству $L_2(\mathbb{R}_1)$, причем её норма в пространстве $L_2(\mathbb{R}_1)$ равна 1.

В пространстве $L_2(\mathbb{R}_1)$ функций одного переменного, принимающих вещественные значения, скалярное произведение определяется по формуле

$$(f(x), g(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)g(x) dx,$$

а норма функции – по формуле

$$\|f(x)\| = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)|^2 dx}$$

Для сходимости интеграла в формуле (4), как правило, достаточно быстрого стремления к 0 образа Фурье

$$\hat{\Psi}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) e^{-i\omega x} dx$$

на бесконечности и выполнения условия $\hat{\Psi}(0) = 0$, что в рассматриваемых нами практических задачах всегда выполняется.

При помощи сдвигов и растяжений из материнского вейвлета $\psi(x)$ возникает двумерное множество вейвлет-функций, зависящих от двух вещественных числовых параметров a и b :

$$\psi_{a,b}(x) = \sqrt{a} \psi(ax - b), \quad (5)$$

где

$$a \in (0, +\infty); \quad b \in (-\infty, \infty),$$

причем число a называют параметром масштаба, а число b – параметром сдвига.

Вейвлет-функции $\psi_{a,b}(x)$ порождают на пространстве $L_2(\mathbb{R}_1)$ линейное преобразование $f \rightarrow W_\psi(f)$ по формуле:

$$W_{\psi_{a,b}}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi_{a,b}(x) dx, \quad (6)$$

которое носит название прямого непрерывного вейвлет-преобразования.

Функция $W_{\psi_{a,b}}(f)$, называемая вейвлет-спектром функции $f(x)$, является для вейвлет-преобразования аналогом образа Фурье при преобразовании Фурье, однако в отличие от образа Фурье функция $W_{\psi_{a,b}}(f)$ зависит не от одной переменной (круговой частоты) как образ Фурье, а от двух переменных – параметров

масштаба и сдвига. По функции $W_{\psi_{a,b}}(f)$ можно реконструировать функцию $f(x)$, если воспользоваться формулой для обратного непрерывного вейвлет-преобразования:

$$f(x) = \frac{2}{C_{\psi}} \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{\psi_{a,b}}(f) \psi_{a,b}(x) da db, \quad (7)$$

где введено обозначение:

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\widehat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega \quad (8)$$

В силу условия (4) интеграл в формуле (8) сходится.

Непрерывные вейвлет-преобразования используются в основном в теоретических исследованиях. На практике, в частности, в цифровой обработке изображений, применяются дискретные вейвлет-преобразования, к определению которых мы и переходим.

Рассмотрим подмножество двумерного множества вейвлет-функций (5), носящее название диадного подмножества и определенное по формуле

$$\psi_{j,n}(x) = 2^{j/2} \psi(2^j x - n), \quad (9)$$

где $j, n \in \mathbb{Z}$.

В случае, когда $j = 1$, материнский вейвлет $\psi(x)$ удовлетворяет уравнению

$$\psi(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_{\psi}(n) \sqrt{2} \psi(2x - n), \quad (10)$$

называемому масштабным уравнением.

Множество чисел $\{h_{\psi}(n)\}$, называемых масштабными коэффициентами, удовлетворяет соотношению

$$\sum_{n \in \mathbb{Z}} |h_{\psi}(n)|^2 < \infty. \quad (11)$$

Множество масштабных коэффициентов часто называют двух масштабной последовательностью, хотя терминология пока ещё окончательно не устоялась.

В вейвлет-теории важную роль играют вейвлеты, имеющие компактный носитель, т.е. вейвлеты, обращающиеся в нуль вне некоторого отрезка. Для вейвлета, имеющего компактный носитель, сумма, стоящая в правой части формулы (10), будет содержать лишь конечное число слагаемых, поскольку будет существовать такое натуральное число n_0 , что при всех номерах n , удовлетворяющих неравенству $|n| > n_0$, будет выполнено равенство

$$\psi(2x - n) = 0.$$

В этом случае масштабное уравнение можно трактовать, как рекуррентное соотношение, позволяющее по $2n_0$ известным значениям функции $\psi(x)$ в произвольных точках вида

$$\begin{aligned} & x_{-n_0}, x_{-n_0+1}, \dots, x_{n_0} \\ & \text{определить её значения в точках вида} \\ & \frac{1}{2^j} x_{-n_0} + n, \frac{1}{2^j} x_{-n_0+1} + n, \dots, \frac{1}{2^j} x_{n_0} + n \end{aligned} \quad (12)$$

для всех $j, n \in \mathbb{Z}$. Для дискретных вейвлетов этого вполне достаточно, а для непрерывных вейвлетов значения функции $\psi(x)$ можно доопределить по непрерывности из значений (12).

С помощью материнского вейвлета, удовлетворяющего соотношениям (10) и (11), можно определить масштабирующий (отцовский) вейвлет, как функцию $\varphi(x)$, удовлетворяющую масштабному уравнению

$$\varphi(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_\varphi(n) \sqrt{2} \varphi(2x - n), \quad (13)$$

где последовательность масштабных коэффициентов $\{h_\varphi(n)\}$ удовлетворяет соотношению

$$\sum_{n \in \mathbb{Z}} |h_\varphi(n)|^2 < \infty \quad (14)$$

и выражается через последовательность масштабных коэффициентов материнского вейвлета $\{h_\psi(n)\}$ с помощью равенства

$$h_\varphi(n) = (-1)^{n+1} h_\psi(1 - n). \quad (15)$$

Для масштабирующего вейвлета $\varphi(x)$ масштабное уравнение (13) часто называют уравнением кратно масштабного анализа.

В стандарте сжатия и обработки изображений JPEG 2000 используются вейвлеты Коэна-Добеши-Фово, обозначаемые *cdf 5/3* и *cdf 9/7*. Вейвлет *cdf 5/3* применяется в JPEG 2000 для сжатия изображений без потерь, вейвлет *cdf 9/7* – для сжатия изображений с потерями.

Рассмотрим теперь диадное подмножество функций

$$\varphi_{j,n}(x) = 2^{j/2} \varphi(2^j x - n), \quad (16)$$

где $j, n \in \mathbb{Z}$, порожденное масштабирующим вейвлетом $\varphi(x)$.

Справедливо следующее утверждение.

Произвольную функцию $f(x)$ из пространства $L_2(\mathbb{R}_1)$ можно для любого значения $j_0 \in \mathbb{Z}$ разложить в вейвлет-ряд

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_{j_0,n} \varphi_{j_0,n}(x) + \sum_{j=j_0}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_{j,n} \psi_{j,n}(x), \quad (17)$$

коэффициенты $a_{j_0,n}$ которого называют коэффициентами приближения, а коэффициенты $b_{j,n}$ – коэффициентами деталей. При этом в случае, когда система функций (9), (16) образует ортонормированный базис в пространстве $L_2(\mathbb{R}_1)$, что мы и будем предполагать в дальнейшем, справедливы равенства:

$$a_{j_0,n} = (f(x), \varphi_{j_0,n}(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \varphi_{j_0,n}(x) dx, \quad (18)$$

$$b_{j,n} = (f(x), \psi_{j,n}(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi_{j,n}(x) dx. \quad (19)$$

Важным следствием формулы (17) служит формула Парсеваля-Ляпунова:

$$\|f(x)\|^2 = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (a_{j_0,n})^2 + \sum_{j=j_0}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (b_{j,n})^2, \quad (20)$$

которая является аналогом теоремы Пифагора в бесконечномерном ортонормированном пространстве.

Рассмотрим теперь вместо функции одного переменного $f(x)$ из пространства $\mathbb{L}_2(\mathbb{R}_1)$ её дискретизацию, т.е. функцию, определенную по формуле

$$\tilde{f}(x) = \sum_{k=0}^{X-1} f(x) \delta(kh_1), \quad (21)$$

где символом δ обозначена обобщенная «Дельта-функция Дирака», а символом h_1 обозначено расстояние между двумя ближайшими отсчетами. Носителем функции $\tilde{f}(x)$ является дискретное множество

$$\{x = kh_1\}, \quad k = 0, 1, \dots, X - 1, \quad (22)$$

состоящее из X элементов.

В случае, когда система функций (9), (16) образует ортонормированный базис в пространстве $\mathbb{L}_2(\mathbb{R}_1)$, а функция $f(x)$ из пространства $\mathbb{L}_2(\mathbb{R}_1)$ задана на равноотстоящих отсчетах (22), из формул (17), (18) и (19) получаем выражение:

$$f(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_{j_0,n} \varphi_{j_0,n}(k) + \sum_{j=j_0}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_{j,n} \psi_{j,n}(k), \quad (23)$$

где для коэффициентов приближения справедливы равенства

$$a_{j_0,n} = (\tilde{f}(x), \varphi_{j_0,n}(x)) = \sum_{k=0}^{X-1} f(k) \varphi_{j_0,n}(k), \quad (24)$$

в которых использованы обозначения

$$f(k) = f(kh_1), \quad \varphi_{j_0,n}(k) = \varphi_{j_0,n}(kh_1),$$

а для коэффициентов деталей при всех $j \geq j_0$ справедливы равенства:

$$b_{j,n} = (\tilde{f}(x), \psi_{j,n}(x)) = \sum_{k=0}^{X-1} f(k) \psi_{j,n}(k), \quad (25)$$

где использованы обозначения:

$$\psi_{j,n}(k) = \psi_{j,n}(kh_1).$$

Определение. Прямым дискретным вейвлет-преобразованием (ДВП) функции $f(x)$ называют формулу

$$f(k) = \sum_{n=0}^{X-1} a_{j_0,n} \varphi_{j_0,n}(k) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n=0}^{X-1} b_{j,n} \psi_{j,n}(k), \quad (26)$$

справедливую для любого фиксированного значения $0 \leq j_0 \leq N$, где $N = [\log_2 X]$, а аргументы k составляют множество:

$$k = 0, 1, \dots, X - 1$$

(квадратными скобками в выражении $[\log_2 X]$ обозначена целая часть числа).

Обратное ДВП представляет собой соотношение:

$$f(n) = \sum_{k=0}^{X-1} a_{j_0,n} \varphi_{j_0,n}(k) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{k=0}^{X-1} b_{j,n} \psi_{j,n}(k) \quad (27)$$

В формуле (27) аргументы x составляют множество:

$$x = 0, 1, \dots, X - 1$$

На практике формулы (26) и (27) иногда применяют в случае, когда число $j_0 = 0$, а число X является степенью числа 2. Однако не во всех фотоаппаратах число X является степенью двойки, и при цифровой обработке изображений, сделанных такими фотоаппаратами, приходится доопределять функцию $f(x)$ нулями. При этом ограничение $j_0 = 0$ часто приводит к ухудшению качества изображений.

В случае ДВП формула Парсеваля-Ляпунова выглядит так:

$$\sum_{k=0}^{X-1} (f(k))^2 = \sum_{n=0}^{X-1} (a_{j_0,n})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n=0}^{X-1} (b_{j,n})^2 \quad (28)$$

Для перехода к дискретному двумерному вейвлет-преобразованию рассмотрим функцию двух переменных $f(x, y)$ из пространства $L_2(\mathbb{R}_2)$ и опишем её дискретизацию $\tilde{f}(x, y)$. Носителем функции $\tilde{f}(x, y)$ являются узлы прямоугольной решетки, сформированной из X равноотстоящих отсчетов по оси Ox

$$x = rh_1, \quad r = 0, 1, \dots, X - 1, \quad (29)$$

Y равноотстоящих отсчетов по оси Oy

$$y = sh_2, \quad s = 0, 1, \dots, Y - 1 \quad (30)$$

и ограниченной прямоугольником со сторонами X и Y , где символом h_1 обозначено расстояние между двумя ближайшими отсчетами по оси Ox , а символом h_2 – расстояние между двумя ближайшими отсчетами по оси Oy . Другими словами, функция $\tilde{f}(x, y)$ определяется по формуле:

$$\tilde{f}(x, y) = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} f(x, y) \delta(rh_1, sh_2), \quad (31)$$

где символом δ обозначена обобщенная двумерная «Дельта-функция Дирака».

Разложим функцию (31) в ряд по системе материнских и масштабирующих вейвлет-функций с двумя переменными. Для этого рассмотрим линейно независимую систему функций в пространстве $L_2(\mathbb{R}_2)$ функций с двумя переменными x и y , которая состоит из попарных произведений функций из следующих четырех множеств функций:

$$\{\varphi_{j_0,n_1}(x)\}, \{\varphi_{j_0,n_2}(y)\}, \{\psi_{j,n_1}(x)\}, \{\psi_{j,n_2}(y)\} \quad (32)$$

Схематически эту линейно независимую систему удобно представить в форме таблицы из 4-х клеток. Для того, чтобы не исказить цифровое изображение, масштабные коэффициенты должны быть одними и теми же у функций, составляющих попарные произведения в каждой клетке таблицы:

$\varphi_{j_0,n_1,n_2}^{11} = 2^{j_0} \varphi(2^{j_0}x - n_1) \varphi(2^{j_0}y - n_2)$	$\psi_{j,n_1,n_2}^{12} = 2^j \psi(2^jx - n_1) \varphi(2^jy - n_2)$
$\psi_{j,n_1,n_2}^{21} = 2^j \varphi(2^jx - n_1) \psi(2^jy - n_2)$	$\psi_{j,n_1,n_2}^{22} = 2^j \psi(2^jx - n_1) \psi(2^jy - n_2)$

Нормируя функции, составляющие таблицу, и, воспользовавшись дискретизацией $\tilde{f}(x, y)$, получаем разложение функции $f(x, y)$ в двумерный вейвлет-ряд:

$$f(x, y) = \sum_{n_1=-\infty}^{+\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{+\infty} (a_{j_0, n_1, n_2}^{11} \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(x, y) + \sum_{j=j_0}^{+\infty} b_{j, n_1, n_2}^{12} \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(x, y) + b_{j, n_1, n_2}^{21} \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(x, y) + b_{j, n_1, n_2}^{22} \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(x, y)), \quad (33)$$

где для коэффициентов приближения справедливы равенства:

$$a_{j_0, n_1, n_2}^{11} = (\tilde{f}(x, y), \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(x, y)) = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} f(r, s) \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(r, s), \quad (34)$$

в которых использованы обозначения:

$$f(r, s) = f(rh_1, sh_2), \quad \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(r, s) = \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(rh_1, sh_2),$$

а для коэффициентов деталей для всех $j \geq j_0$ справедливы равенства:

$$b_{j, n_1, n_2}^{12} = (\tilde{f}(x, y), \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(x, y)) = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} f(r, s) \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(r, s), \quad (35)$$

$$b_{j, n_1, n_2}^{21} = (\tilde{f}(x, y), \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(x, y)) = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} f(r, s) \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(r, s), \quad (36)$$

$$b_{j, n_1, n_2}^{22} = (\tilde{f}(x, y), \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(x, y)) = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} f(r, s) \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(r, s), \quad (37)$$

где использованы обозначения:

$$\begin{aligned} \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(r, s) &= \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(rh_1, sh_2), \\ \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(r, s) &= \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(rh_1, sh_2), \\ \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(r, s) &= \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(rh_1, sh_2). \end{aligned} \quad (38)$$

Из формул (31)-(38) вытекает формула для прямого двумерного ДВП функции $f(x, y)$:

$$\begin{aligned} f(k_1, k_2) &= \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} a_{j_0, n_1, n_2}^{11} \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(k_1, k_2) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{12} \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(k_1, k_2) \\ &+ \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{21} \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(k_1, k_2) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{22} \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(k_1, k_2) \quad (39) \end{aligned}$$

Формула для обратного ДВП имеет вид:

$$\begin{aligned} f(n_1, n_2) &= \sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} a_{j_0, n_1, n_2}^{11} \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(k_1, k_2) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{12} \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(k_1, k_2) \\ &+ \sum_{j=j_0}^N \sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{21} \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(k_1, k_2) + \sum_{j=j_0}^N \sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} b_{j, n_1, n_2}^{22} \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(k_1, k_2) \quad (40) \end{aligned}$$

Равенство Парсеваля-Ляпунова имеет вид:

$$\sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} (f(k_1, k_2))^2 = \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (a_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j, n_1, n_2}^{21})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j, n_1, n_2}^{22})^2 \quad (41)$$

Синтез алгоритма шумоподавления в изображениях и видеопотоках, поступающих от бортовых съёмочных систем летательных аппаратов

Предположим, что индексы n и m принимают значения

$$n = 0, 1, \dots, X - 1, \quad m = 0, 1, \dots, Y - 1 \quad (42)$$

и введем следующие обозначения:

- $z_{n,m}$ – цифровой фотоснимок (деформированное изображение объекта),
- $u_{n,m}$ – истинное (недеформированное) изображение объекта,
- $v_{n,m}$ – аддитивный шум (помеха).

Будем считать, что шум $v_{n,m}$ и неискаженное изображение $u_{n,m}$ представляют собой некоррелированные случайные величины, причем шум $v_{n,m}$ имеет нулевое математическое ожидание [2]. Предположим также, что фотоснимок, неискаженное изображение и шум связаны уравнением

$$z_{n,m} = u_{n,m} + v_{n,m} \quad (43)$$

Введем в рассмотрение числовую матрицу $l_{n,m}$, элементы которой определим в дальнейшем, и умножим эту матрицу почленно на обе части уравнения (43):

$$l_{n,m} z_{n,m} = l_{n,m} u_{n,m} + l_{n,m} v_{n,m} \quad (44)$$

На основе матрицы $l_{n,m}$ построим фильтр, используемый для подавления аддитивного шума $v_{n,m}$. С этой целью воспользуемся равенством

$$l_{n,m} z_{n,m} - u_{n,m} = (l_{n,m} - 1)u_{n,m} + l_{n,m} v_{n,m},$$

и найдем элементы матрицы $l_{n,m}$ из условия того, чтобы они доставляли минимум дисперсии случайной величины:

$$\sum_{n=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} ((l_{n,m} - 1)u_{n,m} + l_{n,m} v_{n,m})^2 \rightarrow \min \quad (45)$$

Поскольку шум и неискаженное изображение суть некоррелированные случайные величины [3], то формулу (45) можно представить в виде:

$$\sum_{n=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} ((l_{n,m} - 1)u_{n,m})^2 + \sum_{n=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} (l_{n,m} v_{n,m})^2 \rightarrow \min \quad (46)$$

Перепишем левую часть формулы (46), воспользовавшись равенством Парсеваля-Ляпунова (41). Тогда для первой из двойных сумм в формуле (46) получим:

$$\sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} ((l_{k_1, k_2} - 1)u_{k_1, k_2})^2 = \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (a_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j, n_1, n_2}^{21})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (b_{j, n_1, n_2}^{22})^2, \quad (47)$$

где для коэффициентов приближения справедливы равенства

$$a_{j_0, n_1, n_2}^{11} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1) u_{r,s} \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(r, s), \quad (48)$$

а для коэффициентов деталей справедливы равенства:

$$b_{j, n_1, n_2}^{12} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1) u_{r,s} \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(r, s),$$

$$b_{j, n_1, n_2}^{21} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1) u_{r,s} \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(r, s), \quad (49)$$

$$b_{j, n_1, n_2}^{22} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1) u_{r,s} \psi_{j, n_1, n_2}^{22}(r, s).$$

Из формул (47)-(49) вытекает цепочка равенств:

$$\sum_{n=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} ((l_{n,m} - 1) u_{n,m})^2 =$$

$$= \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2$$

$$+ \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 =$$

$$= (1 + 3(N - j_0)) \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 \quad (50)$$

Для второй из двойных сумм в формуле (46) получим:

$$\sum_{k_1=0}^{X-1} \sum_{k_2=0}^{Y-1} (l_{k_1, k_2} v_{k_1, k_2})^2 = \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (c_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (d_{j_0, n_1, n_2}^{11})^2$$

$$+ \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (d_{j, n_1, n_2}^{21})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{n_1=0}^{X-1} \sum_{n_2=0}^{Y-1} (d_{j, n_1, n_2}^{22})^2, \quad (51)$$

где для коэффициентов приближения справедливы равенства

$$c_{j_0, n_1, n_2}^{11} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} v_{r,s}) \varphi_{j_0, n_1, n_2}^{11}(r, s), \quad (52)$$

а для коэффициентов деталей справедливы равенства:

$$d_{j, n_1, n_2}^{12} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} v_{r,s}) \psi_{j, n_1, n_2}^{12}(r, s),$$

$$d_{j, n_1, n_2}^{21} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} v_{r,s}) \psi_{j, n_1, n_2}^{21}(r, s), \quad (53)$$

$$d_{j,n_1,n_2}^{22} = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s} v_{r,s}) \psi_{j,n_1,n_2}^{22}(r, s).$$

Из формул (51)-(53) вытекает цепочка равенств

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} (l_{n,m} v_{n,m})^2 = \\ & = \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2 \\ & + \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2 + \sum_{j=j_0}^N \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2 = \\ & = (1 + 3(N - j_0)) \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2 \end{aligned} \quad (54)$$

С помощью формул (50) и (54) задача на экстремум (46) принимает вид:

$$(1 + 3(N - j_0)) \sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} ((l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 + (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2) \rightarrow \min \quad (55)$$

Решением задачи (55) является такая матрица $l_{r,s}$, элементы которой удовлетворяют уравнению

$$\frac{\partial}{\partial l_{r,s}} \left(\sum_{r=0}^{X-1} \sum_{s=0}^{Y-1} ((l_{r,s} - 1)^2 (u_{r,s})^2 + (l_{r,s})^2 (v_{r,s})^2) \right) = 0. \quad (56)$$

Выполнив дифференцирование в формуле (56), получаем уравнение

$$(l_{r,s} - 1)(u_{r,s})^2 + l_{r,s} v_{r,s}^2 = 0 \quad (57)$$

Решая уравнение (57), находим выражение для элементов матрицы $l_{r,s}$:

$$l_{r,s} = \frac{u_{r,s}^2}{u_{r,s}^2 + v_{r,s}^2} \quad (58)$$

Формулу (58) удобно записывать в эквивалентном виде:

$$l_{r,s} = \frac{1}{1 + v_{r,s}^2 / u_{r,s}^2}, \quad (59)$$

где выражение $v_{r,s}^2 / u_{r,s}^2$, входящее в знаменатель формулы (59), представляет собой отношение мощностей шума и неискаженного изображения.

Выводы

В статье представлен алгоритм шумоподавления в видеоинформации, поступающей от бортовых съёмочных систем летательных аппаратов, базирующийся на технологии дискретных вейвлет-преобразований. Полученный результат полностью согласуется со схемой подавления шума в цифровых изображениях, основанной на дискретном преобразовании Фурье и фильтрации Колмогорова-

Винера [4, 5].

Литература

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике // М: Солон-пресс. 2010 г. 400 с.
2. Самаров Е.К. Исследование и разработка многоканального анализатора качества электроэнергии повышенной точности // М: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2006 г. 144 с.
3. Артюшенко В.М., Самаров Е.К. Применение алгоритма фильтрации Калмана-Бьюси в задачах анализа качества электроэнергии // М: Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2006 г. Т. 2. № 1. С. 17-23.
4. Колмогоров А.Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. Математика. 1941 г. Т. 5. № 1. С. 3-14.
5. Wiener N. Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series // N.Y.: MIT Press/John Wiley. 1964. 171 p.

УДК 004.05

**Определение номенклатуры показателей качества
авиационной техники военного назначения**

Д.В. Усачев, старший инженер-испытатель,
Войсковая часть 15650-16, г. Щёлково-4, Московская область

В статье определена номенклатура показателей качества авиационной техники военного назначения, а также проведена их классификация по характеризующим свойствам.

Показатель, свойства, качество авиационной техники военного назначения.

**Defining the nomenclature of quality indicators aviation
technology for military purposes**

D.V. Usachev, senior test engineer,
Army part 15650-16, Shchelkovo-4, Moscow region

The article defines the nomenclature of quality indicators of military aviation equipment, as well as their classification by characterized properties.

Indicator, properties, the quality of aviation equipment for military use.

Авиационная техника военного назначения (АТ ВН) обладает совокупностью объективных свойств, определяющих ее качество и обуславливающих пригодность удовлетворять потребности обороны государства в соответствии с ее назначением.

При обосновании требований к вновь создаваемой АТ ВН, ее разработке, производстве, приемке и применении по назначению первостепенное значение придается ее эффективно-квалиметрическим характеристикам, а также:

- всестороннему представлению АТ ВН по средствам ее объективных свойств, выделению среди них существенных;
- оцениванию наличия или степени проявления этих свойств путем определения значений соответствующих показателей, отражающих количественную сторону свойств;
- установлению на основе полученных оценок значений показателей с помощью некоторых выбранных критериев (условий, которым должны удовлетворять значения показателей) пригодности АТ ВН для оценки применения ее по назначению [1 с.159].

Для того чтобы образец АТ ВН был пригоден для применения по назначению, необходимо обеспечить требуемый уровень его качества. При этом чтобы обеспечить доведение качества до приемлемого уровня и поддержания его на соответствующем уровне, необходимо решать задачу управления качеством АТ ВН.

Качество АТ ВН устанавливается при ее проектировании, обеспечивается в процессе ее изготовления, поддерживается при эксплуатации и восстанавливается

ется при ремонте. Поэтому на всех стадиях жизненного цикла АТ ВН необходимо решать задачи оценки, контроля и управления ее качеством.

Свойства АТ ВН, по которым определяется ее качество, можно разделить на две группы:

1. Основные свойства, присущие большинству сложных технических систем;
2. Специфические свойства, которые присущи АТ ВН, в соответствии с их предназначением.

К основным свойствам АТ ВН относятся: автономность, безотказность, безопасность при эксплуатации, всепогодность, долговечность, круглосуточность, моральное долголетие, надежность, обитаемость, прочность, ремонтпригодность, сохраняемость, совместимость с сопрягаемыми объектами, транспортабельность, универсальность, устойчивость, экологичность, эргономичность.

Специфическими свойствами АТ ВН являются: боевая эффективность, живучесть, маневренность, маскируемость, мобильность, скрытность, стойкость.

Каждое из вышеперечисленных свойств АТ ВН количественно определяется соответствующими показателями качества, являющимися мерой степени проявления этого свойства у конкретного образца. Показатели качества АТ ВН рассматриваются применительно к определенным условиям их создания и эксплуатации. Показатель качества АТ ВН, характеризующий одно из свойств, называется единичным, а показатель, характеризующий несколько свойств АТ ВН, называется комплексным.

Для любого вида выпускаемой продукции существует номенклатура показателей качества. Номенклатура показателей качества продукции – это совокупность характеристик ее свойств, которые выражают качественную определенность как произведенного продукта и средства удовлетворения потребности.

Чтобы объективно и комплексно оценить качество АТ ВН, необходимо, в первую очередь, обосновать ее номенклатуру показателей качества. Достоверность результатов оценки и выбор лучших вариантов зависит от полноты перечня показателей и четкости их количественного определения. Номенклатура показателей качества АТ ВН должна обеспечивать ее сопоставимость с требованиями, заданными в тактико-техническом задании (ТТЗ). Проверка соответствия показателей качества установленным требованиям осуществляется при испытаниях и контроле качества образца АТ ВН.

Выполнение требований (тактико-технических, технико-экономических, специальных и других) обеспечивается при проектировании образцов путем выбора соответствующих новейшим достижениям науки, техники и технологии принципов его построения и конструктивно-технических решений с последующей экспериментальной отработкой образца и доведением его до требуемого технического состояния и уровня качества с достижением заданных значений показателей качества в процессе испытаний образца и его доработки по их результатам [1 с. 161].

При оценке качества АТ ВН будем руководствоваться принципами, позволяющими обоснованно выбирать показатели качества к методам оценивания их значений. Такие принципы сформулированы и определены в квалиметрии. Основными задачами квалиметрии являются:

- определение номенклатуры показателей качества, необходимой для всестороннего квалиметрического анализа показателей качества изделий (образцов);
- установление оптимальных значений показателей качества;
- разработка методов количественного оценивания уровня качества изделий (образцов);
- создание методики учета изменения качества во времени.

Исходя из основных положений квалиметрии [1 с. 163], можно сделать четыре основных вывода, позволяющих оценить уровень качества АТ ВН:

1. АТ ВН характеризуется отдельными свойствами, которые проявляются при ее создании, эксплуатации и применении по назначению. Эти свойства могут быть сложными и простыми.

2. Качество АТ ВН - совокупность ее существенных свойств, которые обуславливают ее пригодность удовлетворять определенные потребности заказчика в соответствии с ее назначением. Качество образца АТ ВН будем рассматривать как новое комплексное сложное свойство, и оно включает не все свойства, которыми обладает образец, а только те из них, которые связаны с возможностью удовлетворения потребностей заказчика.

Качество АТ ВН в целом определяется свойствами его составных частей, их взаимосвязями и взаимозависимостями. Необходимо учитывать, что качество не сводится к совокупности этих свойств, а образует новое целостное наиболее сложное свойство. Качество определяется не только его свойствами, но и структурой АТ ВН. Характеристиками качества АТ ВН являются показатели его свойств.

3. Пригодность АТ ВН оценивается исходя из цели ее использования.

4. Качество, как собирательное понятие, выступает в виде множества свойств АТ ВН и представляется в виде иерархической структуры этих свойств. На самом низком уровне этой иерархической структуры будут находиться простые свойства, а на самом высоком – качество. Эту структуру будем изображать в виде дерева свойств. Дерево свойств будем представлять в виде графической иерархической структуры, включающей сложные свойства и связанные с ними группы более простых свойств.

Так как качество АТ ВН определяется как совокупность его существенных свойств, то оно, в свою очередь, может быть представлено как обобщенное свойство. Поэтому важно при оценке качества АТ ВН объединять многие ее существенные свойства в одно сложное свойство, мера которого будет устанавливать единство количественной и качественной сторон АТ ВН и позволит дать однозначное заключение о соответствии исследуемого образца АТ ВН своему назначению. При таком объединении свойств требуется всестороннее изучение зависимостей между характеризующими их показателями.

В нормативном документе [2] устанавливается номенклатура основных групп показателей качества любой продукции по характеризующим ими свойствам. Исходя из основных положений [2], номенклатуру показателей качества АТ ВН будет устанавливать с учетом:

- назначения и условий применения (эксплуатации) АТ ВН;
- тактико-технических требований;
- областей применения показателей качества;

- состава и структуры характерных свойств;
- необходимости обеспечения решения задач управления качеством АТ ВН.

Также необходимо учитывать, что в течение всего жизненного цикла АТ ВН вводятся и используются различные совокупности показателей качества для решения различных задач, связанных с контролем качества и его управления. Поэтому обоснование и выбор номенклатуры показателей качества АТ ВН имеют первостепенную важность.

По характеризующим свойствам выделим следующие группы показателей качества АТ ВН:

1. Показатели назначения, характеризующие цель и область применения АТ ВН;
2. Приспособленность АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности;
3. Рациональность технико-экономических решений.

Показатель назначения АТ ВН – показатель качества, характеризующий эффективность применения АТ ВН по назначению в конкретной эксплуатационной (боевой) обстановке. Показатели назначения характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения. При оценке уровня качества их часто используют в качестве критериев оптимизации для нахождения наилучших решений [3]. Представим показатели назначения АТ ВН в виде дерева показателей (рис. 1).

Показатели (свойства) назначения АТ ВН	
1. Классификационные (принадлежность к определенной классификационной группе)	
	1.1 Мощность двигателя
	1.2 Тяговооруженность
	1.3 Максимальная взлетная масса
	1.4 Коэффициент проходимости и др.
2. Состав и структуры	
	2.1 Процентное содержание композитных материалов
	2.2 Коэффициент заменимости
	2.3 Процентное содержание стали и др.
3. Конструктивные	
	3.1 Габаритные размеры
	3.2 Присоединительные размеры
	3.3 Коэффициент эффективности взаимозаменяемости
	3.4 Коэффициент сборности (блочности)
	3.5 Наличие дополнительных устройств
4. Функциональной и технической эффективности (эксплуатационные)	
	4.1 Подготовливаемость
	4.2 Обслуживаемость
	4.3 Круглосуточность
	4.4 Всепогодность
	4.5 Безопасность при эксплуатации
	4.6 Автономность
	4.7 Приспособленность к эксплуатации в различных условиях
	4.8 Маневренность
	4.9 Моральное долголетие
	4.10 Обитаемость
	4.11 Совместимость с сопрягаемыми объектами
	4.12 Универсальность

Рисунок 1 – Показатели (свойства) назначения АТ ВН

Образцы АТ ВН, обладающие высокими показателями назначения, но не способные в течение заданного времени сохранять свойства, определяющие возможности образцов выполнять требуемые функции, не могут быть признанными пригодными для применения по назначению. Поэтому на первый план выдвигается проблема приспособленности образца АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности. Представим показатели приспособленности АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности в виде дерева показателей (рис. 2 а, б).

Показатели приспособленности АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности

1. Надежности

1.1 Безотказности: 1.1.1 вероятность безотказной работы, 1.1.2 интенсивность отказов, 1.1.3 средняя наработка на отказ, 1.1.4 параметр потока отказов
1.2 Долговечности: 1.2.1 средний срок службы, 1.2.2 средний срок службы до списания, 1.2.3 гамма-процентный ресурс, 1.2.4 назначенный ресурс, установленный срок службы
1.3 Ремонтопригодности: 1.3.1 вероятность восстановления в заданное время, 1.3.2 среднее время восстановления, 1.3.3 коэффициент ремонтосложности
1.4 Сохраняемости: 1.4.1 средний срок сохраняемости, 1.4.2 гамма-процентный срок сохраняемости, 1.4.3 назначенный срок хранения, 1.4.4 установленный срок хранения
1.5 Комплексный показатель: 1.5.1 коэффициент готовности, 1.5.2 коэффициент технического обслуживания, 1.5.3 коэффициент оперативной готовности, 1.5.4 коэффициент планируемого применения и др.

2. Живучести и стойкости к внешним воздействиям

2.1 Живучести: 2.1.1 вероятность повреждения в определенной боевой ситуации, 2.1.2 средняя время восстановления в определенной боевой ситуации, наряд средств и сил противника для поражения образца с заданной вероятностью
2.2 Стойкости к внешним воздействиям: 2.2.1 Механическим, 2.2.2 Климатическим, 2.2.3 биологическим, 2.2.4 радиационным

3. Скрытности и маскировки

3.1 Вероятность обнаружения техническими средствами разведки, 3.2 Среднее время обнаружения, 3.3 Уровень демаскирующих облучений, 3.4 Максимальная дальность обнаружения, 3.5 Уровень бокового обнаружения, 3.6 Скорость переход на запасные каналы

4. Прочности

4.1 Предел пропорциональности, 4.2 Предел упругости, 4.3 Физический предел текучести, 4.4 Условный предел текучести, 4.5 Предел прочности и др.

a)

Показатели приспособленности АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности	
5. Опасности	
	5.1 Пожарной безопасности, 5.2 Систем сигнализации и защиты от критических ситуаций
6. Транспортабельности	
	6.1 Средняя трудоемкость подготовки к транспортированию, 6.2 Средняя стоимость перевозки, 6.3 Средняя продолжительность разгрузки, 6.4 Максимально возможное использование емкости транспортного средства, 6.5 Допустимая температура при транспортировании, 6.6 Допустимая влажность при транспортировании, 6.7 Допустимые перегрузки при ускорении в процессе транспортирования, 6.8 Допустимый уровень вибрации при транспортировании, 6.9 Масса образца и его габаритные размеры, 6.10 Степень приспособленности образца к транспортированию.
7. Социально-ориентированные	
	7.1 Безопасности: 7.1.1 вероятность безопасной работы человека в течение длительного времени, 7.1.2 время срабатывания защитных устройств, 7.1.3 вероятность возникновения аварийной ситуации, 7.1.4 кратность защиты от несанкционированного применения, 7.1.5 кратность защиты от радиации и др.
	7.2 Эргономические: 7.2.1 гигиенические и биомеханические (освещенность, температура, влажность, давление, шум и др.), 7.2.2 антропометрические (масса тела, рост, вес и др.), 7.2.3 физиологические и психофизиологические (силовые, энергетические, слуховые, осязательные и др.), 7.2.4 психологические (уровень тревожности, агрессивности, стрессоустойчивости и др.)
	7.3 Технической эстетики: 7.3.1 композитной целостности, 7.3.2 информационной выразительности, 7.3.3 совершенство производственного исполнения, 7.3.4 рациональной формы и др.
	7.4 Удобства технического обслуживания, ремонта и хранения: 7.4.1 Объем и периодичность технического обслуживания, 7.4.2 удельная трудоемкость, 7.4.3 трудоемкость и время подготовки к использованию по назначению, 7.4.4 квалификация обслуживающего персонала
	7.5 Экологические: 7.5.1 связанные с использованием материальных ресурсов (ресурсоемкость изготовления и др.), 7.5.2 связанные с использованием природных энергетических ресурсов (расход природных энергоносителей и др.), 7.5.3 связанные с загрязнением окружающей среды (концентрация вредных веществ и др.)

б)

Рисунок 2 – Показатели приспособленности АТ ВН к эксплуатации и сохранению работоспособности

Степень удовлетворения потребностей и суммарные экономические затраты определяют технико-экономические показатели. Обоснование технико-экономических показателей является завершающим этапом процесса разработки АТ ВН. По результатам обоснования принимается к реализации один из альтернативных вариантов решения. Показатели рациональности технико-экономических решений представим в виде дерева показателей (рис. 3).

Показатели рациональности технико-экономических решений	
1. Патентно-правовые	
	1.1 Патентной защиты
	1.2 Патентной чистоты
2. Стандартизации и унификации	
	2.1 Коэффициент применяемости
	2.2 Коэффициент повторяемости
	2.3 Коэффициент межпроектной унификации
3. Экономические	
	3.1 Экономичности энергопотребления:
	3.1.1 удельный расход энергии;
	3.1.2 расход топлива при заданном режиме эксплуатации и др.
	3.2 Экономичности потребления материальных и трудовых ресурсов:
	3.2.1 удельный расход сырья;
	3.2.2 удельный расход материалов;
	3.2.3 потери материалов при регламентированных условиях эксплуатации
4. Технологичности	
	4.1 Эксплуатационная технологичность
	4.2 Штучная трудоемкость работ
	4.3 Удельная трудоемкость профилактического обслуживания функционирующего образца
	4.4 Удельная трудоемкость ремонтов
	4.5 Удельная суммарная трудоемкость эксплуатации
	4.6 Удельные затраты на эксплуатационное обслуживание
	4.7 Удельные затраты на эксплуатационные ремонты
	4.8 Удельная материалоемкость при эксплуатации
	4.9 Удельная себестоимость образца
	4.10 Производственная технологичность
	4.11 Суммарная трудоемкость изготовления
	4.12 Структурная трудоемкость
	4.13 Суммарная материалоемкость
	4.14 Удельная материалоемкость
	4.15 Относительная материалоемкость

Рисунок 3 – Показатели рациональности технико-экономических решений

Выводы:

1. Обоснование номенклатуры показателей качества АТ ВН позволяет произвести комплексную оценку ее уровня качества.
2. Выбор показателей качества АТ ВН определяется исходя из его назначения, приспособленности к эксплуатации и сохранению работоспособности и рациональности технико-экономических решений.

3. По мере изменения требований к вновь создаваемой АТ ВН, могут вводиться новые показатели качества, которые необходимо учитывать при разработке новых образцов АТ ВН.

Литература

1. Демидов Б.А., Величко А.Ф., Волощук И.В. Научно-учебное издание. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области. Книга 2. Организационно-методические основы деятельности в военно-технической области; Под ред. Б.А. Демидова // К.: 2006. 1152 с. 128 илл.
2. РД 50-64-84 «Методические указания о разработке государственных стандартов, устанавливающих номенклатуру показателей качества групп однородной продукции».
3. Номенклатура показателей качества промышленной продукции [Электронный ресурс]. – URL: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=1&tutindex=18&index=8&layer=1 дата обращения 30.11.2019 г.

УДК 004.04

Повышение производительности больших баз данных и действующих на их основе прикладных сервисов

Э.М. Аббасов, кандидат технических наук, доцент,

С.Н. Польшин, магистрант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Исследованы функции информационной системы сервис-ориентированной архитектуры. Проанализированы действия лояльных и нелояльных к прикладным веб-сервисам системы интернет-пользователей и данные логов интернет-пользователей. Поставлена задача разработать базу данных для исследуемой информационной системы и повысить ее производительность путем масштабирования, репликации, секционирования, вертикального и горизонтального шардинга. Приведены результаты разработки базы данных для хранения и обработки логов поведения интернет-пользователей.

Информационная система, скорость обработки данных, скоринговая оценка.

Improving the performance of large databases and application services operating on their basis

E.M. Abbasov, Ph.D. assistant professor,

S.N. Polshin, undergraduate,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The functions of the information system of service-oriented architecture are investigated. The actions of the systems of Internet users that are loyal and disloyal to applied web services are analyzed, as well as the data of Internet users' logs. The task is to develop a database for the information system under study and increase its efficiency by scaling, replication, sectioning, vertical and horizontal sharding. The results of developing a database for storing and processing logs of Internet user behavior are presented.

Information system, data processing speed, scoring score.

Введение

Информационная система (ИС) сервис-ориентированной архитектуры, обрабатывающая большие объемы данных, состоит из множества сервисов. Производительность базы данных, на основе которой строится такая ИС, зависит от скорости обработки запросов; времени чтения, записи и обновления данных; от механизмов масштабирования при хранении данных; количества запросов на предоставляемые веб-сервисами услуги [1...7]. Также в настоящее время вводятся

понятия лояльного и нелояльного пользователя веб-сервиса. Лояльностью пользователей веб-сервиса называется показатель, отражающий количество положительных отзывов о предоставляемых сервисом услугах и готовность вновь пользоваться этим сервисом. Нелояльностью пользователей веб-сервиса называется показатель, отражающий количество отказов от предоставляемых сервисом услуг или неготовность оплатить указанные услуги. Лояльность или нелояльность пользователя отражается в логах поведения интернет-пользователей, которые, как правило, характеризуются как большие данные, то есть не умещаются в оперативную память одного компьютера (сервера).

Актуальна разработка дополнительных возможностей веб-сервиса по распознаванию лояльных и нелояльных клиентов к услугам, предоставляемых сервисами ИС, а также способов оптимизации базы данных (БД) для хранения и обработки логов поведения интернет-пользователей.

Результаты разработки базы данных для хранения и обработки логов поведения интернет-пользователей

ИС, предоставляющая различные сервисы, имеет в своем составе БД для хранения логов данных пользователей, а также модуль для распознавания лояльных/нелояльных пользователей, который реализует подсчет и анализ баллов, выставляемых пользователям предоставляемых сервисов. Баллы определяют возможность предоставления услуги. Выявление нелояльных пользователей сервиса и отказ им в предоставлении услуг относится к кредитному скорингу, поэтому для выявления нелояльных пользователей используется скоринговая оценка, основанная на численных статистических методах. По результатам скоринговой оценки (набранных баллов) системой принимается решение об одобрении в выдаче услуги веб-сервиса (в том числе в кредит).

В основу схемы функционирования модуля ИС для распознавания нелояльных пользователей была положена архитектура информационной системы оценки кредитных рисков SAS Credit Scoring. SAS – название американской компании (от англ. Statistical Analysis System – Система статистического анализа). В настоящее время используется использоваться в качестве собственного имени для обозначения компании и её программных приложений для статистического анализа. Система оценки кредитных рисков включает набор методик и инструментов, которые позволяют предсказать поведенческую модель клиента.

Модель информационной системы SAS Credit Scoring представлена на рисунке 1.

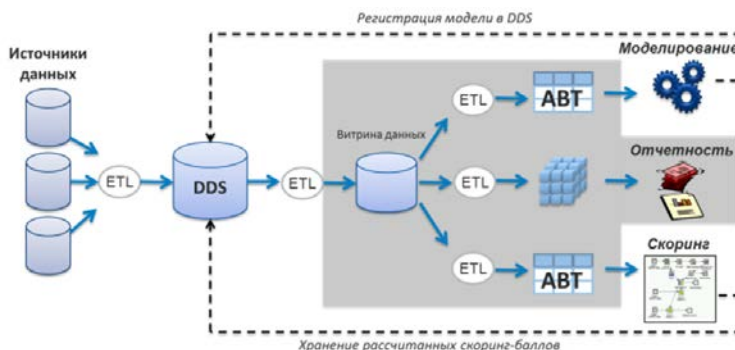


Рисунок 1 – Схема информационной системы SAS Credit Scoring [сделано автором]

На рисунке 1 приняты следующие сокращения: ETL (от англ. Extract, Transform, Load – извлечение, преобразование, загрузка); DDS (от англ. Data Distribution Service – Служба распространения данных).

Служба DDS обеспечивает оперативность, масштабируемость, надежность, высокую производительность обработки данных и совместимость при обмене данными в режиме реального времени.

Основные данные для аналитики, накапливаемые в предоставляемом сервисе – это лог данные, файлы с записями или записи в БД с событиями, представленными в хронологическом порядке, обеспечивающим журналирование. В сервисе присутствует 6 типов логирования, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики типов логирования данных

Тип логирования	Предназначение	Механизм действия
Мгновенное логирование заявок	Проверка наличия заявок в логике сервиса, а также для оперативного мониторинга	Данные о заявках отправляются в таблицу log на сервере 8003 и хранятся там в течение года
Отложенное логирование данных	Анализ состояния веб-сервиса по логам	Сервера приложений сохраняют логи в формате json, в файлы вида /var/log/sender/service-20171027123000.json; эпизодически по крону эти файлы сохраняются в таблицу log на сервере 2190; на сервере 2190 данные хранятся неделю
Отладочные логи	Определение причины неполадок в работе системы	Полные логи, включая отладку, хранятся на серверах приложений в файле /var/log/sender/service-partner.log
Архив всех логов	Архивация логов для уменьшения объема памяти	Логи старше недели с сервера 2190 переписываются на сервер 6103. Причем записываются в схему – соответствующую году, а таблицу – соответствующую месяцу
Агрегация данных	Сбор и представление данных в виде, удобном для пользователя. Создание часовых и дневных агрегаций	Агрегации формируются с сервера 2190 и записываются на сервер 6103. собирается конечная цифра посетителей сайта, предоставляющего услуги с помощью прикладных сервисов, в заданный период времени
Импорт данных в специализированную среду Kibana	Отображение агрегированных данных в виде графиков для удобного анализа и мониторинга	Агрегации с сервера 6103 импортируются в Kibana.

Схема хранения и обработки логов сервиса представлена на рисунке 2. В данную схему входят:

- APP1, APP2 – сервера приложений

- Сервер 8003 – сервер БД хоста 8003
- Сервер 2190 – сервер БД хоста 2190
- Сервер 6103 – сервер БД хоста 6103 с агрегациями/

Основные данные необходимые для разработки концептуальной модели модуля ИС по распознаванию нелояльного пользователя сервиса: 1) данные о нелояльных пользователь от оператора; 2) данные о действиях пользователей сервиса из логов ИС, на основе которой функционирует сервис.

Идентификаторы получают от оператора и заносят их в таблицу stop_list для предотвращения повторного предоставления услуги.

В качестве БД логов пользователей выбрана архивная база, так как она меньше всего загружена. Разработана схема контроля control и таблица в ней state.

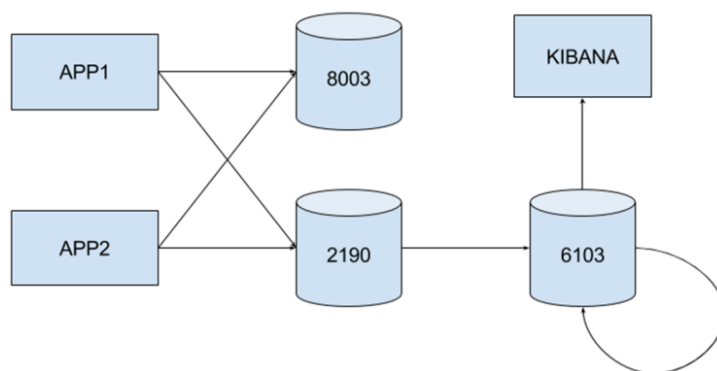


Рисунок 2 – Схема логирования прикладного сервиса

Таблица state создана для управляющих параметров, участвует в части ИС СОА для предоставления веб-сервиса по распознаванию лояльных пользователей и имеет структуру, показанную в таблице 2.

Таблица 2 – Структура таблицы state [сделано автором]

Колонка	Тип поля	Значение по умолчанию	Описание
state_id	serial		Первичный ключ
short_name	character varying		Краткое имя параметра
description	character varying		Описание
value	real	0	Значение с плавающей запятой
is_enable	boolean	false	Он знает, работает этот параметр или нет; необходим для отключения управляющего параметра путем обновления значения в БД

Со временем количество данных в БД увеличивается. В крупных веб-сервисах с логированием данные копятся очень быстро, образуется большое количество данных в БД, благодаря чему увеличивается нагрузка на аппаратную

часть серверов. При не столь большом запасе производительности в аппаратной части, время общения с БД (чтение, запись и обновление данных) увеличивается. В свою очередь это влияет на время выполнения REST (от англ. Representational State Transfer – передача состояния представления запросов) к API (от англ. Application Programming Interface – Интерфейс Программирования Приложений). Со стороны пользователя веб-сервиса заметно увеличение времени загрузки веб-страниц. Все это чревато большими потерями по следующим причинам [8]:

- пользователей не устраивает скорость загрузки веб-страниц, количество посетителей веб-сервиса сокращается;
- из-за высокого времени отклика API, веб-сервис регистрирует не все заказы, происходит потеря заказов сервиса.

Зачастую, данные логов не хранят долго, а просто удаляют старые, в нашем случае, необходимо сохранять все логи пользователей, независимо от времени. Наступает момент, когда стоит найти правильное архитектурное решение, в нашем случае наиболее подходящим решением было прибегнуть к масштабированию данных в БД – к репликации и шардингу.

Прежде чем приступить к оптимизации, стоит отметить, что у базы данных уже было настроено резервное копирование, оно происходит раз в сутки и хранится на отдельном сервере (недельные данные резервируются). Резервное хранилище хранит три дампа, более старая запись удаляется добавляется новая [9].

Изначально, до того, как основная таблица log стала иметь большие данные, ИС имела архитектуру, представленную на рисунке 3.

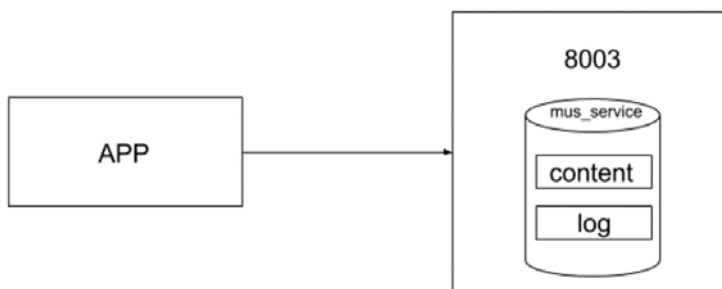


Рисунок 3 – Схема первоначальной архитектуры информационной системы [сделано автором]

Приложение APP (прикладное) обращается к БД service на хост сервера 8003 для всех операций – чтение, запись и обновление данных:

- в таблицу log постоянно пишутся данные для аналитики;
- к таблице content поступают запросы на чтение данных при каждом обращении к APIМС.

Когда данных в главной таблице БД service – log, становится много, нагрузка на БД увеличивается, скорость отклика уменьшается и приложение начинает задыхаться из-за долгих запросов на чтение к таблице content. Чтобы устранить этот недочёт, стоит прибегнуть к репликации.

Репликация – это техника масштабирования БД, которая осуществляет по-

стоянное копирование (репликацию) данных с одного (основного) сервера БД на другой сервер (или несколько серверов). Такие серверы, на которые реплицируются данные, называются репликами. Таким образом, повышается быстродействие обработки запросов за счет использования не одного сервера, а нескольких [10], и, соответственно, производительность обработки данных, которая зависит от быстродействия. За счет возможности распределения нагрузки с одного сервера на один или несколько серверов повышается управляемость БД.

Самая распространенная схема репликации данных – это Master-Slave. Схема Master реализуется с помощью основного сервера БД, на котором осуществляются все операции по добавлению, обновлению, удалению данных. Схема Slave для чтения обработанных данных реализуется с помощью вспомогательного сервера БД (реплики), копирующего все данные с мастера (основного сервера). В схеме Slave может применяться несколько серверов-реплик.

Данная схема подходит наиболее лучше из-за архитектуры ИС. Запись в таблицу log ведётся чаще, чем чтение данных из таблицы content. Чтение из content необходимо для предоставления услуг и сопровождения заявки (заказа) пользователя. Схема, представленная на рисунке 4, позволяет отделить логирование от функционала заявки сервиса.

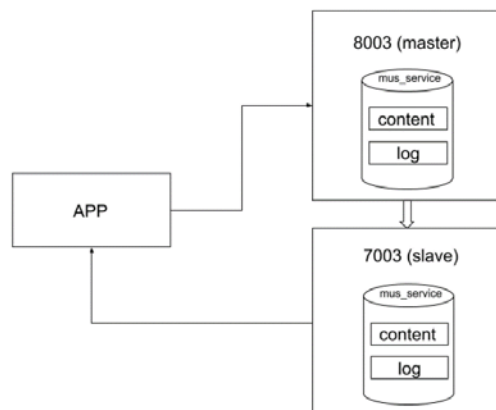


Рисунок 4 – Схема ИС с настроенной репликацией master-slave [сделано автором]

После добавления репликации master-slave, мы настроили чтение и запись из базы следующим образом:

- На мастере 8003 ведётся запись, обновление и удаление данных. Постоянное логирование в таблицу log, а также, периодическое обновление таблицы content через CMS (от англ. Content Management System – Система Управления Контентом);
- На слейве 7003 мы читаем данные из таблицы content, необходимые для заказов интернет-пользователей, так же, из таблицы log данные попадают в аналитическую часть ИС.

Репликация сама по себе не очень удобный механизм масштабирования. Рассинхронизация данных и задержки в копировании с мастера на слейв являются основной причиной этого. Зато это отличное средство для обеспечения отказоустойчивости. Мы всегда можем переключиться на слейв, если мастер ломается и

наоборот. Чаще всего репликация используется совместно с шардингом именно из соображений надежности [11].

В нашем случае рассинхронизация данных не критична, поскольку в операциях на чтение со слейва допускается небольшая задержка в копировании, в этой части ИС нет необходимости в горячих данных. К сожалению, репликация не решает все задачи, поставленные перед масштабированием. Со временем записывать и читать данные из таблицы log стало все труднее, будь это мастер или слейв, виной всему большое количество данных. Исходя из этого, было решено дополнительно прибегнуть к другой технике масштабирования данных – шардированию.

Секционирование (от англ. partitioning, часто называют партиционированием) – это вертикальный шардинг (от англ. sharding (shard) – сервер), основывается на разделении одной большой таблицы на множество маленьких на том же сервере. Секционированием реализуется с помощью разбиения одной большой логической таблицы на несколько небольших физических секций, как показано на рисунке 5.

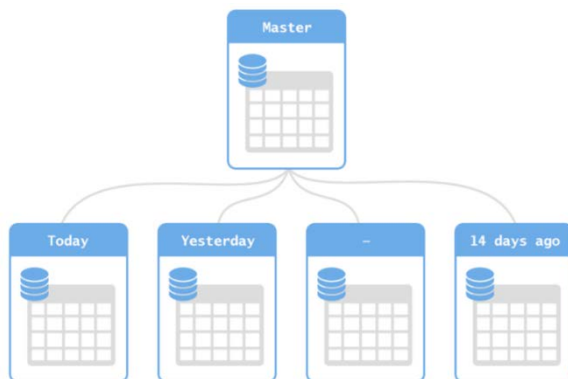


Рисунок 5 – Схема секционирования таблицы базы данных [12]

Применяем технику секционирования к таблице БД больших данных service log и получаем схему, указанную на рисунке 6.

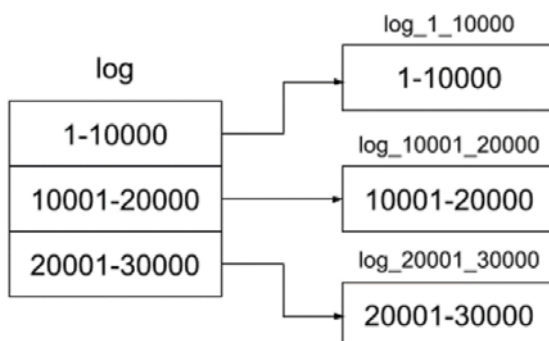


Рисунок 6 – Секционирование (вертикальный шардинг) применимо к таблице log [сделано автором]

Преимущества секционирования заключаются в следующем. В определённых ситуациях секционирование кардинально увеличивает быстродействие, особенно когда большой процент часто запрашиваемых строк таблицы относится к одному или небольшому числу секций. Секционирование может сыграть роль ведущих столбцов в индексах, что позволит уменьшить размер индекса и увеличит вероятность нахождения наиболее востребованных частей индексов в памяти. Когда в выборке или изменении данных задействована большая часть одной секции, последовательное сканирование этой секции может выполняться гораздо быстрее, чем случайный доступ по индексу к данным, разбросанным по всей таблице.

В данном случае разбиение таблицы происходит в одной базе service на том же самом сервере с репликацией 8003 (master) и 7003 (slave), что нам не подходит из-за остающейся нагрузки на БД

Переходим к другой технике масштабирования данных – горизонтальному шардингу, который исправляет не желаемое для нас размещение совокупности таблиц log в одной БД и на одном сервере. Горизонтальный шардинг работает так же, как и вертикальный, с единственным отличием – таблицы находятся в разных базах и на разных шардах [9]. Применяем горизонтальный шардинг к нашей структуре и получаем схему, показанную на рисунке 7.

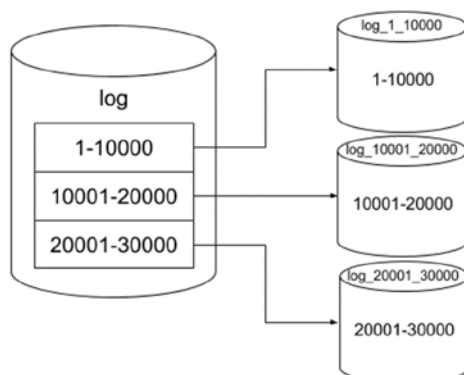


Рисунок 7 – Горизонтальный шардинг таблицы log [сделано автором]

Для того чтобы выбрать нужные данные из секций их нужно перебрать, что не подходит для аналитики логов пользователей, поэтому продолжаем поиски решения. Необязательно хранить все логи в таблице log на 8003, куда постоянно пишутся данные. На основе аналитического ПО выявлен период в 8 дней, за который данные логов должны храниться в основной таблице. Остальные данные можно архивировать в другой БД и на другом сервере. Такое решение обладает следующими преимуществами:

- снижает нагрузку на основную таблицу;
- аналитическому ПО будет известно место хранения данных.

Вернёмся к основам секционирования – деления основной таблицы на множество небольших (см. рисунок 5) Благодаря этому, данные можно хранить по месяцам, т.е. в каждой таблице будут храниться данные, соответствующие определённому месяцу. Но есть недостатки, первый – это именование таблицы год и

месяц, что не очень явно, второй, и главный недостаток, это то, что в одной БД будут инкрементивно добавляться таблицы и, к примеру, в 10-ый год их уже будет $10 \cdot 12 = 120$.

Здесь можно прибегнуть к особенности РСУБД PostgreSQL и обратиться к схемам БД. Каждому году будет соответствовать схема, а каждому месяцу таблица, таким образом, архивные данные за май 2019 года будут прозрачно находиться в `log_2019.log_05`.

Приступаем к реализации и чертим схему и выбираем свободный сервер – 6136 (см. рисунок 8).

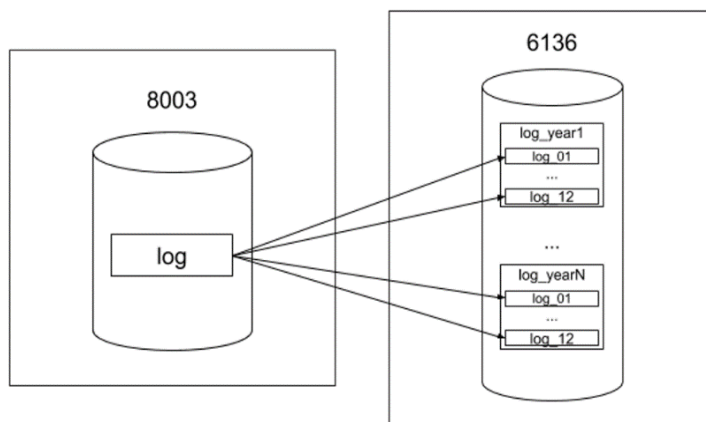


Рисунок 8 – Архивирование данных log методом ручного секционирования [сделано автором]

В результате получаем основную таблицу, содержащую в себе записи за 8 дней, и множество таблиц с архивными логами на другом сервере (6136) и собранными в одну БД. Полученное ручное секционирование данных способствует стабильной непрерывной записи логов и чтению их, как их главной таблицы, так и из архивных таблиц с отсортированными данными по годам и месяцам, что создает удобство и прозрачность в использовании данных для аналитики. В связи с тем, что веб-сервис написан на языке PHP, реализация архивирования данных была реализована на нем [13].

Архивация запускается по crontab задаче ежедневно два раза в день: `0 7,23 * * * vps8002 archive.php`. На рисунке 9 представлен фрагмент архиватора (ручного секционирования).

```

class ArchiveLog extends Daemon_Daemonizable {
    public function __construct($log, $config, $facade) {
        $this->log      = $log;
        $this->config   = $config;
        $this->facade   = $facade;
        $this->countData = 0;
        $this->curTime  = date('Y-m-d H:i:s');
        $this->data     = null;
        $this->delete   = null;
    }

    public function run() {
        file_put_contents(GIRAR_DATA_DIR . $this->config->startTimeArchiveFile, $this->curTime);
        while($this->data = $this->facade->getLogOldData($this->config->num, $this->curTime))
        {
            try {
                $this->facade->startLogTransact();
                $this->facade->startArchiveTransact();

                $this->facade->insertArchiveOldData($this->data);
                $this->delete = $this->facade->deleteLogOldData($this->data);
                $this->countData += $this->delete;

                $this->facade->commitArchiveTransact();
                $this->facade->commitLogTransact();
            } catch (Exception $e) {
                $this->facade->rollBackArchiveTransact();
                $this->facade->rollBackLogTransact();
                $this->log->err($e);
            }
        }
        $this->log->info('Count archived data: ' . $this->countData);
        return false;
    }
}

$daemon = new Daemon_Daemon(
    new ArchiveLog($log, $config, $facade),
    GIRAR_DATA_DIR . $config->pidFile
);
$daemon->summon(false);

```

Рисунок 9 – Листинг реализации на языке PHP ручного секционирования (архивирования) данных [сделано автором]

Пока метод `getLogOldData` будет возвращать данные, будет выполняться тело цикла `while`.

Тело цикла `while` обернуто в перехватчик ошибок/исключений `try-catch`:

- В теле `try` сначала с помощью методов посредника `$facade` открываются транзакции для текущих данных `startLogTransact()` и для архивных `startArchiveTransact()`;
- Далее, внутри транзакции в архив записываются полученные в заголовке цикла данные через метод `insertArchiveOldData()`;
- После, из текущей таблицы логов удаляются полученные ранее старые данные с помощью метода `deleteLogOldData()`;
- Производится увеличения счётчика архивируемых данных `$countData`;
- Транзакции отправляются в обратном порядке открытию, сначала архивная `commitArchiveTransact()`, а после текущая `commitLogTransact()`;
- В теле `catch` в случае возникновения ошибки выше происходит откат изменений в обратном порядке открытию транзакции, сначала архивная `rollBackArchiveTransact()`, а после текущая `rollBackLogTransact()` и в конце отловленная ошибка записывается в лог файл;
- После выхода из цикла `while` в лог записывается количество архивированных данных, полученное с помощью счётчика `$countData`.

В первую очередь приступим к созданию таблицы `stop_list` для предотвращения предоставления услуги веб-сервиса девиантным (нелояльным) пользователям. Таблица будет иметь структуру, указанную в таблице 3.

Таблица 3 – Структура таблицы stop_list БД service [сделано автором]

Колонка	Тип поля	Описание
abonent_id	Bigint	Идентификатор, полученный от оператора
till_date	timestamp	Дата конца блокировки предоставления услуг

Прежде чем предоставлять услугу пользователю, проверяем, находится ли он в таблице stop_list, если да, то отменяем предоставление [8,13].

Теперь перейдем к созданной ранее модели и реализованной через значения (баллы) в таблице states, показанной на рисунке 10.

	state_id [PK] serial	short_name character varying(2)	description character varying(255)	value real	is_enabled boolean
1	9	score	Скор ...	0.244	TRUE
*					

Рисунок 10 – Таблица states управляющим параметром (баллом) [сделано автором]

Скоринг – это вероятностное отношение, поэтому необходимо создать управляющий параметр – балл. Балл зависит от приходящих данных от оператора и меняется исходя от количества представленных там пользователей и данных в архивной базе. Управляющий параметр (score) имеет вероятностное значение, которое варьируется 0.1 до 0.9.

При реализации ежедневного плана на предоставление услуг (с помощью веб-сервисов), которое в свою очередь базируется на значениях предыдущих дней, используется данный параметр. К примеру, текущий скор со значение 0.244 является хорошим показателем, т.к. в нашем случае чем меньше значение сора (близко к 0.1), тем лучше. Для того, чтобы было удобно отслеживать эффективность введенной ИС было разработано два представления в компьютерной среде Kibana, которые представлены на рисунках 11 и 12.

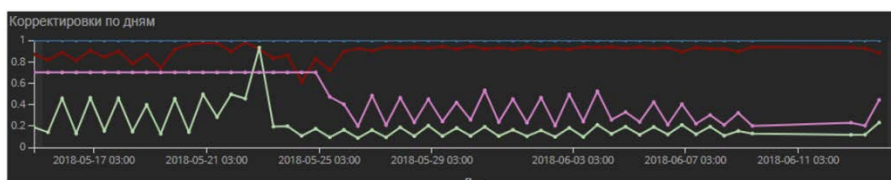


Рисунок 11 – Панель kibana с месячным отслеживанием управляющих параметров score [сделано автором]

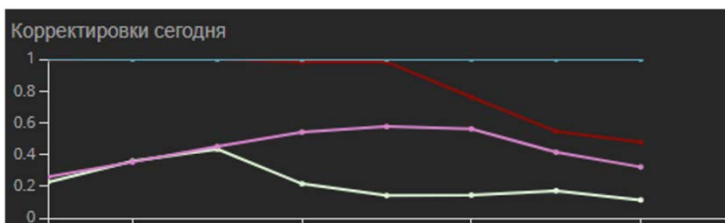


Рисунок 12 – Панель kibana с суточным отслеживанием управляющих параметров score [сделано автором]

На рисунках 11 и 12 представлены панели с графиками, по оси X – время, по оси Y – значение управляющего параметра. Розовая линия – линия изменений управляющего параметра скоринга, остальные определяют, сколько раз предоставить услугу, предоставляемую веб-сервисом (на рисунках показаны характеристики трех сервисов), в момент времени (в день – рисунок 11, в час – рисунок 12). Графики показывают, что наибольшее количество услуг веб-сервисов запрашивается в первую половину месяца, к концу месяца возможно повышение количества запросов. При суточном отслеживании наибольшее количество услуг веб-сервисов также запрашивается в первой половине дня, к концу рабочего дня количество запросов резко снижается. Линия изменений скорингового параметра соответствует характеру изменения спроса на предоставление веб-сервисов.

Выводы

Определены недочёты в системе хранения основной и вторичной информации базы данных логов интернет-пользователей и устранены путем добавления следующих архитектурных решений в области работы с веб-сервисами, предоставляющими различные данные и услуги: репликация, повысившая отказоустойчивость прикладного веб-сервиса; секционирование для уменьшения времени отклика и стабильности работы веб-сервиса.

Также на основании ранее определенных характеристик лояльного и нелояльного к предоставляемым услугам пользователя была создана информационная система по обработке этих показателей (логов пользователей) и добавлена в систему, определяющую количество предоставления услуг в сутки. Проведена оценка эффективности предлагаемых решений путем моделирования графиков зависимостей управляющего параметра от времени и числа предоставляемых услуг.

Литература

1. Аббасова Т.С. Совмещение управляющих и измерительных функций при интерактивном управлении телекоммуникационными системами // Информационно-технологический вестник. 2015. № 2(4). С. 14-39.
2. Аббасова Т.С. Принципы и средства оптимизации высокоскоростных телекоммуникационных каналов // Информационно-технологический вестник. 2014. № 2 (2). С. 10-17.
3. Акимкина Э.Э. Рекомендации по развертыванию многомерных систем аналитической обработки данных // Информационно-технологический вестник. 2017. № 5(11). С. 68-80. ISSN 2409-1650. (ВАК).
4. Акимкина Э.Э. Оптимизация обработки данных в системах поддержки принятия решений с элементами обслуживания // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 2 С. 79-85.
5. Акимкина Э.Э., Аббасов А.Э. Анализ инструментальных средств информационных систем для обработки многомерных данных // Информационно-технологический Вестник. 2016. № 2(08). С. 61-74.
6. Акимкина Э.Э., Аббасов А.Э. Анализ инструментальных средств информационных систем для обработки многомерных данных // Информационно-технологический Вестник. 2016. № 2(08). С. 61-74.

7. Артющенко В.М., Акимкина Э.Э. Имитационная модель адаптивной системы поддержки принятия решений // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2. С. 46-56. ISSN 1810-7206 (БАК).
8. Люк Веллинг. Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL / Люк Веллинг // М.: Вильямс. 2017. 768 с.
9. Масштабирование баз данных – партиционирование, репликация и шардинг [Электронный ресурс]. URL: https://web-creator.ru/articles/partitioning_replication_sharding (Дата обращения 27.05.2018).
10. Репликация данных [Электронный ресурс]. URL: <https://ruhighload.com/%D0%A0%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F+%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85> (Дата обращения 27.05.2018).
11. Партиционирование (partitioning) больших таблиц PostgreSQL [Электронный ресурс]. URL: <https://romantelychko.com/blog/520/> (Дата обращения 23.05.2018).
12. Секционирование [Электронный ресурс]. URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/9.6/ddl-partitioning> (Дата обращения 23.05.2018).
13. Дэвид Скляр PHP. Рецепты программирования // М.: Питер. 2015. 784 с.

УДК 004.05

Устройства вычислительной техники облачных систем управления и контроль их состояния

Т.С. Аббасова, кандидат технических наук, доцент,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проанализированы типовые устройства вычислительной техники для реализации облачных систем управления на основе оборудования центров обработки данных. Поставлена задача сформулировать виды контроля исследуемых устройств; найти расчетные соотношения для определения показателей, характеризующих виды контроля; а также определить средства технического мониторинга, контролирующее облачные системы управления. Проанализированы характеристики широко применяющегося в облачных системах управления сервиса резервного копирования и восстановления данных. Разработаны оценки для контроля параметров облачных систем управления.

Вычислительная инфраструктура, центр обработки данных, облачный сервис, резервное копирование и восстановление.

Computing devices of cloud-based control systems and their status monitoring

T.S. Abbasova, Ph.D., assistant professor,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Typical computing devices for implementing cloud-based control systems based on data center equipment are analyzed. The task is to formulate the types of control of the studied devices; find the calculated ratio to determine indicators characterizing the types of control; and identify technical monitoring tools that control cloud-based management systems. The characteristics of the backup and data recovery service widely used in cloud management systems are analyzed. Estimates have been developed to control the parameters of cloud-based management systems.

Computing infrastructure, data center, cloud service, backup and recovery.

Введение

Анализ развития вычислительной инфраструктуры [1...5] показывает, что в настоящее время в России на смену традиционным коммуникационным технологиям, характеризующимся размещением устройств вычислительной техники на собственных производственных площадках, приходят облачные технологии. В основе облачных технологий – конфигурируемые вычислительные ресурсы вычислительных устройств и сетей обработки и хранения данных, высокопроизво-

дительных серверов, которые, как правило, консолидируются в облачных центрах обработки данных (ЦОД). На базе таких ЦОД строятся облачные системы управления предоставлением информационных сервисов и перераспределением вычислительных ресурсов для различных предприятий и организаций. Один из самых востребованных информационных облачных сервисов – резервное копирование и данных. Функции облачных систем управления должны выполняться в режиме реального времени, поэтому актуальна разработка подходов к расчету и контролю показателей, обеспечивающих функционирование элементов и устройств вычислительной техники облачных систем управления.

Постановка задачи

Контроль показателей устройств вычислительной техники облачных систем управления на основе ЦОД является комплексной задачей, которая состоит из нескольких подзадач:

- контроль потребителей, подключенных к оборудованию облачных сервисов ЦОД;
- контроль времени обслуживания заявки по предоставлению облачного сервиса;
- контроль доступности облачных сервисов ЦОД для информационных систем потребителей;
- контроль резервирования данных в ЦОД с помощью оборудования и сервисов резервного копирования;
- контроль оборудования и средств вычислительной техники аттестованных ЦОД, информационных систем и облачных сервисов.

Необходимо найти расчетные соотношения для определения показателей, характеризующих перечисленные виды контроля, а также средства технического мониторинга, контролирующие облачные системы управления.

Результаты исследования

В России в настоящее время наиболее востребованы концептуально более простые облачные инфраструктуры IaaS (от англ. Infrastructure as a Service – инфраструктура как услуга) и SaaS (от англ. Software as a service – программное обеспечение как услуга) [1]. Также активно внедряются следующие облачные инфраструктуры: PaaS (от англ. Platform as a service – платформа как сервис); CaaS (от англ. container as a service – контейнеры как сервис). Сервис PaaS организует доступ к платформам баз данных, средствам визуализации, инструментам для разработчиков, сервисам мониторинга, безопасности и пр. Сервис CaaS реализует изолированную и переносимую среду выполнения приложений или процессов, которые поставляются вместе со всеми необходимыми компонентами и файлами конфигурации. Контейнер содержит все нужные для работы приложения, он не имеет свою операционную систему, поэтому его можно легко конвертировать в разные операционные среды.

Неотъемлемой частью процесса управления бизнес-операциями является аварийное восстановление элементов вычислительной инфраструктуры, или Disaster Recovery (DR) [6]. Это понятие охватывает набор правил, инструментов и процедур, позволяющих обеспечить продолжение функционирования и восстановление работы критически важных технологических инфраструктур и систем в случае природного или рукотворного инцидента или катастрофы.

Как правило, DR фокусируется на информационных технологиях управления и сопутствующих критических системах. Выбор технических решений DR определяется двумя основными параметрами: RTO (Recovery Time Objective) – время восстановления работоспособности ИТ-системы; RPO (Recovery Point Objective) – время, за которое возможна потеря данных. Допустимые значения RPO и RTO определяются в процессе планирования непрерывности процессов с учетом целевого времени восстановления конкретных процессов (и соответственно поддерживающих их ИТ-сервисов). В пятерку основных причин, приводящих к инициации планов резервного восстановления данных, вошли нарушения работы коммуникационной инфраструктуры, как показано на гистограмме рисунке 1.



Рисунок 1 – Статистика основных причин резервного восстановления данных, % [составлено автором]

Если говорить об ИТ-объектах, критичных для обеспечения Disaster Recovery, то основные – это ЦОДы, в которых сегодня сосредоточены ИТ-ресурсы и активы подавляющего большинства компаний и организаций. Типовые схемы аварийного восстановления данных с помощью ЦОД приведены на рисунке 2.

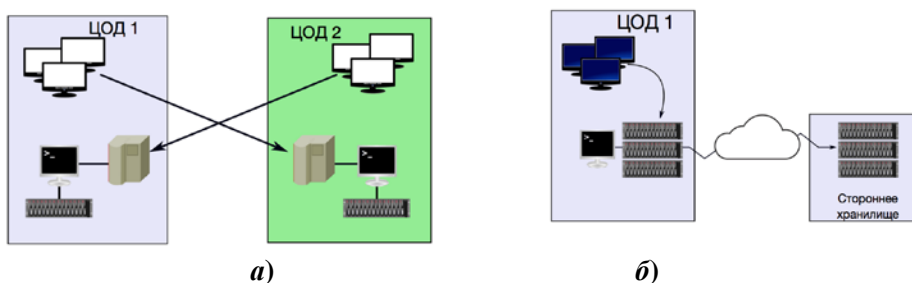


Рисунок 2 – Схемы копирования для резервного восстановления данных:
 а – перекрестное резервное копирование с использованием нескольких ЦОД;
 б – использование хранилища облачных сервисов

С помощью круговой диаграммы рисунка 3 проанализированы причины отказа ЦОДов.

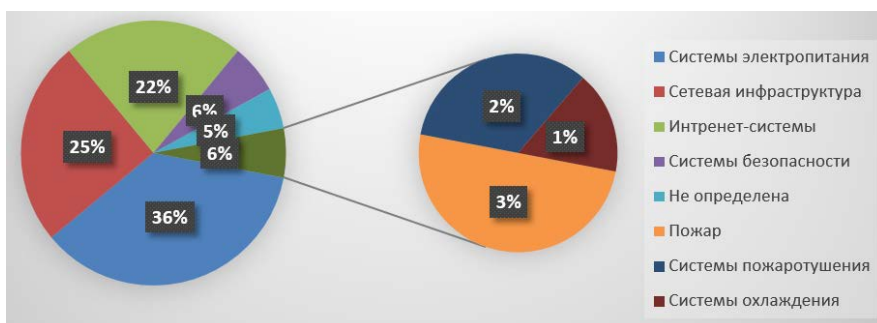


Рисунок 3 – Статистика причин отказов центров обработки данных, % [составлено автором]

По данным Uptime Institute, примерно в половине случаев к отказам приводят неполадки в работе сетевой инфраструктуры (25%) или ИТ-систем (22%). В базе данных Uptime Institute, которая использовалась для упомянутого выше исследования, присутствуют и корпоративные, и коммерческие ЦОДы. Однако в целом уровень надежности и отказоустойчивости инфраструктуры коммерческих ЦОДов выше, особенно если сравнивать их с подавляющим большинством корпоративных дата-центров (а не единичными ЦОДами крупнейших международных корпораций и банков).

Интересен анализ причин простоев не только по различным системам, но и по различным процедурам. В большинстве случаев простой ЦОДа связан не с браком или выработкой оборудованием своего ресурса, а с негативным влиянием человеческого фактора: недостатками обслуживания, ошибками при проектировании, проведении монтажных работ и пр. В рейтинге причин отказов, составленном iKS-Consulting на основании проведенного опроса, именно эти причины вошли в первую тройку.

Величина ущерба от простоя ИТ-систем, конечно, зависит от специфики деятельности компании и от того, насколько критическую роль играют для ее бизнеса ИТ-сервисы [7...9]. На первое место по величине такого ущерба аналитики Ponemon Institute ставят компании, оказывающие финансовые сервисы, на второе – коммуникационные сервисы, на третье – медицинские организации.

Согласно собранной Ponemon Institute статистике, среднее время полного незапланированного простоя в прошедшем году составило более 2 ч (130 мин). Соответственно средние убытки от часа простоя составили 34780,5 тыс. руб., а максимальные – около 67792,5 тыс. руб.

Результаты исследования iKS-Consulting приведены на гистограмме рисунка 4. Они показывают, что примерно для 30% компаний, работающих в России, простой ИТ-системы не превышает 1 ч в месяц, еще для 23,5% этот показатель может находиться в диапазоне 2-5 ч, но не более.

Традиционные подходы к обеспечению Disaster Recovery предполагают наличие резервного ЦОДа с реализацией одного из трех вариантов резервирования: «холодного», «теплого» или «горячего». «Холодное» резервирование предполагает наличие резервной площадки (серверного помещения или ЦОДа), оснащенной необходимыми инженерными системами, где можно оперативно развернуть ИТ-оборудование для запуска резервной системы. Часть такого оборудова-

ния может храниться на складе, часть – закупаться или арендоваться по мере необходимости. Как правило, каналы передачи данных в «холодный» ЦОД должны быть заведены заранее, но активация телекоммуникационных сервисов производится только после принятия решения о его запуске. Время запуска такого ЦОДа (другими словами, значение RTO процедуры Disaster Recovery) достигает, как правило, нескольких недель.

В случае «теплого» резервирования альтернативная площадка оснащается всем необходимым ИТ-оборудованием, каналы подключения к интернету и корпоративной WAN-сети находятся в активном состоянии. На «теплой» площадке должна присутствовать актуальная резервная копия данных: актуальность данных может поддерживаться путем физической перевозки резервных копий на лентах или организацией бэкапа (backup софу – создание копии файлов) по сети передачи данных из основного дата-центра. Типовое значение RTO для процедуры Disaster Recovery при «теплом» резервировании составляет несколько дней.

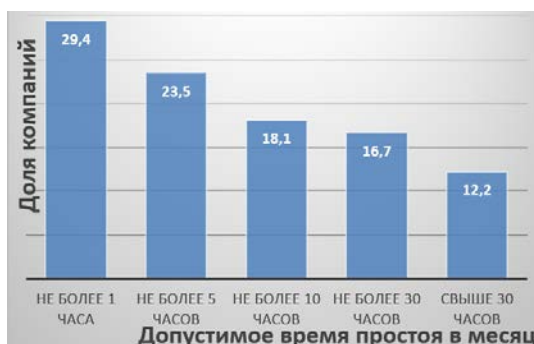


Рисунок 4 – Доля компаний России, для которых допустимо указанное время простоя центра обработки данных в месяц, % [составлено автором]

При «горячем» резервировании альтернативная площадка должна представлять собой полное «зеркало» основного ЦОДа. При работе по схеме «active – active» данные в ЦОДах синхронно обновляются, а в менее дорогостоящей схеме «active – passive» осуществляется асинхронная репликация. Помимо собственно данных, используемых приложениями, между площадками должны постоянно синхронизироваться настройки ИТ-оборудования, версии ОС, обновления системы защиты и пр. При наличии «горячего» резервного ЦОДа значение RTO может ограничиваться секундами, минутами, максимум часами, а при задействовании определенных технологий – даже стремиться к нулю. Но из трех перечисленных вариантов резервирования этот вариант – самый дорогостоящий в реализации и обслуживании.

В каждом из трех вариантов необходимо держать в резерве удаленную площадку с определенным набором оборудования, что само по себе стоит дорого, особенно если компания решает сама строить и обслуживать такую площадку (а не использует услуги colocation).

В случаях с «теплым» и «горячим» резервированием предполагается наличие дорогостоящего ИТ-оборудования (стоимость которого может на порядок превышать стоимость инженерных систем ЦОДа), которое будет простаивать в

ожидании катастрофы. Неудивительно, что до недавнего времени системы Disaster Recovery могли себе позволить только очень крупные и богатые организации, как правило, из финансового сектора. С появлением и распространением технологий виртуализации, а особенно с появлением услуг облачного резервного копирования и восстановления данных (рисунок 2 б) использование схем Disaster Recovery становится доступным все более широкому кругу заказчиков.

Преимущества облачной модели BaaS/DRaaS заключаются в следующем. Модель DRaaS предполагает, что сервис-провайдер берет на себя всю работу по обеспечению восстановления функционирования ИТ-приложений и сервисов заказчика в случае аварии его основного ЦОДа, т.е. заказчику не надо заботиться об организации и оборудовании резервной ИТ-площадки (и тратить немалые средства). В качестве такой площадки будет задействоваться коммерческий ЦОД, принадлежащий самому провайдеру или используемый им.

Для реализации схемы Disaster Recovery заказчик может прибегнуть и к менее дорогой услуге BaaS (Backup as a Service), которая обеспечивает резервное копирование (бэкап) данных в облако. Эти данные будут использованы в случае аварии или катастрофы на основном сайте.

Преимущества услуг облачного резервного копирования и восстановления данных во многом определяются общими преимуществами облачной модели.

Для оценки параметров устройств вычислительной техники, реализующих информационные сервисы облачных систем управления, предлагается внести следующие оценки.

1) Доля потребителей, подключенных к облачным сервисам ЦОД

$$D_{\text{потр серв}} = N_{\text{подкл}} \cdot 100 / N_c, \quad (1)$$

где $D_{\text{потр серв}}$ – доля потребителей, подключенных к сервисам BaaS, DRaaS ЦОД; $N_{\text{подкл}}$ – количество потребителей (организаций), которым оказана услуга резервирования или восстановления; N_c – всего потребителей.

2) Время обслуживания заявки по предоставлению облачного сервиса.

Временем обслуживания заявки называется период времени, в течение которого ЦОД осуществляет поддержку облачного сервиса, предоставленного по заявке, обеспечивая непрерывное функционирование заявленного сервиса. Время обслуживания каждой заявки влияет на оперативность обработки заявок. Единицами измерения времени обслуживания являются: количество дней или доли суток, количество часов в день или доли календарной недели. Для функционирования облачного сервиса 5 дней в неделю по рабочим дням по 8 часов в день время обслуживания сервиса запишется как 8×5 .

3) Доступность облачных сервисов ЦОД для информационных систем потребителей

$$D = \sum D_i / N_{\text{ИС}}, \quad (2)$$

где D – средняя доступность облачных сервисов ЦОД, %; $N_{\text{ИС}}$ – количество обслуживаемых информационных систем; D_i – доступность i -той системы, %, рассчитываемая по формуле:

$$D_i = ((t_{\text{предост } i} - t_{\text{недост } i}) \cdot 100) / t_{\text{предост } i}, \quad (3)$$

где $t_{\text{предост } i}$ – общее время предоставления облачного сервиса для i -той информационной системы; $t_{\text{недост } i}$ – общее время недоступности сервиса к i -той информационной системе.

Таким образом, доступность облачных сервисов ЦОД заключается в определении доли согласованного времени обслуживания, измеряемой в процентах, и показывает время доступности сервиса.

4) Эффективность резервирования данных в ЦОД с помощью оборудования и сервисов резервного копирования

$$P = \sum P_i / N_{ИС}, \quad (4)$$

где P – средняя эффективность резервирования данных информационных систем с помощью ЦОД, %; $N_{ИС}$ – количество обслуживаемых информационных систем; P_i – эффективность резервирования данных i -той информационной системы, %, рассчитываемая по формуле:

$$P_i = ((t_{рез\ i} - t_{нед\ рез\ i}) \cdot 100) / t_{рез\ i}, \quad (5)$$

$t_{рез\ i}$ – общее время предоставления сервиса резервирования и восстановления данных для i -той информационной системы; $t_{нед\ рез\ i}$ – общее время недоступности сервиса резервирования.

5) Доля аттестованных ЦОД, информационных систем и облачных сервисов:

$$D_{атт} = N_{атт} \cdot 100 / N, \quad (6)$$

где $D_{атт}$ – доля аттестованных ЦОД, информационных систем и облачных сервисов; $N_{атт}$ – количество аттестованных ЦОД, информационных систем и сервисов; N – общее количество ЦОД, информационных систем и сервисов, подлежащих аттестации.

Таким образом, для контроля показателей устройств вычислительной техники облачных систем управления на основе ЦОД рекомендованы соотношения (1-6).

Средства технического мониторинга, контролирующие облачные системы управления, – интеллектуальные программные агенты, учитывающие виртуальный характер объектов мониторинга и разделения средств вычислительной техники на виртуальные и реальные средства.

Выводы

Разработаны аналитические соотношения для контроля показателей устройств вычислительной техники облачных систем управления на основе центров обработки данных. Введенные оценки целесообразно применить в новых редакциях профильных национальных стандартов.

Литература

1. Артюшенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова // Москва. 2019. 232 с.
2. Семенов А.Б., Былина М.С. Техническая эффективность параллельных многомодовых оптических кабельных трактов категории OM5 для ЦОД // Информационно-технологический вестник. 2017. № 14(4). С. 91-101.
3. Барсков А. Куда плывут облака. ИКС-медиа [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iksmedia.ru/articles/5504954-Kuda-plyvut-oblaka.html> (дата обращения 18.12.2019).
4. Аббасова Т.С. Задачи оптимизации инфокоммуникационных систем // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3 (17). С. 55-65.

5. Аббасова Т.С. Принципы и средства оптимизации высокоскоростных телекоммуникационных каналов // Информационно-технологический вестник. 2014. № 2 (2). С. 10-17.
6. Аббасова Т.С., Стреналюк Ю.В., Васильев Н.А. Обеспечение эффективного функционирования систем управления кабельной инфраструктурой // В сборнике: Исследования в области теоретических основ информатики и системного анализа // Под научной редакцией д.т.н., проф. В.М. Артюшенко // Королев. 2014. С. 5-24.
7. Аббасова Т.С. Совмещение управляющих и измерительных функций при интерактивном управлении телекоммуникационными системами // Информационно-технологический вестник. 2015. № 2(4). С. 14-39.
8. Аббасова Т.С., Аббасов Э.М., Нгуен К.Т. Разработка компьютерных моделей для исследования характеристик и оптимизации телеметрических систем мониторинга и управления // Информационно-технологический вестник. 2017. № 4 (14). С. 47-61.
9. Аббасова Т.С. Оптимизация и стандартизация оптической среды взаимодействия вычислительных комплексов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2017. № 1. С. 86-99.

УДК 004.04

Методика расчета параметров адаптивных систем поддержки принятия решений с элементами обслуживания

Э.Э. Акимкина, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проанализированы компьютерные средства для реализации адаптивной системы поддержки принятия решений; показано, что в качестве основных элементов обслуживания используются контролируемые серверы, в качестве основных инструментов обработки информации – запросы. Сформулирована целевая функция адаптивной системы поддержки принятия решений, направленная на максимизацию количества обрабатываемых в единицу времени запросов при различных меняющихся внешних и внутренних воздействиях. Методика расчета параметров исследуемой системы строится на основе предложенной математической модели.

Дискретная событийная система, имитационное моделирование, информационные ресурсы.

Methodology for calculating the parameters of adaptive decision support systems with service elements

E.E. Akimkina, graduate student

State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Computer tools are analyzed for implementing an adaptive decision support system; It is shown that controlled servers are used as the main service elements, and requests are used as the main information processing tools. The objective function of the adaptive decision support system is formulated, aimed at maximizing the number of requests processed per unit time under various changing external and internal influences. The methodology for calculating the parameters of the studied system is based on the proposed mathematical model.

Discrete event system, simulation, information resources.

Введение

Интерес к системам поддержки принятия решений (СППР) для анализа больших данных проявляют все ведущие компании в области ИТ, так как они постоянно работают с огромными объемами информации; использование феномена больших данных позволяет данным компаниям динамично развиваться в бизнесе и искать новые рынки сбыта своих разработок и услуг. Однако современные СППР не способны оперативно и эффективно решать поставленные перед ними

задачи в условиях постоянно изменяющейся внешней обстановки [1,2]. За счет адаптации СППР к изменяющимся условиям путем изменения внутренней структуры и базы данных, которая обычно организована в виде многомерного хранилища данных (МХД), повысится эффективность ее использования.

Вопросам разработки инструментальных средств для поддержки принятия решений и повышению их эффективности посвящено множество как теоретических, так и прикладных исследований зарубежных ученых: Кодд Э.Ф. [3], Кимбалл Р. [4], Росс М., Ульман Дж., Хопкрофт Д. [5], Кох К. [6], Бенедикт М., Либкин Л. [7]; и российских ученых: Орешков В.И. и Паклин Н.Б. [8]. Не решены задачи исследования методов представления, хранения и последующей обработки данных с учетом их многомерной структуры и адаптивности системы обработки.

Результаты исследования

Согласно International Data Corporation (IDC) – компании, занимающейся аналитикой в различных областях ИТ-индустрии, рост данных во всемирной сети Интернет, интерес к Интернет-вещей, подключение к Интернет все большего числа абонентов приведут к увеличению доходов компаний, использующих Big Data, от ста тридцати миллиардов долларов к более чем двухсот миллиардов долларов в 2020 году.

Известно, что в накопленных больших данных для предприятий может содержаться много полезной информации о конкурентах, о клиентах, о рамках сбыта. Однако, компании, желающие использовать Big Data, сталкиваются с различными проблемами, что задерживает использование этой новой технологии в настоящее время: слабые процессорные мощности; старая инфраструктура ИТ; нехватка финансовых ресурсов; условия безопасности.

Для обработки больших объемов данных предназначены традиционные системы управления базами данных и альтернативные им горизонтально масштабируемые программные инструменты, решения класса Business Intelligence, а также многомерные хранилища данных (МХД). Основными инструментами обработки данных являются сортировка, фильтр и запрос. При обработке больших данных также используются XML-преобразования, веб-сервисы, спецификации JDBC (товарный знак) и JMS (от англ. Java Message Service – Служба сообщений Java). Большое влияние на производительность систем с большими данными оказывает время обработки запросов, которые имеют сложный нерегламентированный характер. МХД и многомерные кубы данных лучше справляются с обработкой сложных нерегламентированных запросов.

Существует множество предостережений, связанных с загрузкой данных в куб, например, что делать с отклоненными запросами и как обрабатывать повторяющиеся имена элементов массива данных. Важно иметь хорошую стратегию для решения таких ситуаций, когда мы собираемся создавать кубы. Стратегия может варьироваться от куба до куба, потому что с некоторыми кубами работы может быть не так много, если записи отклоняются, но для других кубов это может быть критическое событие.

После загрузки данных в куб OLAP необходимо собрать его на более высоком уровне. Чтобы сделать это, мы должны запустить шаг «вычисления». Обратите внимание, что мы не ограничиваемся только агрегированием (т.е. свертыванием) данных, мы можем также иметь сложные формулы расчета для членов дан-

ных. Промышленным стандартом для написания этих типов вычислений является многомерные выражения, которые являются языком запросов для баз данных OLAP. Это похоже на SQL во многих отношениях, но это своего рода сдвиг парадигмы, потому что мы должны думать немного по-другому при работе с ними, потому что мы работаем во многих измерениях, а не только в двух.

Сценарии расчета многомерных выражений также могут выполнять другие функции, такие как распределение корректировки показателей по нескольким изделиям за определенный период времени. Например, предположим, что необходимо осуществить корректировку ресурсного обеспечения для производства определенного вида изделия на 600000 рублей. Эта сумма в рублях должна быть распределена в 2018 финансовом году, в первом квартале. Сценарий многомерных выражений может принимать различные значения и «распространять» его до самых нижних уровней в каждом измерении, так что каждый продукт (изделие) будет содержать часть корректировки. Эти типы корректировок довольно распространены в кубах.

Расчеты многомерных выражений также позволяют выполнять простые вычисления, такие как создание формулы для добавления двух значений вместе и вычитания другого значения. Расчеты можно выполнить самостоятельно в правиле загрузки с использованием выражения SQL, или можно позволить кубу вычислить его без участия пользователя. Если выполняются вычисления в выражении SQL, то вычисленные значения агрегируются, что может привести к потере точности, поскольку эти вычисленные значения агрегируются на более высокие уровни. Поэтому, как правило, лучше использовать стратегии загрузки исходных значений и вычисления в самом кубе.

В СППР запросы используются как основные инструменты обработки информации. Элементом обслуживания (ЭО) запросов является контролируемый сервер, с которого собираются данные МХД. Эти данные используются при подготовке отчетов по результатам сбора и анализа системных данных [9...11]. Если ресурсы или производительность контролируемого сервера недостаточны, то хранилище данных в адаптивной СППР можно установить на другом компьютере/компьютерах (второй и третий ЭО) [12].

На рисунке 1 приведена классификация компьютерных средств, которые используются в адаптивной СППР.

Адаптивная база знаний					Адаптивные средства программно-аппаратной поддержки					Адаптивный интерфейс		
знания	интерактивная электронная документация	интерактивная производственно-технологическая информация	интерактивные инструкции, правила, процедуры	личный опыт и знания сотрудников	рабочие станции (персональные компьютеры)	элементы обслуживания (серверы)	многомерные хранилища данных	системные и прикладные (пользовательские) программы	устройства компьютера/сервера	управляющий персонал	интерфейсное оборудование для связи рабочих станций и удаленного управления	адаптивное пользовательское меню

Рисунок 1 – Инструментальные средства компьютерной адаптивной системы поддержки принятия решений [сделано автором]

Для визуализации знаний применяются продукционные языки представления знаний, семантические сети, фреймы. Рабочие станции обычно реализуются в виде персональных компьютеров.

Для построения методики расчета параметров адаптивных систем поддержки принятия решений с ЭО необходимо определиться с математической постановкой задачи. Выбор среди существующих моделей, дальнейшая проработка и эффективное использование математической модели СППР осуществляется в соответствии с выбранным критерием оптимизации, учитывающим условия эксплуатации системы и инструментальные средства, с помощью которых она реализована. В [13] описаны различные процедуры отбора и оценки моделей. Обычно процедура выбора математической модели осуществляется с помощью формирования функции предпочтения. При формировании функции предпочтения необходимо учесть, что в СППР важными инструментальными средствами являются запросы на обработку данных.

Математическая постановка задачи формулируется следующим образом: найти максимальную эффективность использования информационного ресурса адаптивной СППР в условиях ее нормального функционирования путём разработки имитационных моделей СППР, алгоритмов, методов и средств решения проблемы интеграции и качества данных различных поставщиков информационных ресурсов.

Целевая функция адаптивной СППР с ЭО как дискретной событийной системы массового обслуживания [15] отражает эффективность использования СППР (количество обрабатываемых в единицу времени запросов):

$$M = f(A, k_{ЭО}, B, C; D) \rightarrow \max \quad (1)$$

где A – вероятность использования ЭО при различной нагрузке, $k_{ЭО}$ – коэффициент использования ЭО при различной нагрузке, B – вероятность отказа в обслуживании ЭО, C – среднее количество запросов в системе.

Автором выделены ограничения на количество резервных ЭО [12].

Имитационная модель адаптивной системы поддержки принятия решений для проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров обслуживания запросов, построенная по выбранной целевой функции, показывает, как число элементов обслуживания увеличивается / уменьшается в зависимости от интенсивности данного потока.

На рисунках 2, 3, 4, 5 представлены графоаналитические зависимости исследуемых в математической модели параметров, полученные с помощью имитационной модели СППР и аналитических зависимостей из [12]. На рисунках 2, 3, 4, 5 обозначены: **точки 1** – система без очередей М/М/3; **точки 2** – адаптивная система; **точки 3** – система с практически бесконечной очередью М/М/1/100.

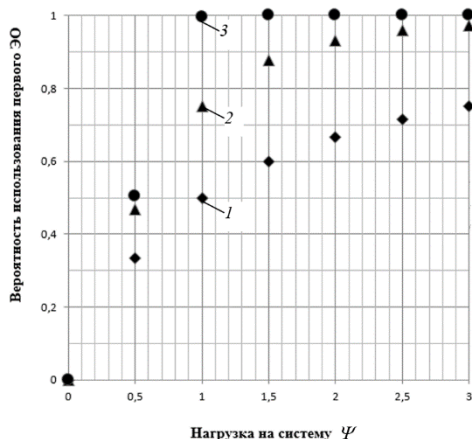


Рисунок 2 – Зависимости вероятности использования A первого ЭО при различной нагрузке [сделано автором]

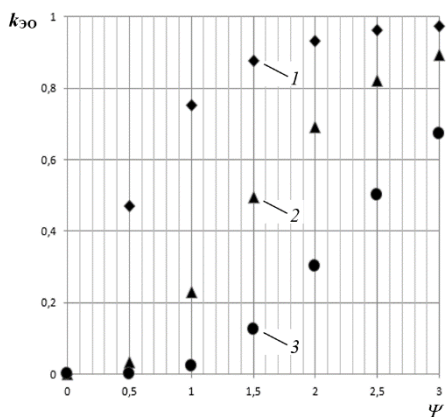


Рисунок 3 – Коэффициенты использования $k_{ЭО}$ при различной нагрузке на систему [сделано автором]

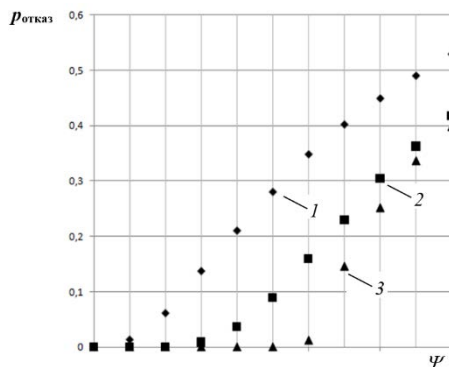


Рисунок 4 – Вероятности отказа в обслуживании B [сделано автором]

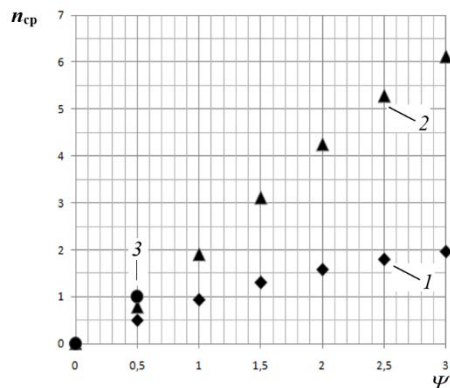


Рисунок 5 – Среднее количество запросов в системе С [сделано автором]

По результатам аналитического моделирования [12] и проведенных имитационных экспериментов сформулирована методика расчета параметров адаптивных систем поддержки принятия решений с элементами обслуживания.

1) Расчет коэффициента использования ЭО при учете максимально возможного их числа.

2) Построение зависимости вероятности использования первого ЭО при различной нагрузке.

3) Построение зависимости коэффициента использования ЭО от различной нагрузки на систему.

4) Построение зависимости вероятности отказа в обслуживании запроса от различной нагрузки на систему.

5) Построение зависимости среднего количества запросов в системе от различной нагрузки на систему.

6) Анализ полученных результатов расчета параметров адаптивной СППР.

На основании полученных графоаналитических зависимостей проведен анализ и сформулированы выводы:

- адаптивная система функционирует в оптимальном режиме, не допуская ни чрезмерных простоев в работе, ни работы в авральном режиме, следовательно, количество обрабатываемых запросов увеличивается;

- резервные ЭО включаются последовательно при повышении нагрузки на адаптивную СППР;

- вероятность отказа в обслуживании при небольших нагрузках на систему незначительна, при увеличении нагрузки на систему значительно меньше, чем для системы без очередей;

- среднее количество обслуживаемых запросов в адаптивной системе выше всего, следовательно, для увеличения эффективности использования СППР (количества обрабатываемых в единицу времени запросов) целесообразно использовать адаптивную СППР.

Полученные в результате имитационных экспериментов результаты оказались близкими к результатам теоретических расчетов [12]. Следовательно, адаптивные СППР функционируют более эффективно по сравнению с неадаптивными.

Реализация инструментов и механизмов управления СППР в едином информационно-аналитическом комплексе, включающем информационно-моделирующие системы, обеспечивает расширение функциональности, дополнительную аналитическую поддержку СППР и быстродействие процессов обработки информации. Важную роль в СППР в условиях слабо структурированных и неструктурированных задач играет имитационное моделирование.

Выводы

Сформулирована методика расчета параметров адаптивных систем поддержки принятия решений с элементами обслуживания, реализованными в виде контролируемых серверов. Методика заключается в определении зависимостей вероятности использования элементов обслуживания, коэффициента использования элемента обслуживания, вероятности отказа в обслуживании запроса, среднего количества запросов от различной нагрузки на систему.

Разработанные графоаналитические соотношения позволяют определить выигрыш от использования адаптивной системы поддержки принятия решений, который заключается в увеличении количества обрабатываемых запросов и уменьшении простоев в работе.

Литература

1. Артюшенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова. Москва. 2019. 232 с.
2. Аббасова Т.С. Задачи оптимизации инфокоммуникационных систем // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3 (17). С. 55-65.
3. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling Third Edition // Published by John Wiley & Sons. Inc. Indianapolis. Indiana. Published simultaneously in Canada. 2013. 564 с.
4. Codd E.F., Codd S.B., Salley C.T. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts // An IT mandate. Technical report. 1993. 230 p.
5. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Структуры данных и алгоритмы // М.: Вильямс. 2001. 384 с.
6. Gottlob G., Koch C. Logic-based Web Information Extraction // SIGMOD Record. Vol. 33. No. 2. June 2004. Pp 87-94.
7. Benedikt M., Libkin L., Neven F. Logical definability and query languages over ranked and unranked trees // ACM Transactions on Computational Logic (TOCL). 8(2) (2007). 1-62.
8. Орешков В.И., Паклин Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям // Учебное пособие. 2-е издание Издательство: Питер. 2013. 704 с.
9. Акимкина Э.Э., Аббасов А.Э. Анализ инструментальных средств информационных систем для обработки многомерных данных // Информационно-технологический Вестник. 2016. № 2(08). С. 61-74.
10. Акимкина Э.Э. Структуризация и визуализация показателей в многомерных кубах данных // Информационно-технологический Вестник. 2018. № 4 (18). С. 79-87.
11. Акимкина Э.Э., Аббасова Т.С., Аббасов Э.М. Архитектура системы поддержки принятия решений в задачах оперативного анализа данных / В сборнике: Фун-

даментальные и прикладные научные исследования / сборник статей Международной научно-практической конференции. 2016. С. 6-10.

12. Артюшенко В.М., Акимкина Э.Э. Имитационная модель адаптивной системы поддержки принятия решений // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2. С. 46-56.
13. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении // М.: Финансы и статистика. 2003. 368 с.
14. Овсянников Е.К., Мозгирев Б.Т. К вопросу о выборе математических моделей для систем поддержки принятия решений // Труды СПИИРАН. 2004. Вып. 2. Т. 1. С. 36-46.
15. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания // М.: Книга по требованию. 2013. 429 с.

УДК 621.7.068

Усовершенствование системы регулирования аппарата укладки проволоки стана тонкого волочения

А.В. Белый, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Автоматизации и электроснабжения, Национальный исследовательский Московский Государственный строительный университет, г. Москва

В статье приводится описание разработки усовершенствованной системы регулирования аппарата укладки проволоки на стане тонкого волочения. Модернизация системы регулирования направлена на устранение недопустимого режима работы стана, когда намотка проволоки на катушку осуществляется без ее равномерной укладки, вследствие выхода из строя механизма реверсирования укладчика. Разработана функциональная схема системы защиты от останковки укладчика в процессе намотки проволоки на катушку. Реализация данной схемы выполнена на базе существующих систем регулирования преобразователей частоты в электроприводах аппаратов намотки и укладки. Приведено описание работы защиты от останковки укладчика.

Система регулирования, электропривод, волочильные станы, намоточный аппарат, аппарат укладки, преобразователи частоты, функциональные блоки.

Improving the control system of the wire laying unit of the thin drawing mill

A. V. Beli, assistant professor, Department of Automation and Power Supply, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

The article describes the development of an improved system for regulating the apparatus for laying wire on a thin drawing mill. The modernization of the control system is aimed at eliminating the unacceptable mode of operation of the mill, when the wire is wound on a coil without evenly stacking it, due to failure of the stacker reversal mechanism. A functional diagram of the stacker stop protection system was developed during the process of winding wire onto a spool. The implementation of this scheme is based on existing systems for regulating frequency converters in electric drives of winding and stacking machines. The description of the operation of the protection against stopping the stacker is given.

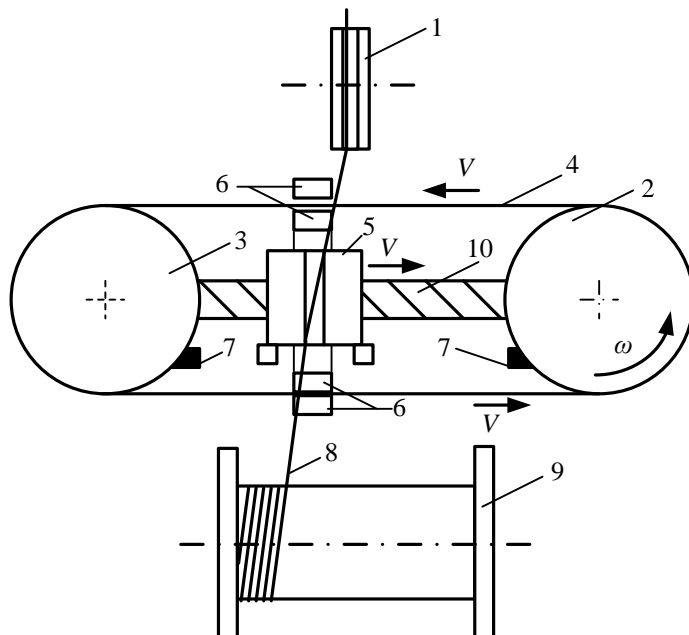
Regulation system, electric drive, drawing mills, winding units, stacking units, frequency converters, functional blocks.

Объектом усовершенствования является волочильный стан марки ВСС-21/45 предприятия «Уралкорд» г. Магнитогорск, предназначенный для получения финишного диаметра проволоки. К таким станам предъявляются повышенные требования к качеству продукции. Кроме того важным фактором является качест-

во укладки проволоки, наматываемой на катушку. За процесс равномерной укладки проволоки отвечает соответствующий аппарат. Укладочные аппараты работают совместно с намоточными аппаратами и бывают разных конструкций [2]. В некоторых конструкциях данные аппараты связаны механически, в других случаях каждый механизм оборудуется отдельным электроприводом [3]. Укладочный аппарат в процессе работы совершает возвратно поступательное движение, поэтому должен быть обеспечен быстрый реверс скорости укладчика [2-4]. Даже при индивидуальном приводе механизмов намотки и укладки проволоки реверс укладчика чаще всего осуществляется механически. На станах марки ВСС-21/45 применяется индивидуальный привод для аппаратов намотки и укладки с электромеханическим механизмом реверса. В процессе их эксплуатации наблюдались частые остановки укладчика, связанные с неисправностями механизма реверса. Система управления электроприводами стана не «чувствовала» этого, и намотка проволоки на катушку продолжалась без ее укладки. В ведении оператора находилось сразу несколько станов и, он не всегда успевал вовремя заметить возникновение данной ситуации, что приводило к браку по качеству намотки. Возникновение указанной ситуации потребовало усовершенствования системы управления станом. Было принято решение разработать защиту от остановки укладчика на базе существующих систем управления электроприводами. Кроме электроприводов механизмов намотки и укладки стан оснащен главным электроприводом волочения проволоки. Все электроприводы выполнены на базе асинхронных двигателей с преобразователями частоты. Система регулирования стана выполнена на базе трех локальных систем регулирования в преобразователях частоты без использования промышленного контроллера. В преобразователе частоты механизма намотки марки LENZE9300VECTOR имеется ограниченный набор свободных функциональных блоков, которые были использованы для реализации системы защиты от остановки укладчика [5]. Среди них различные блоки: задержки сигналов, триггеров, логических элементов и др.

Функциональная схема механизма реверсирования укладчика представлена на рисунке 1.

Проволока (8) направляется с направляющего ролика (1) через укладчик (5) на катушку (8), которая вращаясь, осуществляет намотку проволоки. Укладчик, совершая возвратно-поступательное движение должен равномерно уложить проволоку по объему катушки. Реверс укладчика осуществляется путем включения и выключения электромагнитов. С электромагнитами связаны губки (6), которые при срабатывании одного из электромагнитов, «схватывают» ремень (4), который увлекает за собой укладчик (5) по направляющей (10), две другие пары губок при этом размыкаются. Ремень надет на два шкива (2 и 3), один из которых является приводным (2). Привод шкива осуществляется от асинхронного двигателя с преобразователем частоты. Скорость вращения приводного шкива синхронизирована со скоростью волочения. Поочередное срабатывание электромагнитов осуществляется по сигналам с датчиков приближения (7), которые называются датчиками переключения направления хода.



1 – направляющий ролик; 2 – приводной шкив; 3 – не приводной шкив; 4 – ремень; 5 – укладчик; 6 – губки электромагнитов; 7 – датчики приближения; 8 – проволока; 9 – катушка; 10 – направляющая укладчика

Рисунок 1 – Функциональная схема механизма реверсирования укладчика

Функциональная схема системы защиты от остановки укладчика приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Функциональная схема системы защиты от остановки укладчика

В данной схеме используются условные обозначения свободных функциональных блоков преобразователя частоты марки LENZE9300VECTOR, на базе которого реализована указанная защита.

Критерием нормальной работы укладчика является наличие импульсов от датчика переключения направления хода [1], т.е. если при работе стана в течение заданного времени (в данном случае 20 секунд) на вход E2 привода намотки не поступит импульсный сигнал с указанного датчика, на выходе A4 на некоторое время (в данном случае 5 секунд) установится сигнал (логический ноль), вызывающий остановку волоочильного стана. Через 5 секунд стан снова готов к включению.

Если привод намотки готов к работе, т.е. нет внутренней ошибки (DCTRL_TRIP=0), цифровой выход A1, сконфигурированный как инверсный, устанавливается в логическую единицу (на выходе +24В). Катушка реле готовности приводов получает питание.

В исходном состоянии, пока не нажата кнопка «пуск стана», на цифровых входах привода намотки E1 и E2 установлены логические нули (далее просто нули или единицы). На выходе элемента 2И (AND) – ноль, выход формирователя TRANS2 – ноль, на выходе A4 (сконфигурирован как инверсный) – единица, которая поступает на цифровой вход привода укладчика E2. Вследствие этого контакт релейного выхода привода укладчика (K11-K12) замкнут, пусковая схема стана собрана.

Отдельно следует остановиться на работе формирователей импульса. В набор функциональных блоков привода намотки входят только два готовых формирователя импульсов заданной длины (TRANS1, TRANS2), поэтому третий собран из двух элементов – Д-триггера (FLIP-FLOP) и элемента задержки (DIGDEL). Указанный составной формирователь задает импульс длиной 0,5 секунды при нажатии на кнопку «пуск» (при нажатии на кнопку «пуск» появляется единица на входе E1 привода намотки). Работает схема следующим образом. По фронту сигнала на входе CLK на выход D-триггера записывается сигнал с входа D (в данном случае единица). Благодаря наличию блока цифровой задержки DIGDEL, через 0,5 секунды единица появляется на входе CLR, принудительно устанавливая выход D-триггера в ноль. После этого ноль появляется на входе CLR, и схема возвращается в исходное состояние до прихода следующего фронта сигнала на вход CLK. Блоки TRANS1 и TRANS2 функционируют следующим образом. По фронту или срезу сигнала на выходе блока формируется импульс заданной длины (возможен режим, когда выход реагирует как на фронт, так и на срез входного сигнала). Каждое следующее активное изменение сигнала на входе приводит к возобновлению отсчета заданного времени (в данном случае 20 секунд).

Усовершенствованная система управления волоочильным станом позволила исключить возможность намотки проволоки на катушку без ее равномерной укладки.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации волоочильного стана ВСС-21/45.

2. Омельченко Е.Е., Бондаренко В.В., Радионов А.А. Исследование электромеханической системы намоточного аппарата проволочного волочильного стана // Электротехнические системы и комплексы. 2010. № 18. С.9-27.
3. Сарваров А.С., Омельченко Е.Е. Перевод электроприводов намоточных устройств волочильных станов на систему преобразователь частоты – двигатель // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 104-113.
4. Омельченко Е.Е., Радионов А.А., Бондаренко В.В. Намоточный аппарат стальной проволоки как объект регулирования // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2011. № 4. С. 58-64.
5. LENZE930VECTOR control. System manual. 458с.

УДК 620.92

Моделирование оптимального уровня защиты для обеспечения безопасности объекта

В.Я. Вилисов, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Математики и естественнонаучных дисциплин»,
А.Е. Клепко, аспирант кафедры «Математики и естественнонаучных дисциплин»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В статье представлены результаты моделирования взаимодействия двух сторон с противоположенными интересами в контексте информационной безопасности объекта типа помещения для проведения совещаний. Модель взаимодействия сторон позволяет найти компромисс между затратами на обеспечение безопасности и теми потерями, которые могут возникнуть при потере того или иного объема информации об обсуждаемом в помещении проекте. На основе построенных моделей выполнены расчеты по данным, близким к реальным.

Информационная безопасность, угрозы, уязвимости, стоимость проекта, оптимальный уровень защиты.

Modeling of the optimal level of remedies for safety facility

V.Ya. Vilisov, D.Sc., Ph.D., Professor of the Department
«Mathematics and Natural Sciences»,
A.Ye. Klepko, Graduate student of the department
«Mathematics and Natural Sciences»,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The article presents the results of modeling the game interaction of two parties with opposing interests in the context of information security of an object such as a room for meetings. The interaction model of the parties allows us to find a compromise between the costs of ensuring security and those losses that may occur when a loss of a certain amount of information about the project being discussed in the premises is lost. Based on the constructed model, calculations based on data close to real are performed.

Information security, threats, vulnerabilities, project cost, optimal level of protection.

Введение

Задача определения уровня разумной достаточности при ограниченных ресурсах является актуальной в самых различных прикладных областях. При этом, как правило, рассматривается ситуация [2, 4, 5, 6, 9, 12] противоборства двух тенденций, каждая из которых имеет свою меру стоимости. Тогда решением

обычно является вариант равновесия таких мер или наименьшее их совокупное значение. Такой уровень иногда называют оптимальным, в иных случаях – компромиссным. Прикладные задачи рассматриваемого типа могут встречаться в различных сферах противоборств, например, в оборонной сфере [1], в сфере контроля [5], при борьбе с чрезвычайными ситуациями [7]. В работе эта задача рассмотрена применительно к обеспечению информационной безопасности объектов и/или процессов. Подобные задачи могут возникать при проектировании информационных систем (ИС) или при их эксплуатации [3, 8] на основе текущего мониторинга. В данной работе будем иметь в виду вариант проектирования.

Поскольку применительно к ИС можно рассматривать различные аспекты безопасности, обусловленные возможными утечками и несанкционированным доступом (НСД) к различным видам обеспечения (программное, аппаратное, каналы связи и т.п.) то и средства защиты могут иметь различную природу и возможности. При этом, как правило, желаемый уровень защиты можно обеспечить комплексом мер и средств. Однако, при выборе инструментов защиты, имеющих свою стоимость, важно учитывать предмет защиты и его ценностные (в том числе и стоимостные) характеристики. Поскольку при проектировании оба эти вида издержек несет одно и то же лицо – заказчик ИС, то разумным является подход, состоящий в минимизации общих издержек [5, 6, 12]. Таким образом, в качестве часто используемого показателя [6, 10] рассматривают общие издержки.

Таким образом, задача исследования заключается в том, чтобы определить тот набор инструментов, который может обеспечить минимум интегральных потерь от несанкционированного доступа для заказчика ИС.

Объект и предмет защиты

Значительную долю защищаемых объектов составляют разнообразные помещения, в которых проводятся совещания и/или имеются компьютерные сети и средства отображения информации [3, 9, 10]. Каждое помещение, как правило, имеет свои специфические особенности, определяющие степень сложности обеспечения в нем защиты. К числу особенностей могут относиться: расположение окон, системы отопительных приборов, конфигурация электропроводки и кабельных сетей, расположение компьютеров, серверов и т.п.

Предметом защиты обычно являются данные, которые могут находиться на носителях (электронных или бумажных) в этом помещении, передаваться во вне или внутри по радиоканалам или по кабельной сети, присутствовать в виде звуков речи или аудиофона аппаратуры, в виде визуальной информации на бумажных носителях, проекционных экранах и экранах компьютеров. Однако данные, как таковые, обычно не являются самоценными для злоумышленников, а важной представляется та тематическая (техническая, оборонная, экономическая, персональная) информация, которая представляет интерес для определенных потребителей. Поэтому контекстом в данной работе будем считать совещания, которые проводятся в защищаемом помещении. На совещаниях обсуждается некоторый разрабатываемый на предприятии проект, сведения о котором могут представлять интерес для злоумышленников.

Будем также различать две модели защищаемой информации:

1. *монолитная* модель защищаемой информации;

2. фрагментированная (диверсифицированная) модель защищаемой информации.

Модели предмета защиты отличаются тем, что монолитную информацию можно похитить либо всю, либо не похитить ничего. При этом похищение может быть выполнено по любому каналу потенциальной утечки. Монолитный предмет может быть похищен, если это удалось сделать хотя бы через одну из уязвимостей. Эту модель предмета защиты можно представлять, как правило, небольшие объемы информации, например, конкретные тактико-технические характеристики транспортного средства и т.п., которые могут быть похищены по визуальным каналам или по акустическим, или по радиоканалам и т.д.

Фрагментированная модель предмета защиты лучше описывает более масштабные объекты, где похитить можно не весь проект, а отдельные его фрагменты, из которых в дальнейшем, как мозаику, при достаточном количестве фрагментов, собрать весь проект.

В качестве контекста будем рассматривать некоторый проект, разрабатываемый защищающей его компанией. В зависимости от задач злоумышленников проект может рассматриваться как монолитная, так и фрагментированная модель. Пусть проект разрабатывается на протяжении одного года, совещания проходят каждую неделю, т.е., например, количество совещаний по проекту $T = 50$, стоимость проекта составляет $S = 100$ [млн. руб.] и потерять всю информацию о проекте означает понести потери в объеме S . Однако условимся считать, что на совещаниях представляется не вся информация о проекте, а лишь о его доле δ в стоимостном выражении. Поэтому, если похищается информация с одного совещания, то это означает, что наносится разовый ущерб в объеме $u = \frac{\delta S}{T}$. Таким образом, защитить информацию о проекте означает не допустить ущерб, связанный с проектом, как предметом защиты.

Приведем основные предпосылки, допущения и ограничения моделирования:

- план (места) размещения приборов защиты в помещении не рассматриваются, предполагается, что они размещаются равномерно либо это определяется решением отдельной задачи;
- вся информация, которая может быть похищена в каждом из совещаний, равноценна (анизотропность защищаемых данных);
- взаимодействие защищаемого объекта и злоумышленника носит игровой характер [1], т.е. каждая сторона не располагает достоверными сведениями о действиях противника (о направлениях защиты и направления атаки), что позволяет делать вероятностные оценки;

Инструменты защиты и их характеристики

Для защиты в помещениях, как правило, устанавливаются специальные устройства, создающие помехи вероятным средствам доступа злоумышленников, средства экранирования, всевозможные фильтры и т.п.

Можно выделить несколько групп (m) такой аппаратуры, в пределах каждой (i -ой) из которых один экземпляр обычно не обеспечивает необходимой степени защиты и, в зависимости от размеров помещения и его наполнения, такие приборы устанавливаются в нескольких экземплярах (x_i). Каждый тип имеет свою

специализацию. В сфере ИБ часто выделяют следующие направления (каналы) защиты с помощью аппаратных, программных или организационно-административных инструментов [11]:

- безопасное системное администрирование;
- безопасность сетей;
- безопасность приложений;
- аппаратная безопасность рабочих станций, серверов и устройств;
- безопасное управление доступом, идентификация и аутентификация пользователей;
- методы и средства защиты данных и криптография;
- средства мониторинга данных и управления исправлениями;
- методы, технологии и программные средства аварийного восстановления и физическая защита данных;
- технологии реагирования на инциденты;
- применение эффективных политик безопасности, аудита и обучения персонала.

Будем считать, что каждый экземпляр i -го типа средств обеспечивает *вероятность защиты* от несанкционированного доступа к охраняемым данным равную p_i . Этот параметр эквивалентен (в терминах теории надежности [10]) *вероятности безотказной работы*. Его значение, естественно зависит от размеров, плана и наполненности помещения. В рамках приведенного описания задача проектирования заключается в определении количества приборов каждого типа x_i , которые следует разместить в защищаемом помещении.

Инструменты защиты, помимо технических характеристик обладают еще и стоимостными. Пусть каждая единица средств защиты i -го типа стоит c_i .

Модели защищенности информационной системы

Для построения моделей защищенности воспользуемся подходом, принятым в теории надежности [10], основанном на понятии *отказа*, что позволяет рассматривать элементы системы как звенья (приборы), соединенные параллельно, последовательно и смешанно.

Мультипликативная модель (ММ). Этот тип модели лучше описывает монолитный тип предмета защиты. Поскольку каждый i -й тип средств защиты и/или приборов не может полностью решить задачу защиты, в каком бы количестве экземпляров (x_i) они ни устанавливались (в силу специализации каждого типа), введем предельный уровень (потенциал) показателя защиты для i -го типа средств – $r_i \in [0; 1]$. В соответствии с принципами расчета надежности [10] группы параллельно работающих элементов, вероятность незащиты (т.е. отказа), с учетом дисконтирующего коэффициента r_i , можно вычислить как:

$$(1 - q_i) = r_i(1 - p_i)^{x_i}, \quad (1)$$

где q_i – вероятность защиты при использовании x_i приборов i -го типа.

Для того чтобы защиту обеспечили все группы средств, ее должна обеспечить каждая из них, что эквивалентно последовательному соединению элементов в схеме надежности. Тогда вероятность защиты приборами всех групп:

$$q = \prod_{i=1}^m q_i = \prod_{i=1}^m (1 - r_i(1 - p_i)^{x_i}), \quad (2)$$

а вероятность незащиты в этом случае будет равна $(1 - q)$.

Тогда средний ущерб при незащите данных θ совещаний всеми приборами и другими средствами, установленными в защищаемом помещении, составит:

$$L_p(\bar{x}) = \frac{\theta\delta S}{T}(1 - q) = \frac{\theta\delta S}{T}(1 - \prod_{i=1}^m(1 - r_i(1 - p_i)^{x_i})), \quad (3)$$

где $\bar{x} \triangleq [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$, здесь T - символ транспонирования.

Будем считать, что количество средств защиты каждой группы, которое может быть установлено, не ограничено. Общая стоимость (затраты) всех средств защиты, устанавливаемых в помещении, составит:

$$L_h = \sum_{i=1}^m c_i x_i, \quad (4)$$

Следует отметить, что затраты (4) являются единовременными, а ущерб от потери информации зависит от того, в каком количестве совещаний (θ) информация была похищена. Целевая функция, отражающая суммарные издержки, определится с учетом этих двух составляющих как:

$$L(\bar{x}) = L_p(\bar{x}) + L_h(\bar{x}) = \frac{\theta\delta S}{T}(1 - \prod_{i=1}^m(1 - r_i(1 - p_i)^{x_i})) + \sum_{i=1}^m c_i x_i. \quad (5)$$

Тогда задача оптимального проектирования на основе мультипликативной целевой функции (5), как задача нелинейного программирования (ЗНП), примет вид:

$$\bar{x}_{opt} = arg \min_{\bar{x} \in \Omega} L(\bar{x}), \quad (6)$$

где Ω – область определения искомых переменных, здесь $x_i \geq 0, i = \overline{1, m}$. Как правило, на переменные, в рассматриваемом контексте, накладывается и ограничение их целочисленности (число приборов может быть только целым). Тогда (6) становится задачей целочисленного нелинейного программирования (ЗЦНП).

Модельные расчеты на ММ для единственного типа средств защиты.

Рассматривается задача (6) определения оптимального количества x_i средств защиты (приборов) одного типа. Защищается единственный канал уязвимости, т.е. другие отсутствуют. На совещаниях обсуждается весь проект ($\delta = 1$) и ущерб оценивается для всего периода ($\theta = T$). В модельном примере принято $S = 100$ [тыс. руб.], цена одного прибора – $c = 5$ [тыс. руб.], вероятность защиты одним прибором – $p = 0.25$, потенциал показателя защиты $r_i = 1$. Тогда целевая функция (5) примет следующий упрощенный вид:

$$L(x) = L_p(x) + L_h(x) = S(1 - p)^x + cx, \quad (7)$$

Минимум этой функции определится из необходимых условий оптимальности:

$$\frac{dL(x)}{dx} = S(1 - p)^x \ln(1 - p) + c = 0, \quad (8)$$

откуда можно получить непрерывное решение в аналитической форме:

$$x_{opt} = \frac{\ln\left(-\frac{c}{S \ln(1-p)}\right)}{\ln(1-p)}. \quad (9)$$

Для указанных выше модельных данных оптимальное количество приборов защиты (по (9)) составит: $x_{opt} = 6.083$, при этом общие издержки составят $L(x_{opt}) = 47.79$ [тыс. руб.]. Если решить задачу (6), как ЗЦНП, например, воспользовавшись надстройкой MS Excel «Поиск решений», то решение будет следующим: $x_{opt} = 6$; $L(x_{opt}) = 47.80$ [тыс. руб.]. На рисунке 1 приведены значе-

ния общих издержек (целевой функции (7)) и их составляющие – ущерб от потери информации и издержки на приобретение и установку средств защиты.

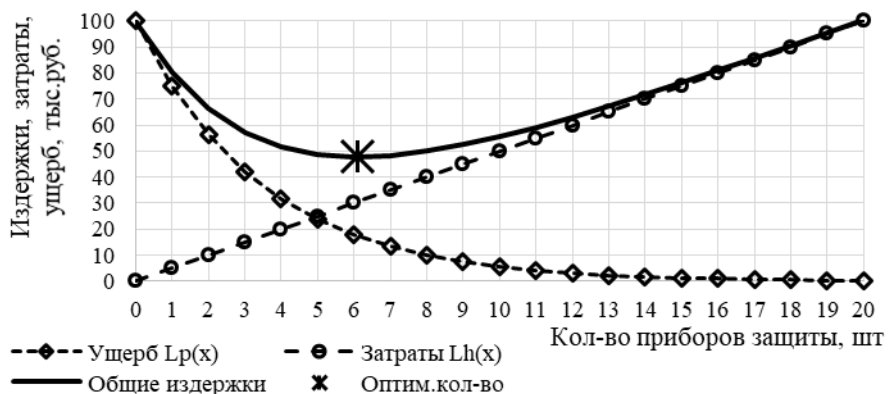


Рисунок 1 – Составляющие целевой функции общих издержек

При количестве приборов защиты, меньшее чем x_{opt} в общих издержках преобладает ущерб от потери данных и значение при этом будет $L(x) > L(x_{opt})$, а при значениях, превышающих x_{opt} преобладают затраты на приобретение средств защиты, но при этом также $L(x) > L(x_{opt})$.

Модельные расчеты на ММ для двух типов средств защиты. В реальной практике информационной защиты часто приходится рассматривать не единственный канал возможной утечки информации, а несколько. Рассмотрим модельный случай двух каналов утечки, а затем обобщим его на произвольное количество.

При двух каналах возможной утечки данных предполагается, что каждый (из двух) тип средств защиты в отдельности «закрывает» свою часть уязвимостей. И если будет преодолен хотя бы один, данные будут потеряны (т.е. последовательное соединение элементов в схеме надежности, логическая функция «И»).

Рассмотрим модельный пример со следующими исходными данными: $S = 2000$ [тыс. руб.], цена одного прибора в каждой группе средств защиты – $c_1 = 3$ [тыс. руб.], $c_2 = 2$ [тыс. руб.], вероятности защиты одним прибором каждого типа – $p_1 = 0.5$, $p_2 = 0.1$, потенциал показателя защиты для групп – $r_i = 0.5$. Решив задачу (6), как ЗЦНП, получим следующее решение: $x_{1\ opt} = 4$; $x_{2\ opt} = 15$; $L(\bar{x}_{opt}) = 68.2$ [тыс. руб.]. Поверхность, отражающая зависимость общих издержек от количества параллельно работающих приборов (в каждой группе, логическая функция «ИЛИ») двух групп, соединенных последовательно (логическая функция «И») приведена на рисунке 2.

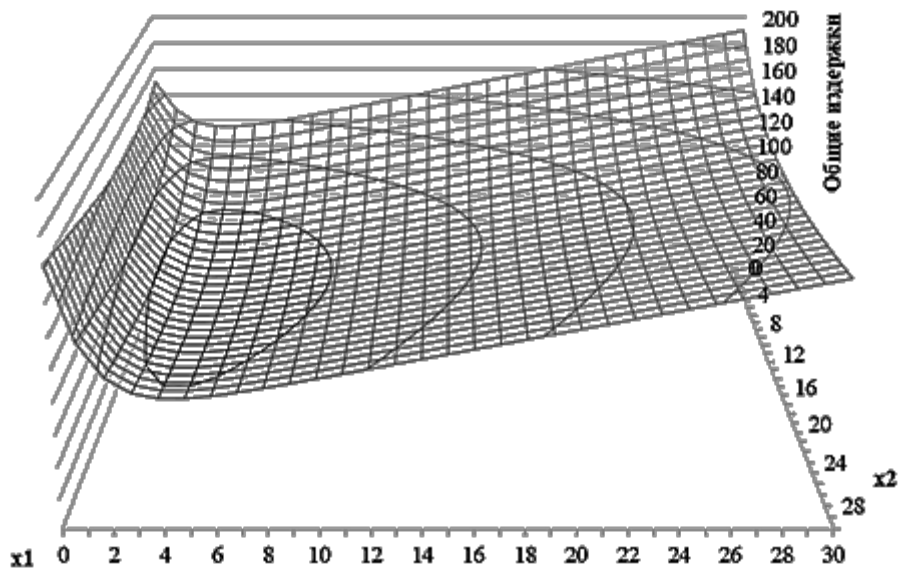


Рисунок 2 – Общие издержки по ММ для двух групп средств защиты

Модельные расчеты на ММ для нескольких типов средств защиты. Рассмотрим случай, который охватывает различные типы средств защиты. Пусть имеется 10 групп средств защиты ($m = 10$). Приняты следующие значения параметров: $S = 1000$ [тыс. руб.]; $\delta = 1$; $\theta = T = 50$. Другие параметры и решение ЗЦНП (6) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ЗЦНП

i	p_i	r_i	c_i	$x_{i\ opt}$
1	0.522	0.121	6.102	4
2	0.820	0.120	9.841	2
3	0.307	0.160	8.023	5
4	0.455	0.040	5.029	2
5	0.526	0.148	2.595	5
6	0.546	0.077	5.930	3
7	0.461	0.127	9.982	3
8	0.758	0.092	7.686	2
9	0.230	0.055	4.414	4
10	0.471	0.060	8.946	2

Значение целевой функции при оптимальном количестве средств защиты в каждой из групп составило $L(\bar{x}_{opt}) = 319.836$ [тыс. руб.].

На практике часто встречаются случаи, когда часть средств защиты может быть представлена приборами (которые могут работать по параллельной схеме, чем обеспечивать повышение вероятности защиты в данной группе), а часть другими технологиями или организационными мероприятиями, представленными в единственном числе (например, антивирусное средство в системе может быть

только одно, система входного контроля обычно тоже единственно, и т.п.). Рассмотрим тот же модельный пример, но будем считать, что лишь первые три типа средств защиты могут быть включены параллельно, а остальные могут быть представлены в единственном числе. Результаты решения ЗЦНП в этом случае представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Решение ЗЦНП с неограниченным количеством средств защиты в первых трех группах

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_{i\ opt}$	3	4	5	1	1	1	1	1	1	1

При этом значение целевой функции при оптимальном количестве средств защиты в группах составило $L(\bar{x}_{opt}) = 412.924$ [тыс. руб.]. Как видно, общие издержки в этом случае превысили предыдущие на 30% и составляют более 40% от стоимости защищаемого проекта. Для снижения общих издержек следует подбирать средства защиты в каждой из групп, имеющие по возможности большое значение p_i с максимально возможным потенциалом r_i .

Аддитивная модель (АМ). Эта модель лучше описывает фрагментированный тип предмета защиты. В подобных моделях злоумышленник собирает интересующую его информацию «по крупицам», которые при большом их количестве могут создать «критическую массу» сведений о проекте.

В этом случае целевая функция, аналогичная (5), примет вид:

$$L_p(\bar{x}) = L_p(\bar{x}) + L_h(\bar{x}) = \frac{\theta\delta S}{T} \sum_{i=1}^m r_i(1 - p_i)^{x_i} + \sum_{i=1}^m c_i x_i = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\theta\delta S}{T} r_i(1 - p_i)^{x_i} + c_i x_i \right), \quad (10)$$

Последняя форма представления целевой функции свидетельствует о ее сепарабельности (разделении по переменным), что позволяет получить аналитическую форму решения (в непрерывных переменных), аналогичную (9):

$$x_{i\ opt} = \frac{\ln\left(-\frac{T c_i}{\theta\delta S r_i \ln(1-p_i)}\right)}{\ln(1-p_i)}. \quad (11)$$

Для получения целочисленного решения следует решить ЗЦНП с целевой функцией (10).

Модельные расчеты на АМ для двух типов средств защиты. Рассмотрим вариант двух каналов утечки информации, в котором приняты следующие параметры: $S = 1000$ [тыс. руб.], цена одного прибора в каждой группе средств защиты – $c_1 = 10$ [тыс. руб.], $c_2 = 3$ [тыс. руб.], вероятности защиты одним прибором каждого типа – $p_1 = 0.7$, $p_2 = 0.5$, потенциал показателя защиты для групп – $r_1 = 0.2$, $r_2 = 0.8$. Решив задачу (6), как ЗЦНП, получим следующее решение: $x_{1\ opt} = 3$; $x_{2\ opt} = 8$; $L(\bar{x}_{opt}) = 62.53$ [тыс. руб.]. Решение в непрерывной форме, согласно (11) и (10) будет следующим: $x_{1\ opt} = 2.64$; $x_{2\ opt} = 7.53$; $L(\bar{x}_{opt}) = 61.65$ [тыс. руб.]. Очевидно, в большинстве случаев целочисленное решение может быть найдено путем округления непрерывного. Соответствующая поверхность приведена на рисунке 3.

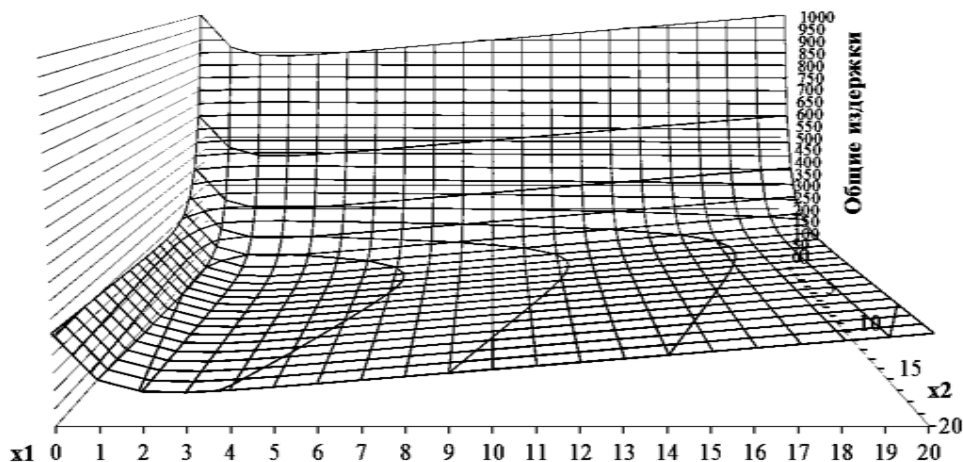


Рисунок 3 – Общие издержки по АМ для двух групп средств защиты

Выводы

1. В работе предложены две группы моделей оценивания степени информационной защищенности объектов – мультипликативная и аддитивная. Они позволяют на основе подходов теории надежности определить необходимое компромиссное количество средств информационной защиты путем учета их технических возможностей и стоимостных характеристик. Модели позволяют найти «золотую середину» между ценностью защищаемой информации и стоимостью средств защиты. Все построения были выполнены в контексте защиты информации в помещении для совещаний по поводу разрабатываемого проекта.

2. Разработанные модели могут быть использованы как на стадии проектирования информационных систем, так и при их дооснащении и модификации с учетом развития, как средств защиты информации, так и средств ее похищения.

3. Предложенные алгоритмы представлены в виде оптимизационных задач целочисленного нелинейного программирования, которые могут быть решены с помощью такого универсального средства как надстройка MS Excel «Поиск решений» или других аналогичных. Для некоторых вариантов моделей предложены и аналитические форма решения задачи, которые, однако, позволяют получить решение в непрерывной форме. На ряде модельных примеров показано, что целочисленное решение может быть получено путем округления непрерывного, при этом решения отличаются (по величине целевого показателя) на доли или единицы процентов, что вполне приемлемо для практических целей.

Литература

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры // М.: Мир. 1967. 480 с.
2. Атчисон Л. Масштабирование приложений. Выращивание сложных систем // М.: Питер. 2018. 256 с.
3. Васильев Р.А., Калянов Г.А., Левочкина Г.А. Стратегическое управление информационными системами // М.: Бином. Лаборатория знаний. 2017. 512 с.
4. Вернон В. Реализация методов предметно-ориентированного проектирования // М.: Вильямс. 2017. 688 с.

5. Вилисов В.Я. Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛППР // Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 376 с.
6. Вилисов В.Я. Инструменты внутреннего контроля в иерархических организационных структурах // Труды X междунар. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017)». Том 2 // М.: ИПУ РАН. 2017. 533 с. С. 331-338.
7. Денисов А.Н., Цариченко С.Г., Власов К.С. Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений // Пожарная безопасность. 2014. № 4. С. 53-60.
8. Исаев Г.А. Теоретико-методологические основы качества информационных систем // М.: Инфра-М. 2018. 258 с.
9. Коберн А. Современные методы описания функциональных требований к системам // М.: Лори. 2017. 288 с.
10. Кузнецов А.С., Ченцов С.В. Многоэтапный анализ архитектурной надежности и синтез отказоустойчивого программного обеспечения сложных систем // М.: Инфра-М. 2018. 144 с.
11. Литвинов П. Имитационное моделирование вопросов информационной безопасности как инструмент оценки защищенности и оптимизации затрат // Мир компьютерной автоматизации. 2016. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rsoft.ru/press/23432/imitatsionnoe-modelirovanie-voprosov-informatsionnoy-bezopasnosti-kak-instrument-otsenki-zashchishch/> (дата обращения: 31.01.2020).
12. Таха Х.А. Введение в исследование операций // М.: Изд. дом Вильямс. 2005. 912 с.

УДК 621.391.8

Математическое моделирование соотношений характеристик ансамбля сигналов, искаженных флуктуационными мультипликативными помехами и отдельных реализаций этого сигнала

В.И. Воловач, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования,
Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

Рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с математическим моделированием соотношений характеристик ансамбля сигналов, искаженных флуктуационными мультипликативными (модулирующими) помехами и отдельных реализаций этого сигнала. Показано, что характеристики, определенные для ансамбля сигналов, искаженных мультипликативной (модулирующей) помехой, дают возможность судить об искажениях отдельных реализаций такого сигнала в тех случаях, когда время корреляции искажений много меньше длительности сигнала. В этих случаях можно по одной реализации иметь представление о характеристиках всего ансамбля сигналов.

Математическое моделирование, мультипликативная (модулирующая) помеха; функция помеховой модуляции; корреляционная функция; энергетический спектр; функция помеховой модуляции; детерминированные и квадидетерминированные процессы.

Mathematical modeling of correlations of the ensemble characteristics of the signals, distorted by fluctuating multiplicative noise and individual implementations of this signal

V.I. Volovach, doctor of technical Sciences, associate Professor
head of the Department «Information and electronic service»,
State budgetary educational institution of higher education
Volga region state University of service, Tolyatti

Reviewed and analyzed issues associated with the analysis of correlation of the ensemble characteristics of signals distorted by the multiplicative fluctuation (modulating) noise and certain implementations of this signal. It is shown that the characteristics defined for the ensemble of signals distorted by multiplicative (modulating) interference make it possible to judge the distortions of individual implementations of such a signal in cases where the distortion correlation time is much less than the signal duration. In these cases, it is possible to have an idea of the characteristics of the whole ensemble of signals by one implementation.

Mathematical modeling, multiplicative (modulating) interference; interference modula-

tion function; correlation function; energy spectrum; random modulation function; deterministic and quadideterministic processes.

Введение. Рассмотрим характеристики сигнала, подверженного воздействию мультипликативной (модулирующей) помехой (МП). Характеристики, относящиеся к ансамблю реализаций сигнала, искаженного помехой, необходимы для математического моделирования и статистической оценки влияния МП на работу радиотехнических систем и устройств и поэтому являются основными. Однако в некоторых случаях может представлять значительный интерес оценка степени искажений отдельных реализаций сигнала при флуктуационных МП. Рассмотрим характеристики, необходимые для такой оценки. Проведем их сравнение с характеристиками ансамбля сигналов, что позволит выяснить, в какой степени характеристики, определенные для ансамбля реализаций сигнала, искаженного МП, дают представление об искажениях отдельных реализаций сигнала и насколько по одной реализации можно судить о характеристиках ансамбля сигналов.

Как известно, сигнал, искаженный МП можно записать в виде [1-3]

$$u_m(t) = \text{Re}[\dot{U}_m(t)\exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\}], \quad (1)$$

где

$$\dot{U}_m(t) = \dot{U}(t)\dot{M}(t) = \dot{U}(t)\eta(t)\exp\{i\varphi(t)\} \quad (2)$$

– комплексная огибающая сигнала $u_m(t)$ искаженного МП; $\dot{U}(t)$ – комплексная огибающая $U(t)$ неискаженного сигнала $u(t)$; $\dot{M}(t) = \eta(t)\exp\{i\varphi(t)\}$ – функция помеховой модуляции (ФПМ), полностью характеризующая паразитную модуляцию сигнала; $\eta(t) \geq 0$ – безразмерный множитель, характеризующий изменения огибающей сигнала, вызванные МП (амплитудные искажения); $\varphi(t)$ – изменения фазы сигнала, вызванные МП (фазовые искажения); ω_c, φ_0 – соответственно, частота сигнала и его начальная фаза.

Заметим, здесь и далее, точка сверху будет означать комплексную величину.

Рассмотрим, как связана структура сигнала, искаженного помехой, со структурой неискаженного сигнала и характеристиками ФПМ.

Характеристики радиосигналов при наличии детерминированных и квазидетерминированных МП. Непериодическая МП. Пусть ФПМ $\dot{M}(t)$ – непериодическая детерминированная ФПМ. Считаем, что ФПМ $\dot{M}(t)$ можно разложить рядом Фурье на интервале T длительности сигнала:

$$\dot{M}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{c}_k^T \exp\left\{jk \frac{2\pi}{T} t\right\}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

где

$$\dot{c}_k^T = T^{-1} \int_0^T \dot{M}(t) \exp\left\{-jk \frac{2\pi}{T} t\right\} dt. \quad (4)$$

Заметим, что ряд (3) правильно описывает функцию $\dot{M}(t)$ лишь в интервале длительности сигнала $(0, T)$ и не равен этой функции за пределами данного интервала. Однако, так как в выражениях (1) и (2), определяющие сигнал, искаженный помехой, входит множитель $U(t)$, равный нулю за пределами интервала $(0, T)$, поведение ряда (3) за пределами данного интервала несущественно, и этот ряд может быть использован для описания функции $\dot{M}(t)$ в выражении (2).

Подставляя (3) в (2) и опуская промежуточные математические преобразо-

вания, получим выражение для сигнала, искаженного детерминированной МП:

$$u_m(t) = |\dot{c}_0^T| u(t, \beta_0^T) + \sum_{i \neq 0} |\dot{c}_i^T| u\left(t, \beta_i^T, i \frac{2\pi}{T}\right), \quad (5)$$

где $u(t, \beta_0^T)$, $u\left(t, \beta_i^T, i \frac{2\pi}{T}\right)$ – сигнал, отличающийся от сигнала $u(t)$, соответственно, только сдвигом начальной фазы на β_0^T , и несущей частоты $\Omega = \frac{2\pi}{T}$ и начальной фазы на β_i^T ; $\beta_i^T = \arg \dot{c}_i^T$.

Первый член правой части выражения (5) представляет собой неискаженную часть сигнала, второй – помеховую составляющую. Неискаженная часть сигнала равна

$$m(t) = \operatorname{Re} \left\{ \dot{c}_0^T \dot{U}(t) \exp\{j\omega_c t\} \right\} = \alpha_0^T u(t, \beta_0^T), \quad (6)$$

где $\alpha_0^T = |\dot{c}_0^T| = \left| T^{-1} \int_0^T \dot{M}(t) dt \right|$ – относительный уровень неискаженной части сигнала.

Помеховая составляющая сигнала равна

$$v(t) = \sum_{i \neq 0} |\dot{c}_i^T| u\left(t, \beta_i^T, i \frac{2\pi}{T}\right) = \sum_{i \neq 0} \alpha_i^T u\left(t, \beta_i^T, i \frac{2\pi}{T}\right). \quad (7)$$

Выражения (5), (6) и (7) описывают сигнал, искаженный помехой, и его составляющие в общем случае наличия детерминированной МП.

Заметим, что эти формулы справедливы и для частного случая, когда МП является периодической.

Характеристики радиосигналов при наличии стационарных флуктуационных МП. В результате воздействия МП детерминированный (или квазидетерминированный) сигнал $u(t)$ переходит в реализацию флуктуационного нестационарного случайного процесса $u_m(t)$. Ансамблю реализаций ФПМ $\dot{M}(t)$ соответствует ансамбль реализаций сигнала, искаженного помехой – $u_m(t)$.

Для определения структуры сигнала, искаженного стационарной флуктуационной МП, рассмотрим его математическое ожидание. Так как случайный характер $u_m(t)$ обусловлен флуктуациями амплитуды и фазы, то математическое ожидание $\overline{u_m(t)}$ равно

$$\overline{u_m(t)} = m_1 \{u_m(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_m W(\varphi, \eta) d\varphi d\eta,$$

где $W(\varphi, \eta)$ – плотность распределения вероятностей (ПРВ) значений искажений амплитуды $\eta(t)$ и фазы $\varphi(t)$ в совпадающие моменты времени.

Заметим, здесь и далее, черта сверху будет означать усреднение по множеству.

С учетом (2), оно может быть записано в виде

$$\begin{aligned} \overline{u_m(t)} &= \operatorname{Re} \left\{ \dot{U}(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \eta \exp\{j\varphi\} W(\varphi, \eta) d\varphi d\eta \right\} = \\ &= \operatorname{Re} \left\{ \bar{M} \dot{U}(t) \right\} \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\bar{M} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \eta \exp\{j\varphi\} W(\varphi, \eta) d\varphi d\eta \quad (9)$$

– математическое ожидание ФПМ $\dot{M}(t)$. Так как функция $\dot{M}(t)$ стационарная, следовательно, не зависит от времени. Обозначая

$$|\bar{M}| = \alpha_0; \arg \bar{M} = \beta_0 \quad (10)$$

и учитывая (1), представим (8) в виде

$$\overline{u_m(t)} = \alpha_0 \operatorname{Re}\{\dot{U}(t)\} \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0 + \beta_0)\} = \alpha_0 u(t, \beta_0),$$

где $u(t, \beta_0)$ – сигнал, отличающийся от $u(t)$ постоянным сдвигом фазы на β_0 .

Таким образом, если фазовые $\varphi(t)$ и амплитудные искажения $\eta(t)$ стационарны, то математическое ожидание сигнала, искаженного МП, с точностью до несущественного параметра (постоянного сдвига фазы β_0) повторяет в измененном масштабе $\alpha_0 = |\overline{M}|$ неискаженный сигнал. Следовательно, для ансамбля реализаций сигнала, искаженного стационарной флуктуационной МП, $\overline{u_m(t)}$ можно рассматривать как неискаженную часть сигнала:

$$m(t) = \overline{u_m(t)} = \alpha_0 u(t, \beta_0).$$

Коэффициент $\alpha_0 = |\overline{M}|$ является относительным уровнем неискаженной части сигнала. Поэтому, как следует из (10), α_0 и β_0 не зависят от вида сигнала и определяются только ФПМ $\dot{M}(t)$. Другая часть сигнала $u_m(t)$

$$v(t) = u_m(t) - \overline{u_m(t)} \quad (11)$$

представляет собой флуктуации с нулевым средним, то есть случайный процесс, не содержащий детерминированной или квазидетерминированной компоненты. Эту составляющую $u_m(t)$, отсутствующую в неискаженном сигнале и появляющуюся в результате воздействия МП, называют помеховой составляющей.

Таким образом, ансамбль реализаций сигнала, искаженного в общем случае детерминированной МП, может быть представлен суммой двух составляющих – неискаженной части сигнала и помеховой

$$u_m(t) = m(t) + v(t) = \alpha_0 u(t, \beta_0) + v(t). \quad (12)$$

Первая – подобна сигналу, то есть представляет собой детерминированную или квазидетерминированную функцию, вторая – является случайной функцией.

Характеристики неискаженной части сигнала. С помощью (9), (10) и соотношения

$$|\overline{M}| = m_1 \{ \eta \exp\{j\varphi\} \} = -j \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\eta\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0},$$

где $\theta_2^{\eta\varphi}(x_1, x_2) = m_1 \exp\{j(x_1\eta + x_2\varphi)\}$ – двумерная характеристическая функция изменений амплитуды и фазы в совпадающие моменты времени (x_1 и x_2 – переменные величины), относительный уровень неискаженной части сигнала α_0 и сдвиг фазы β_0 могут быть выражены через характеристическую функцию процессов $\eta(t)$ и $\varphi(t)$:

$$\alpha_0 = |\overline{M}| = \left| \frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\eta\varphi}(x_1, 1) \right|_{x_1=0}, \quad (13)$$

$$\beta_0 = \arg \overline{M} = \arg \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\eta\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0} - \frac{\pi}{2}. \quad (14)$$

Если безразмерный амплитудный множитель $\eta(t)$ представлен в виде $\eta(t) = \eta_0 [1 + \xi(t)]$,

где η_0 – математическое ожидание $\eta(t)$; $\xi(t)$ – стационарный случайный процесс с нулевым средним, $[1 + \xi(t)] \geq 0$, то с учетом соотношения

$$|\bar{M}| = \eta_0 \theta_2^{\xi\varphi}(0,1) - j\eta_0 \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\xi\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0},$$

где $\theta_2^{\xi\varphi}(x_1, x_2) = m_1 \exp j(x_1 \xi + x_2 \varphi)$ – двумерная характеристическая функция $\xi(t)$ и $\varphi(t)$ в совпадающие моменты времени, выражения для α_0 и β_0 приобретают вид

$$\alpha_0 = \eta_0 \left| \theta_2^{\xi\varphi}(0,1) - j \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\xi\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0} \right|; \quad (15)$$

$$\beta_0 = \arg \left\{ \theta_2^{\xi\varphi}(0,1) - j \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\xi\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0} \right\}. \quad (16)$$

Если изменения амплитуды и фазы независимы, то $|\bar{M}| = \bar{\eta} \exp \{j\varphi\}$ и

$$\alpha_0 = \eta_0 |\theta_1^\varphi(1)|, \beta_0 = \arg\{\theta_1^\varphi(1)\}, \quad (17)$$

где $\theta_1^\varphi(1)$ одномерная характеристическая функция изменения фазы $\varphi(t)$.

Если присутствуют только фазовые искажения сигнала, то

$$\alpha_0 = |\theta_1^\varphi(1)|, \beta_0 = \arg\{\theta_1^\varphi(1)\}. \quad (18)$$

Из приведенных соотношений (13)-(18) видно, что относительный уровень неискаженной части сигнала определяется в общем случае совместной функцией распределения изменений амплитуды и фазы в совпадающие моменты времени, а при только фазовых искажениях – одномерной функцией распределения изменений фазы и что он не зависит от спектральных характеристик модулирующей помехи.

Примеры показывают, что при заданной функции распределения изменений амплитуды и фазы относительный уровень неискаженной части сигнала определяется глубиной искажений, причем большее влияние оказывают фазовые искажения. В общем случае уровень неискаженной части сигнала тем ниже, чем больше глубина фазовых искажений, хотя при некоторых законах распределения (равномерный, ограниченный нормальный) эта зависимость может быть и не монотонной.

Характеристики помеховой составляющей. Так как первая составляющая сигнала, искаженного стационарной флуктуационной МП (см. (12)), представляет собой математическое ожидание искаженного сигнала, помеховая составляющая является случайным процессом с математическим ожиданием, равным нулю. Этот случайный процесс существует на интервале существования неискаженной части сигнала $u(t)$.

Определим корреляционную функцию и энергетический спектр помеховой составляющей, выразив их через соответствующие характеристики ФПМ и через характеристики сигнала, образующегося при модуляции гармонического колебания с единичной амплитудой по тому же закону, по которому искажается сигнал.

Обозначим флуктуации ФПМ как $\dot{V}_0 = \dot{M} - \bar{M}$. Тогда помеховая составляющая сигнала $u_m(t)$ в соответствии с (11), (1), (2) и (8) может быть записана в виде

$$v(t) = u_m(t) - \overline{u_m(t)} = \operatorname{Re} \left\{ \dot{M}(t) \dot{U}(t) \exp \{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\} - \operatorname{Re} \left\{ \overline{\dot{M}(t)} \overline{U(t)} \exp \{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}_0(t) \dot{U}(t) \exp \{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\} =$$

$$= \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\}, \quad (19)$$

где

$$\dot{V}(t) = \dot{V}_0(t) \dot{U}(t) \quad (20)$$

– комплексная огибающая помеховой составляющей сигнала $u_m(t)$.

Для гармонического колебания с единичной амплитудой $\dot{U}(t) = 1$ и при искажении (модуляции этого сигнала той же МП, помеховая составляющая будет

$$v_0(t) = \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}_0(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\}. \quad (21)$$

Отсюда следует, что флуктуации ФПМ $\dot{V}_0(t)$ можно рассматривать как комплексную огибающую помеховой составляющей гармонического сигнала с единичной амплитудой, искаженного МП.

Случайный процесс $v_0(t)$ в общем случае является нестационарным даже тогда, когда функция $\varphi(t)$, определяющая фазовые искажения, и функция $\eta(t)$, определяющая амплитудные искажения, стационарны и $\dot{V}_0(t)$ – стационарный случайный процесс [3]. Исключение составляет случай, когда при фазовых искажениях или при независимых амплитудных и фазовых искажениях мгновенные значения $\varphi(t)$ имеют равномерное распределение в интервале $(0, 2\pi)$.

Так как время корреляции функции $\dot{M}(t)$ много больше периода несущей частоты сигнала, то комплексная огибающая $\dot{V}_0(t)$, как и комплексная огибающая сигнала $\dot{U}(t)$, является медленно меняющейся функцией.

Корреляционная функция помеховой составляющей $v(t)$

$$B_v(t, t - \tau) = m_1 \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t) \exp\{j(\omega_c t + \varphi_0)\} \right\} \times \\ \times \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t - \tau) \exp\{j(\omega_c(t - \tau) + \varphi_0)\} \right\}. \quad (22)$$

Учитывая соотношение

$$\operatorname{Re} \dot{a} \operatorname{Re} \dot{b} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{a} \dot{b}^* + \operatorname{Re} \dot{a} \dot{b} \quad (23)$$

выражение (22) можно представить в виде

$$B_v(t, t - \tau) = \frac{1}{2} m_1 \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t) \dot{V}^*(t - \tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \right\} + \\ + \operatorname{Re} \left\{ \dot{V}(t) \dot{V}(t - \tau) \exp\{j(\omega_c(2t - \tau) + 2\varphi_0)\} \right\}. \quad (24)$$

Заметим, здесь и далее, звездочка сверху будет означать комплексно сопряженную величину. Введем корреляционную функцию флуктуаций ФПМ

$$\dot{B}_V(\tau) = m_1 \left\{ \dot{V}_0(t) \dot{V}_0^*(t - \tau) \right\}. \quad (25)$$

Так как $\dot{V}(t)$, как и $\dot{M}(t)$, – стационарный случайный процесс, то $\dot{B}_V(\tau)$ зависит только от τ .

Можно показать также, что при стационарном $\dot{V}_0(t)$ математическое ожидание произведения $\dot{V}_0(t) \dot{V}_0(t - \tau)$ является функцией только временного сдвига τ :

$$m_1 \left\{ \dot{V}_0(t) \dot{V}_0(t - \tau) \right\} = \dot{D}_V(\tau). \quad (26)$$

Как было отмечено выше, $\dot{V}_0(t)$ является комплексной огибающей случайного процесса $v_0(t)$. Если бы случайный процесс $v_0(t)$ был стационарен, то для его комплексной огибающей было бы справедливо равенство $D_V(\tau) \equiv 0$ [7]. Однако случайный процесс $v_0(t)$ в общем случае является нестационарным, и $\dot{D}_V(\tau) \neq 0$.

Рассмотрим два случая:

1) начальная фаза сигнала φ_0 является постоянной величиной, одинаковой для всех реализаций сигнала;

2) начальная фаза сигнала φ_0 является случайной величиной, равномерно распределенной в интервале $(0, 2\pi)$.

В первом случае выражение для корреляционной функции помеховой составляющей (24) с учетом (20), (25) и (26) приобретает вид

$$B_v(t, t - \tau) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_V(\tau) \dot{U}(t) U^*(t - \tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \right\} + \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{D}_V(\tau) \dot{U}(t) \dot{U}(t - \tau) \exp\{j(\omega_c(2t - \tau) + 2\varphi_0)\} \right\}. \quad (27)$$

Из (27) видно, что случайный процесс $v(t)$ не стационарен. Его корреляционная функция зависит не только от τ , но и от t . Зависимость от t определяется двумя факторами:

- зависимостью от комплексной огибающей сигнала $\dot{U}(t)$, что вызывает относительно медленное изменение как первого, так и второго члена выражения (27) со временем;

- наличие во втором члене множителя, осциллирующего с частотой $2\omega_c$. Последнее обстоятельство в общем случае обуславливает не стационарность помеховой составляющей даже тогда, когда зависимость от огибающей сигнала отсутствует.

Во втором случае, когда начальная фаза сигнала φ_0 равномерно распределена в интервале $(0, 2\pi)$, учитывая независимость φ_0 и $\dot{V}(t)$, из (2.2.21) получим

$$B_v(t, t - \tau) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_V(\tau) \dot{U}(t) U^*(t - \tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \right\} + \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{D}_V(\tau) m_1[\exp\{j(2\varphi_0)\}] \dot{U}(t) \dot{U}(t - \tau) \exp\{j\omega_c(2t - \tau)\} \right\}. \quad (28)$$

При указанном законе распределения $m_1[\exp\{j(2\varphi_0)\}] = 0$, выражение (28) приобретает вид

$$B_v(t, t - \tau) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_V(\tau) \dot{U}(t) U^*(t - \tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \right\}. \quad (29)$$

Нетрудно видеть, что в данном случае не стационарность помеховой составляющей $v(t)$ вызывается только первым из указанных выше факторов, а случайный процесс $v_0(t)$ является стационарным.

Так как случайный процесс $v(t)$ не стационарен, для определения его энергетического спектра, в смысле спектральной плотности мощности, усредненной в интервале длительности сигнала T , необходимо знать среднее за время T значение его корреляционной функции [2]:

$$B_{v.c.p}(\tau) = \langle B_v(t, t - \tau) \rangle = T^{-1} \int_0^T B_v(t, t - \tau) dt. \quad (30)$$

Заметим, что здесь и далее, угловыми скобками обозначено усреднение по времени.

Подставляя в (30) значение $B_v(t, t - \tau)$ из выражений (27) и (29) и пренебрегая при усреднении по времени вкладом быстро осциллирующего второго члена в (27), получим для обоих рассмотренных выше случаев:

$$B_{v.c.p}(\tau) = \frac{E}{T} \operatorname{Re} \left\{ \dot{\rho}(\tau, \Omega) \dot{B}_V(\tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \right\}, \quad (31)$$

где $\dot{\rho}(\tau, \Omega) = \frac{1}{2E} \int_0^T \dot{U}(t) U^*(t - \tau) \exp\{j(\Omega t)\} dt$ – нормированная комплекс-

ная функция автокорреляции сигнала $u(t)$; E – энергия сигнала.

Аналогично можно определить среднее значение корреляционной функции случайного процесса $v_0(t)$, определяемого соотношением (21)

$$B_{0.cр}(\tau) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \dot{B}_V(\tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \}. \quad (32)$$

Таким образом, усредненную корреляционную функцию помеховой составляющей сигнала, искаженного МП можно выразить через автокорреляционную функцию сигнала $\dot{\rho}(\tau, \Omega)$ и корреляционную функцию флуктуаций помеховой модуляции $\dot{B}_V(\tau)$.

Определим энергетический спектр помеховой составляющей $G_v(\omega)$. Исходя из (31), его можно представить в виде

$$G_v(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{v.cр}(\tau) \exp\{-j(\omega \tau)\} d\tau = \frac{2E}{T} \int_0^{\infty} \dot{\rho}(\tau, 0) \dot{B}_V(\tau) \exp\{j(\omega_c \tau)\} \cos \omega \tau d\tau.$$

Преобразовав подынтегральное выражение, отбросив быстро осциллирующие члены (с учетом того, что ширина энергетического спектра $u(t)$ много меньше несущей частоты и спектр лежит вблизи этой частоты), получим

$$G_v(\omega) = \frac{E}{T} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{\rho}(\tau, 0) \dot{B}_V(\tau) \exp\{j(\omega_c - \omega)\tau\} d\tau. \quad (33)$$

Выражение (33) определяет энергетический спектр помеховой составляющей сигнала, искаженного стационарной флуктуационной МП, через автокорреляционную функцию сигнала и корреляционную функцию флуктуаций помеховой модуляции.

Исходя из (32), для энергетического спектра случайного процесса $v_0(t)$ можно получить выражение

$$G_0(\omega) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_0^{\infty} \dot{B}_V(\tau) \exp\{j(\omega_c - \omega)\tau\} d\tau. \quad (34)$$

Обозначив через $G_V(\Omega)$ энергетический спектр флуктуаций функции помеховой модуляции,

$$G_V(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{B}_V(\tau) \exp\{-j(\Omega \tau)\} d\tau = 2 \operatorname{Re} \int_0^{\infty} \dot{B}_V(\tau) \exp\{-j(\Omega \tau)\} d\tau, \quad (35)$$

и сопоставив выражения (34) и (35), нетрудно получить соотношение

$$G_V(\Omega) = 4G_0(\omega_c + \Omega),$$

а энергетический спектр $G_0(\omega)$ можно представить в виде [7]:

$$G_0(\omega) = \frac{1}{4} G_V(\omega - \omega_c) + \frac{1}{4} G_V(-\omega - \omega_c).$$

Комплексная функция автокорреляции сигнала может быть выражена через энергетический спектр $G_U(\omega)$ комплексной огибающей сигнал $\dot{U}(t)$ [2]:

$$\dot{\rho}(\tau, 0) = \frac{T}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} G_U(\omega) \exp\{j(\omega \tau)\} d\omega = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{S}_U(\omega)|^2 \exp\{j(\omega \tau)\} d\omega, \quad (36)$$

где $\dot{S}_U(\omega)$ – преобразование Фурье комплексной огибающей $\dot{U}(t)$.

С учетом выражений (34) и (36), формула (33) может быть записана в виде

$$G_v(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_0(\Omega) G_U(\Omega - \omega) d\Omega = \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{S}_U(\Omega - \omega)|^2 d\Omega. \quad (37)$$

Выражение (37) представляет энергетический спектр помеховой составляющей сигнала, искаженного МП, в виде свертки энергетического спектра комплексной огибающей неискаженного сигнала и энергетического спектра флуктуаций, образующихся при модуляции гармонического колебания по тому же закону, по которому искажается сигнал МП.

Приведенные соотношения показывают, что ширина энергетического спектра помеховой составляющей сигнала, искаженного МП, определяется спек-

тром неискаженного сигнала и шириной энергетического спектра ФПМ.

Энергетический спектр помеховой составляющей шире энергетического спектра неискаженного сигнала. Расширение спектра, вызываемое флуктуационной МП, тем больше, чем больше ширина спектра ФПМ, зависящая как от глубины искажений (в первую очередь фазовых), так и от ширины их спектра.

Таким образом, были рассмотрены характеристики, относящиеся к ансамблю реализаций сигнала, искаженного флуктуационной МП. Такими характеристиками являются относительный уровень неискаженной части сигнала, характеризующий математическое ожидание искаженного сигнала, и корреляционная функция или энергетический спектр помеховой составляющей, характеризующие флуктуации искаженного сигнала.

Соотношения между характеристиками ансамбля сигналов, искаженных флуктуационными мультипликативными (модулирующими) помехами, и характеристиками отдельных реализаций этого сигнала. Искажения отдельной i -й реализации при флуктуационных МП можно характеризовать искаженной частью сигнала $m_i(t)$ и помеховой составляющей $v_i(t)$. Каждая отдельная реализация сигнала, искаженного МП, представляет собой детерминированную функцию, поэтому $m_i(t)$ и помеховую составляющую $v_i(t)$ можно определить по известной реализации ФПМ $\dot{M}_i(t)$.

Соотношение между неискаженной частью сигнала в отдельной реализации и в каждом ансамбле сигналов. Используя выражения (3)-(6) для неискаженной части i -й реализации сигнала, искаженного МП, получим

$$m_i(t) = \alpha_{0i}^T u(t, \beta_{0i}^T); \quad \alpha_{0i}^T = |\dot{c}_{0i}^T|; \beta_{0i}^T = \arg \dot{c}_{0i}^T; \dot{c}_{0i}^T = T^{-1} \int_0^T \dot{M}_i(t) dt.$$

Величина α_{0i}^T является относительным уровнем неискаженной части сигнала в i -й реализации. В отличие от величины α_0 и β_0 , определенных для ансамбля сигналов, искаженных МП, α_{0i}^T и β_{0i}^T являются случайными величинами, поскольку функция $\dot{M}_i(t)$ является реализацией случайной функции. Можно видеть, что математическое ожидание случайной величины \dot{c}_{0i}^T , определяющей неискаженную часть в отдельной реализации сигнала, равно величине $\bar{M}(t)$, определяющей неискаженную часть для ансамбля реализаций сигнала:

$$\overline{\dot{c}_{0i}^T} = m_1\{\dot{c}_{0i}^T\} = T^{-1} \int_0^T m_1\{\dot{M}_i(t)\} dt = \bar{M}.$$

Математическое ожидание неискаженной части отдельной реализации сигнала $\overline{m_i(t)}$ при стационарной флуктуационной МП равно искаженной части для ансамбля реализаций:

$$\begin{aligned} \overline{m_i(t)} &= m_1\{\alpha_{0i}^T u(t, \beta_{0i}^T)\} = \operatorname{Re}\{\overline{\dot{c}_{0i}^T} \dot{U}(t) \exp\{j(\omega_c t)\}\} = \\ &= \operatorname{Re}\{\bar{M} \dot{U}(t) \exp\{j(\omega_c t)\}\} = \alpha_0 u(t, \beta_0) = m(t). \end{aligned}$$

Поскольку $\overline{\dot{c}_{0i}^T} = \bar{M}$, отличие уровня неискаженной части в отдельных реализациях сигнала от уровня неискаженной части для ансамбля сигналов можно охарактеризовать дисперсией величины \dot{c}_{0i}^T :

$$\sigma_{c_0}^2 = m_1\{\dot{c}_{0i}^T \dot{c}_{0i}^{*T}\} - |m_1\{\dot{c}_{0i}^T\}|^2 = m_1\{(\alpha_{0i}^T)^2\} - |\bar{M}|^2 = (\alpha_{0i}^T)^2 - \alpha_0^2.$$

Нетрудно видеть, что $(\alpha_{0i}^T)^2$ представляет собой относительный уровень мощности неискаженной части отдельной реализации сигнала $u_{mi}(t)$, а α_0^2 – отно-

сительный уровень мощности неискаженной части для ансамбля реализаций такого сигнала $u_M(t)$.

Таким образом, дисперсия $\sigma_{c_0}^2$ равна разности относительного уровня мощности неискаженной части в отдельных реализациях сигнала и относительно уровня мощности неискаженной части для ансамбля реализаций.

Определим математическое ожидание $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$:

$$\overline{(\alpha_{0i}^T)^2} = m_1 \{ \dot{c}_{0i}^T c_{0i}^{*T} \} = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T m_1 \{ \dot{M}_i(t_1) \dot{M}_i(t_2) \} dt_1 dt_2,$$

или, с учетом (3), (25) и (10),

$$\overline{(\alpha_{0i}^T)^2} = \alpha_0^2 + \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \dot{B}_V(t_1 - t_2) dt_1 dt_2.$$

Откуда

$$\sigma_{c_0}^2 = \overline{(\alpha_{0i}^T)^2} - \alpha_0^2 = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \dot{B}_V(t_1 - t_2) dt_1 dt_2. \quad (38)$$

Используем известное неравенство [4]:

$$\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \dot{B}_V(t_1 - t_2) dt_1 dt_2 < \frac{2\tau_k}{T} \dot{B}_V(0) + \varepsilon, \quad (39)$$

где τ_k – время корреляции флуктуаций ФПМ $\dot{M}(t)$, а ε – уровень, по которому отсчитывается время корреляции.

Сопоставляя (38) и (39), нетрудно видеть, что математическое ожидание уровня мощности неискаженной части сигнала в отдельных реализациях тем ближе к уровню мощности неискаженной части сигнала для ансамбля реализаций, чем меньше время корреляции флуктуаций ФПМ по сравнению с длительностью сигнала. Как правило, $\dot{B}_V(0) \leq 1$, поэтому из (39) можно заключить, что разница между $(\alpha_{0i}^T)^2$ и α_0^2 не превышает $2\tau_k/T$.

Таким образом, величина относительного уровня неискаженной части сигнала, определенная с помощью соотношений, полученных ранее, дает достаточно полное представление о степени искажений отдельной реализации сигнала в тех случаях, когда время корреляции помеховой модуляции много меньше длительности сигнала.

Выразим различие между $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$ и α_0^2 через параметры энергетического спектра ФПМ. Производя в (38) замену переменных $t_1 - t_2 = \tau$ и меняя порядок интегрирования, получим

$$\sigma_{c_0}^2 = \overline{(\alpha_{0i}^T)^2} - \alpha_0^2 = \frac{2}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \operatorname{Re}\{\dot{B}_V(\tau)\} d\tau. \quad (40)$$

Если обозначить $\tau_{ц}$ координату «центра тяжести» (нормированный первый центральный момент) кривой $\operatorname{Re}\{\dot{B}_V(\tau)\}$ в области $\tau \geq 0$:

$$\tau_{ц} = \int_0^\infty \tau \operatorname{Re}\{\dot{B}_V(\tau)\} d\tau / \int_0^\infty \operatorname{Re}\{\dot{B}_V(\tau)\} d\tau,$$

то учитывая, что согласно выражению (35)

$$\text{и } G_V(\Omega) = 4G_0(\omega_c + \Omega), \int_{-\infty}^\infty \dot{B}_V(\tau) d\tau = G_V(0) = 4G_0(\omega_c).$$

выражение (40) можно представить в виде

$$\sigma_{c_0}^2 = \frac{G_V(0)}{T} \left(1 - \frac{\tau_{ц}}{T}\right) = \frac{4G_0(\omega_c)}{T} \left(1 - \frac{\tau_{ц}}{T}\right). \quad (41)$$

Полоса частот огибающей (срезающей функции) сигнала приблизительно равна $1/T$. Выражение (41) показывает, что при $\tau_{ц} \ll T$ значение $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$ превышает α_0^2 на величину, приблизительно равную мощности флуктуаций помеховой мо-

дуляции в полосе частот огибающей сигнала.

Как следует из выражений (38) и (41), разница между $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$ и α_0^2 связана с тем, что в $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$ наряду с мощностью неискаженной части сигнала для ансамбля реализаций (член α_0^2) учитывается также часть мощности помеховой составляющей $v(t)$ ансамбля сигналов, связанная с флуктуациями неискаженной части в отдельных реализациях, она выражается правой частью выражений (38) и (41).

В качестве примера рассмотрим математическое ожидание уровня мощности неискаженной части отдельных реализаций сигнала при фазовых искажениях и нормальном законе распределения изменений фазы.

Исходя из (34), для данного случая можно получить следующее выражение корреляционной функции

$$\dot{B}_V(\tau) = \exp\{-\sigma_\varphi^2\}(\exp\{\sigma_\varphi^2 r_\varphi(\tau)\} - 1) = \alpha_0^2(\exp\{\sigma_\varphi^2 r_\varphi(\tau)\} - 1), \quad (42)$$

где σ_φ^2 – дисперсия изменений фазы; $r_\varphi(\tau)$ – коэффициент корреляции изменений фазы $\varphi(t)$.

Рассмотрим величину $\overline{(\alpha_{0i}^T)^2}$ при двух видах аппроксимации коэффициента корреляции: треугольной и гауссовской.

При треугольной аппроксимации коэффициент корреляции определяется как

$$r_\varphi(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{2r_\varphi}, & |\tau| \leq 2r_\varphi; \\ 0, & |\tau| > 2r_\varphi, \end{cases}$$

где r_φ – время корреляции процесса $\varphi(t)$, определяемое соотношением

$$r_\varphi = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} r_\varphi(\tau) d\tau. \quad (43)$$

Подставляя в (40) значение $\dot{B}_V(\tau)$ из (42) с учетом данного значения $r_\varphi(\tau)$ и выполняя необходимые преобразования, можно получить следующее выражение для $\sigma_{c_0}^2$:

$$\begin{aligned} \sigma_{c_0}^2 &= \left[a^2 - 2a + \frac{2a^2}{\sigma_\varphi^2} \right] \exp\{-\sigma_\varphi^2\} + 2(1 - \exp\{-\sigma_\varphi^2\}) \left(\frac{a}{\sigma_\varphi^2} - \frac{a^2}{\sigma_\varphi^4} \right) = \\ &= \alpha_0^2 \left(a^2 - 2a + \frac{2a^2}{\sigma_\varphi^2} \right) + 2(1 - \alpha_0^2) \left(\frac{a}{\sigma_\varphi^2} - \frac{a^2}{\sigma_\varphi^4} \right), \end{aligned} \quad (44)$$

где $a = 2r_\varphi/T$. Зависимость $\sigma_{c_0}^2$ от a и σ_φ , рассчитанные по (44) приведена на рисунке 1, a .

При аппроксимации гауссовской кривой $r_\varphi(\tau)$ определяется выражением

$$r_\varphi(\tau) = \exp\left\{-\frac{\pi\tau^2}{2\tau_\varphi^2}\right\},$$

где время корреляции r_φ определяется формулой (43). Используя приведенное в [8] разложение, можно представить $\sigma_{c_0}^2$ в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{c_0}^2 &= \frac{1}{4} \exp\{-\sigma_\varphi^2\} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!} L\left(\frac{1,13a}{\sqrt{m}}\right) = \alpha_0 \frac{1}{4} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!} L\left(\frac{1,13a}{\sqrt{m}}\right), \\ &\text{где } L(x) = \sqrt{\pi}x^2 \left[\frac{2}{x} \operatorname{erf}\left(\frac{2}{x}\right) - x^2(1 - \exp\{4/x^2\}) \right]; \\ \operatorname{erf}(y) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp\{-t^2\} dt. \end{aligned} \quad (45)$$

Ряд сходится достаточно быстро. Кривые функции $L(x)$ приведены в [8].

Зависимость σ_{ω}^2 от a и σ_{φ} , вычисленная по (45), приведена на рисунке 1, б.

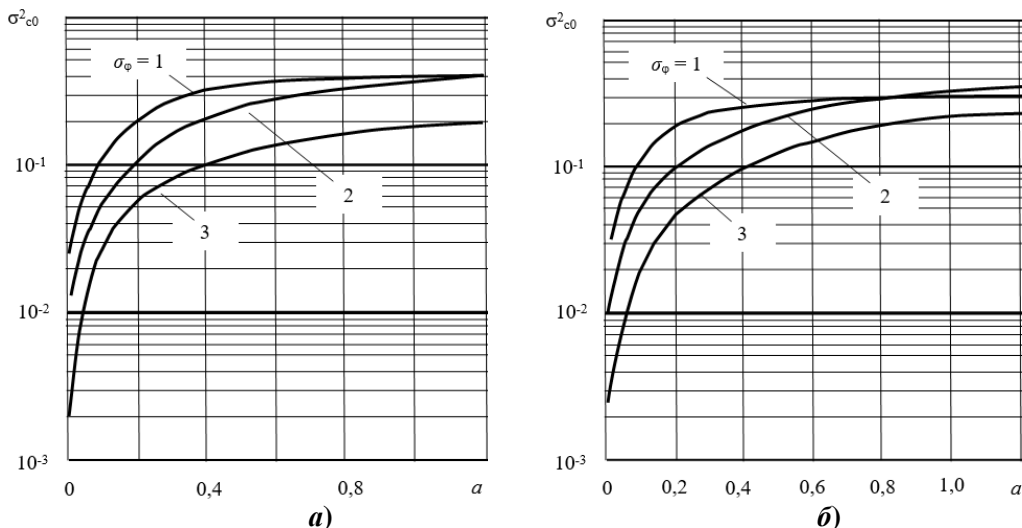


Рисунок 1 – Зависимость $\sigma_{c_0}^2 = f(a)$ при различных значениях σ_{φ} вычисленная по формуле: а – (44); б – (45)

Из рисунка 1 видно, что по мере уменьшения r_{φ} и σ_{φ} (оба эти фактора приводят к уменьшению времени корреляции ФПМ r_k), $\sigma_{c_0}^2$ уменьшается и значение $(\overline{\alpha_{0i}^T})^2$ приближается к значению α_0^2 , что подтверждает сделанные выше выводы.

Соотношение между помеховыми составляющими отдельных реализаций сигнала, искаженного помехой, и ансамбля таких сигналов. Выше было показано, что при стационарной флуктуационной МП математическое ожидание неискаженной части отдельных реализаций сигнала равно неискаженной части для ансамбля реализаций:

$$\overline{m_i(t)} = m(t).$$

Поскольку $m(t) = m_1\{u_m(t)\}$, математическое ожидание помеховой составляющей отдельных реализаций сигнала при стационарной флуктуационной МП равно нулю:

$$\overline{v_i(t)} = m_1\{v_i(t)\} = 0.$$

Сравним корреляционную функцию и энергетический спектр помеховой составляющей отдельной реализации сигнала с корреляционной функцией и энергетическим спектром ансамбля реализаций сигнала, искаженного МП.

Помеховая составляющая $v_i(t)$ отдельной реализации сигнала представляет собой детерминированную функцию конечной длительности T , и ее энергетический спектр определяется соотношением [56]

$$G_{vi}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_{vi}(\tau) \exp\{-j\omega\tau\} d\tau,$$

где $K_{vi}(\tau) = \langle v_i(t)v_i(t-\tau) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v_i(t)v_i(t-\tau) dt$ – временная корреляционная функция.

Нетрудно видеть, что математическое ожидание временной корреляцион-

ной функции $\overline{K_{vi}(\tau)}$ и энергетического спектра $\overline{G_{vi}(\omega)}$ отдельных реализаций представляет собой соответственно среднее значение корреляционной функции $B_{V,cp}(\tau)$ и энергетический спектр помеховой составляющей $v(t)$. Действительно

$$K_{vi}(\tau) = m_1 \langle v_i(t)v_i(t-\tau) \rangle;$$

$$\overline{G_{vi}(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} m_1 \langle v_i(t)v_i(t-\tau) \rangle \exp\{-j\omega\tau\} d\tau.$$

Меняя местами операции усреднения по времени и статистического усреднения, учитывая (2.2.25), (2.2.29), получим

$$\overline{K_{vi}(\tau)} = \langle m_1 \{v_i(t)v_i(t-\tau)\} \rangle = \langle B_v(t, t-\tau) \rangle = B_{v,cp}(\tau);$$

$$\overline{G_{vi}(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} \langle m_1 \{v_i(t)v_i(t-\tau)\} \rangle \exp\{-j\omega\tau\} d\tau =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} B_{v,cp}(\tau) \exp\{-j\omega\tau\} d\tau = G_v(\omega).$$

$K_{vi}(\tau)$ и $G_{vi}(\omega)$ при фиксированных значениях τ и ω представляют собой случайные величины. Математическое ожидание этих случайных величин, как показано выше, соответственно, равно $B_{v,cp}(\tau)$ и $G_v(\omega)$. То есть среднее значение этих величин равны соответствующим характеристикам ансамбля сигналов, искаженных помехой. Но в каждой отдельной реализации сигнала значение $K_{vi}(\tau)$ может отличаться от $B_{v,cp}(\tau)$, а $G_{vi}(\omega)$ – от $G_v(\omega)$. Степень отличия можно охарактеризовать дисперсией случайных величин $K_{vi}(\tau)$ и $G_{vi}(\omega)$.

Вычисление дисперсии $K_{vi}(\tau)$ приводит к громоздким формулам. Поэтому для оценки зависимости $K_{vi}(\tau)$ от соотношения между временем корреляции МП и длительностью сигнала можно рассмотреть дисперсию функции $K_{vi}(\tau)$, которая представляет собой временную корреляционную функцию отдельной реализации $u_m(t)$ сигнала, искаженного помехой:

$$K_{mi}(\tau) = \langle u_{mi}(t)u_{mi}(t-\tau) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u_{mi}(t)u_{mi}(t-\tau) dt.$$

Поскольку $u_{mi}(t)$ представляет собой сумму $v_i(t)$ и $m_i(t)$, а свойства $m_i(t)$ уже были выявлены выше, рассмотрение $u_{mi}(t)$ позволит составить представление о характеристиках $v_i(t)$. Нетрудно показать, что математическое ожидание $\overline{K_{mi}(\tau)}$ равно среднему значению корреляционной функции сигнала $u_m(t)$:

$$\overline{K_{mi}(\tau)} = \langle B_m(t, t-\tau) \rangle = B_{m,cp}(\tau); \quad (46)$$

где $B_m(t, t-\tau) = m_1 \{u_m(t)u_m(t-\tau)\}$.

Дисперсия $K_{mi}(\tau)$ равна

$$\mu_2 \{K_{mi}(\tau)\} = m_1 \{K_{mi}^2(\tau)\} - (\overline{K_{mi}(\tau)})^2 = m_1 \{K_{mi}^2(\tau)\} - B_{m,cp}^2(\tau). \quad (47)$$

Вычислим составляющие правой части (47). Подставляя в (19) значение $u_{mi}(\tau)$, определяемое (2), и выполняя простые преобразования типа (23), получим

$$K_{mi}(\tau) = \frac{1}{2T} \operatorname{Re} \left\{ \exp\{j\omega_c \tau\} \int_0^T \dot{M}_i(t) M_i^*(t-\tau) \dot{U}(t) U^*(t-\tau) dt \right\},$$

где $\dot{M}_i(t)$ – i -я реализация ФПМ. Отсюда легко получить

$$m_1 \{K_{mi}^2(\tau)\} = \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^T \int_0^T m_1 [\dot{M}_i(t_1) M_i^*(t_1-\tau) M_i^*(t_2) \dot{M}_i(t_2-\tau)] \times \right.$$

$$\times \dot{U}(t_1) U^*(t_1-\tau) U^*(t_2) \dot{U}(t_2-\tau) dt_1 dt_2 \left. \right\} +$$

$$+ \operatorname{Re} \left\{ \exp\{j2\omega_c \tau\} \int_0^T \int_0^T m_1 [\dot{M}_i(t_1) M_i^*(t_1-\tau) \dot{M}_i(t_2) M_i^*(t_2-\tau)] \times \right.$$

$$\times \dot{U}(t_1) U^*(t_1-\tau) \dot{U}(t_2) U^*(t_2-\tau) dt_1 dt_2 \left. \right\}. \quad (48)$$

Проведя с функцией $u_m(t)$ те же преобразования, которые были выполнены при выводе формулы (31), для корреляционной функции $B_{m.c.p}(\tau)$ получим:

$$B_{m.c.p}(\tau) = \frac{1}{2T} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_M(\tau) \exp\{j\omega_c \tau\} \int_0^T \dot{U}(t) U^*(t - \tau) dt \right\}. \quad (49)$$

Откуда

$$B_{m.c.p}^2(\tau) = \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ |\dot{B}_M(\tau)|^2 \int_0^T \int_0^T \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \dot{U}(t_2) U^*(t_2 - \tau) dt_1 dt_2 \right\} + \\ + \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_M^2(\tau) \exp\{j2\omega_c \tau\} \int_0^T \int_0^T \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \dot{U}(t_2) U^*(t_2 - \tau) dt_1 dt_2 \right\}. \quad (50)$$

Подстановка (48) и (50) в (47) дает

$$\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\} = \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^T \int_0^T [X_1(\tau, t_2 - t_1) - |\dot{B}_M(\tau)|^2] \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \times \right. \\ \left. \times U^*(t_2) \dot{U}(t_2 - \tau) dt_1 dt_2 \right\} + \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \exp\{j2\omega_c \tau\} \int_0^T \int_0^T [X_2(\tau, t_2 - t_1) - |\dot{B}_M(\tau)|^2] \times \right. \\ \left. \times \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \dot{U}(t_2) U^*(t_2 - \tau) dt_1 dt_2 \right\}, \quad (51)$$

где

$$X_1(\tau, t_2 - t_1) = m_1 [\dot{M}_i(t_1) M_i^*(t_1 - \tau) M_i^*(t_2) \dot{M}_i(t_2 - \tau)], \quad (52)$$

$$X_2(\tau, t_2 - t_1) = m_1 [\dot{M}_i(t_1) M_i^*(t_1 - \tau) \dot{M}_i(t_2) M_i^*(t_2 - \tau)] \quad (53)$$

– четвертые смешанные начальные моменты ФПМ $M(t)$.

Так как по условию последняя функция является стационарной, то эти моменты зависят от разности $t_2 - t_1$ и не зависят от начала отсчета времени t_1 .

После замены переменной $t_2 = t_1 + t$ и изменения порядка интегрирования по переменным t_1 и t , формула (51) дает

$$\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\} = \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^T [X_1(\tau, t) - |\dot{B}_M(\tau)|^2] dt \int_0^{T-t} \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \times \right. \\ \left. \times \dot{U}(t_1 + t - \tau) dt_1 \right\} + \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_{-T}^0 [X_1(\tau, t) - |\dot{B}_M(\tau)|^2] dt \int_{-t}^T \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \times \right. \\ \left. \times U^*(t_1 + t) \dot{U}(t_1 + t - \tau) dt_1 \right\} + \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \exp\{j2\omega_c \tau\} \int_0^T [X_2(\tau, t) - \dot{B}_M^2(\tau)] dt \times \right. \\ \left. \times \int_0^{T-t} \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) \dot{U}(t_1 + t) U^*(t_1 + t - \tau) dt_1 \right\} + \frac{1}{8T^2} \operatorname{Re} \left\{ \exp\{j2\omega_c \tau\} \times \right. \\ \left. \times \int_{-T}^0 [X_2(\tau, t) - \dot{B}_M^2(\tau)] dt \int_{-t}^T \dot{U}(t_1) U^*(t_1 - \tau) U^*(t_1 + t) \dot{U}(t_1 + t - \tau) dt_1 \right\}. \quad (54)$$

Учитывая пределы изменения переменной t в каждом из четырех членов правой части (54) и полагая, что огибающая сигнала $U(t)$ – прямоугольная, нетрудно видеть, что абсолютное значение внутренних интегралов, входящих в эти члены, не превышает величины

$$\int_0^T U^4(t) dt = \frac{4E^2}{T},$$

где E – энергия неискаженного сигнала.

С учетом этого (54) дает следующее соотношение для оценки дисперсии временной корреляционной функции отдельных реализаций сигнала, искаженного стационарной флуктуационной МП:

$$\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\} \leq \frac{E^2}{2T^3} \operatorname{Re} \left\{ \int_{-T}^T [X_1(\tau, t) + \exp\{j2\omega_c \tau\} X_2(\tau, t)] dt \right\} - \frac{E^2}{T^2} |\dot{B}_M(\tau)|^2 - \\ - \frac{E^2}{T^2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{B}_M^2(\tau) \exp\{j2\omega_c \tau\} \right\}, \quad (55)$$

где $X_1(\tau, t)$ и $X_2(\tau, t)$ определяются соответственно (52) и (53) при $t_2 = t_1 + t$.

Чтобы оценить относительную величину дисперсии $\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\}$, целесооб-

разно отнести ее к квадрату максимального значения математического ожидания $K_{Mi}(\tau)$.

Последнее, согласно (46) и (49), равно

$$\overline{K_{Mi}(0)} = B_{m.c.p.}(0) = \frac{E}{T} \dot{B}_M(0) = \frac{E}{T} \overline{\eta^2},$$

где $\overline{\eta^2}$ – второй начальный момент мгновенных значений множителя амплитудный искажений $\eta(t)$.

Тогда из (55) получим

$$\frac{\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\}}{[\overline{K_{Mi}(0)}]^2} \leq \frac{1}{2T(\overline{\eta^2})^2} \operatorname{Re} \left\{ \int_{-T}^T [X_1(\tau, t) + \exp\{j2\omega_c\tau\}X_2(\tau, t)] dt \right\} - (\overline{\eta^2})^{-2} \left[|\dot{B}_M(\tau)|^2 + \operatorname{Re}\{\exp\{j2\omega_c\tau\}\dot{B}_M^2(\tau)\} \right]. \quad (56)$$

Выражение (56) позволяет оценить отличие временной корреляционной функции отдельных реализаций сигнала, искаженного МП, от корреляционной функции, характеризующей ансамбль таких сигналов.

В качестве примера рассмотрим распространенный случай, когда флуктуационная МП вызывает фазовые искажения сигнала, причем отклонения фазы подчиняются нормальному закону распределения. В данном случае имеем

$$\dot{M}(t) = \exp\{j\varphi(t)\}; \overline{\eta^2} = 1; B_M(\tau) = \exp\{-\sigma_\varphi^2[1 - r_\varphi(\tau)]\},$$

где $r_\varphi(\tau)$ – коэффициент корреляции фазовых искажений $\varphi(t)$.

Определим функции $X_1(\tau, t)$ и $X_2(\tau, t)$. Эти функции при фазовых искажениях сигнала могут быть выражены через характеристическую функцию искажений фазы:

$$X_1(\tau, t) = m_1\{\exp[j(\varphi(t_1) - \varphi(t_1 - \tau) - \varphi(t_1 + t) + \varphi(t_1 + t - \tau))]\} = \theta_4^\varphi(1, -1, -1, 1); \quad (57)$$

$$X_2(\tau, t) = m_1\{\exp[j(\varphi(t_1) - \varphi(t_1 - \tau) - \varphi(t_1 + t) - \varphi(t_1 + t - \tau))]\} = \theta_4^\varphi(1, -1, 1, -1), \quad (58)$$

где $\theta_4^\varphi(x_1, x_2, x_3, x_4)$ – четырехмерная характеристическая функция значений искажений фазы $\varphi(t)$ в моменты времени $t_1, t_1 - \tau, t_1 + t, t_1 + t - \tau$.

При нормальном законе распределения $\varphi(t)$, используя общую формулу четырехмерной характеристической функции [2] и соотношения (57), (58), получим

$$X_1(\tau, t) = \exp\{-\sigma_\varphi^2[2 - 2r_\varphi(\tau) - 2r_\varphi(t) + r_\varphi(t + \tau) + r_\varphi(t - \tau)]\}; \quad (59)$$

$$X_2(\tau, t) = \exp\{-\sigma_\varphi^2[2 - 2r_\varphi(\tau) + 2r_\varphi(t) - r_\varphi(t + \tau) - r_\varphi(t - \tau)]\}. \quad (60)$$

Как видно из этих формул, в данном случае функции $X_1(\tau, t)$ и $X_2(\tau, t)$ – действительные. Подстановка (59), (60) в (56), с учетом, что

$$\dot{B}_M(\tau) = \exp\{-\sigma_\varphi^2[1 - r_\varphi(\tau)]\},$$

дает следующее соотношение для оценки относительной величины дисперсии корреляционной функции отдельных реализаций сигнала при нормально распределенных фазовых искажениях:

$$\frac{\mu_2\{K_{Mi}(\tau)\}}{[\overline{K_{Mi}(0)}]^2} \leq y(\tau),$$

где

$$y(\tau) = \left[\frac{1}{2T} \int_{-T}^T \exp\{\sigma_\varphi^2[2r_\varphi(\tau) - r_\varphi(t + \tau) - r_\varphi(t - \tau)]\} dt - 1 + \frac{\cos 2\omega_c\tau}{2T} \times \right.$$

$$\times \int_{-T}^T \exp\{-\sigma_\varphi^2[2r_\varphi(\tau) - r_\varphi(t + \tau) - r_\varphi(t - \tau)]\} dt - \cos 2\omega_c \tau] \times \\ \times \exp\{-2\sigma_\varphi^2[1 - r_\varphi(\tau)]\}.$$

Функция $y(\tau)$ представляет собой быстро осциллирующую, с частотой $2\omega_c$, функцию, которая принимает максимальные значения при $\cos 2\omega_c \tau = \pm 1$. Закон изменения максимумов этой функции – ее огибающая – определяется выражением

$$Y(\tau) = \left[\frac{1}{2T} \int_{-T}^T \exp\{\sigma_\varphi^2[2r_\varphi(\tau) - r_\varphi(t + \tau) - r_\varphi(t - \tau)]\} dt - 1 \pm \right. \\ \left. \pm \int_{-T}^T \exp\{-\sigma_\varphi^2[2r_\varphi(\tau) - r_\varphi(t + \tau) - r_\varphi(t - \tau)]\} dt \pm 1 \right] \exp\{-2\sigma_\varphi^2[1 - r_\varphi(\tau)]\}. \quad (61)$$

В (61) должен быть сохранен тот знак, который соответствует большему значению $Y(\tau)$. При этом $Y(\tau)$ дает верхнюю оценку относительной величины дисперсии корреляционной функции отдельных реализаций при данном значении τ .

Пусть коэффициент корреляции фазовых искажений аппроксимируется выражением

$$r_\varphi(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{2r_\varphi}, & |\tau| \leq 2r_\varphi; \\ 0, & |\tau| > 2r_\varphi, \end{cases} \quad (62)$$

где r_φ – время корреляции фазовых искажений.

Подставляя (62) в (61) и выполняя интегрирование, получим при $0 \leq \tau \leq r_\varphi$, $T \geq 2r_\varphi + \tau$

$$Y(\tau) = \exp\left\{-\sigma_\varphi^2 \frac{\tau}{r_\varphi}\right\} \frac{2r_\varphi}{T\sigma_\varphi^2} \left[\text{ch} 2\sigma_\varphi^2 - \text{ch} 2\sigma_\varphi^2 \left(2 - \frac{\tau}{2r_\varphi}\right) + \text{ch} \frac{\tau}{r_\varphi} - \text{ch} \sigma_\varphi^2 \frac{\tau}{2r_\varphi} \right]. \quad (63)$$

Выражение (63) показывает, что $Y(\tau)$ линейно зависит от отношения времени корреляции искажений фазы к длительности сигнала r_φ/T . Выше было показано, что $Y(\tau)$ дает верхнюю оценку относительной величины дисперсии корреляционной функции отдельных реализаций. Отсюда следует, что по мере увеличения отношения T/r_φ эта дисперсия уменьшается, и значение корреляционной функции отдельной реализации $K_{mi}(\tau)$ приближается к математическому ожиданию этой функции – к среднему значению корреляционной функции ансамбля сигналов, искаженных МП $B_{m,ср}(\tau)$. Такое же соотношение имеет место и для корреляционных функций помеховой составляющей $v(t)$.

На рисунке 2 приведены зависимости $Y(\tau)$ от T/r_φ при нескольких значениях σ_φ^2 и τ/r_φ , вычисленных по (63). Представленные зависимости показывают, что уже при $T/r_\varphi = 5$ относительная величина дисперсии корреляционной функции отдельных реализаций достаточно мала и временная корреляционная функция, определенная для отдельной реализации искаженного помехой сигнала близка к корреляционной функции, определенной для ансамбля таких сигналов.

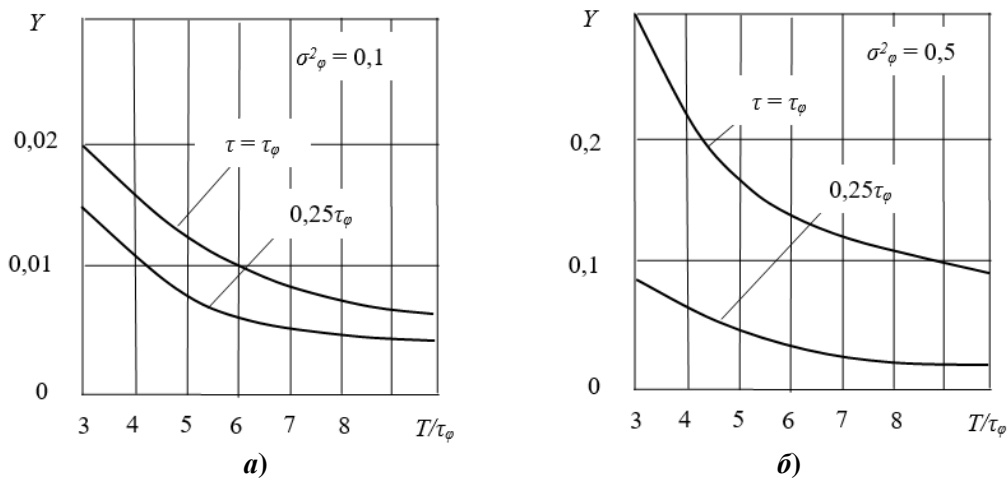


Рисунок 2 – Зависимость $Y(\tau) = f(T/r_\phi)$ при различных значениях τ/r_ϕ вычисленных для: а – $\sigma_\phi^2 = 0,1$; б – $\sigma_\phi^2 = 0,5$

Выводы. Анализ результатов математического моделирования характеристик сигнала, искаженного МП показал, что при детерминированных, квазидетерминированных и стационарных флуктуационных МП этот сигнал может быть представлен суммой двух составляющих – неискаженной части сигнала и аддитивной помеховой составляющей, появившейся в результате воздействия МП, что полностью совпадает с результатами, полученными в работах [1, 6]. Рассмотренные характеристики математического моделирования сигналов, искаженных МП, имеют свойства, в определенном смысле сходные со свойствами характеристик эргодических случайных процессов, хотя сами такие сигналы, безусловно, такими не являются.

Проведенный анализ результатов математического моделирования показал, что характеристики, определенные для ансамбля сигналов, искаженных МП, дают достаточное представление об искажениях отдельных реализаций такого сигнала в тех случаях, когда время корреляции искажений много меньше длительности сигнала. Было показано, что в этих случаях можно по одной реализации судить о характеристиках всего ансамбля сигналов.

Литература

1. Кремер И.Я. О влиянии модулирующих (мультипликативных) помех на характеристики выходного сигнала оптимального приемника // Радиотехника и электроника. 1972. т. 17. № 3. С.68-74.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Радио и связь. 1989. 656 с.
3. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. Т. 1, 2. Пер. с англ. Под ред. Б.Р. Левина // М.: Сов. Радио. 1961 и 1962. 1621 с.
4. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления // М.: Физматгиз. 1960. 883 с.

5. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
6. Харькевич А.А. Борьба с помехами // М.: Физматгиз. 1963. 275 с.
7. Хелстром К. Вопросы статистической теории антенн // М.: Советское радио. 1970. 384 с.
8. Шифрин Я.С. Влияние флуктуаций в падающей волне на дифракционную картину в фокальной плоскости линзы // Акустический журнал. 1961. т. 8. вып. 2. С. 248-255.

УДК 004

Сетевые способы защиты веб-приложений

В.Ю. Горелик, доктор технических наук, профессор кафедры

«Системы управления транспортной инфраструктурой»,

Д.С. Скоморохов, магистрант 2-го курса кафедры

«Системы управления транспортной инфраструктурой»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта» (МИИТ), г. Москва

В статье рассматриваются вопросы обеспечения защиты веб-приложений от сетевых угроз. Проведен анализ методов обеспечения сетевой безопасности и безопасности веб-приложений, рассмотрены особенности их осуществления и реализации. Описан процесс комбинирования указанных средств при проектировании и реализации системы защиты для обеспечения безопасности информационной среды предприятий и используемых веб-приложений.

Сетевые атаки, сетевой трафик, кибератака, веб-приложение, безопасность веб-приложения, защита веб-приложения, система обнаружения и предотвращения вторжений, фаерволл, NBAD, NBA, IDS, IPS, NIPS, WAF.

Networked web application security

V.Y. Gorelik, doctor of technical sciences,

professor of the department «Transport Infrastructure Management Systems»,

D.S. Skomorokhov, 2nd year undergraduate of the department

«Transport Infrastructure Management Systems»,

Russian University of Transport (MIIT), Moscow

This article discusses the issues of protecting web applications from network threats. The analysis of methods for ensuring network security and web application security is carried out, the features of their implementation and implementation are considered. The process of combining these tools in the design and implementation of a security system to ensure the security of the information environment of enterprises and used web applications is described.

Network attacks, network traffic, cyber attack, web application, web application security, web application protection, intrusion detection and prevention system, firewall, NBAD, NBA, IDS, IPS, NIPS, WAF.

На сегодняшний день актуальной проблемой информационной безопасности является обеспечение защиты веб-приложений вследствие их возрастающей интерактивности, усложняющегося поведения и поддержки новых протоколов [5]. Обусловлено это стремительным развитием компьютерных сетей, информационных технологий, увеличением количества веб-приложений. Следует отметить, что современные архитектуры развёртывания веб-приложений достаточно сложны и

требуют интеграции многих гетерогенных технологий, создавая потенциал для многочисленных уязвимостей. Ускоренные циклы разработки и постоянные обновления веб-приложений еще больше усугубляют ситуацию. В таких условиях бизнес-риски компаний слишком велики, чтобы игнорировать данную проблему, так как уязвимости в веб-приложениях подвергают критически важные бизнес-операции и конфиденциальные данные опасности. Значительные финансовые потери могут возникнуть в результате непредвиденных задержек в бизнес-процессах, кражи интеллектуальной собственности, и потери доверия клиентов, а также репутации бренда. В связи с этим все большее значение получают вопросы, связанные с безопасностью сетевых ресурсов, требующих новых подходов обеспечения защиты от сетевых атак, как действий, ориентированных на получение контроля над целевой сетью путем присвоения административных прав. При этом, конечной задачей атакующей стороны является дестабилизация сайтов и серверов, вывод их из строя, получение личных данных каждого пользователей целевых ресурсов [3].

Основная часть. Быстрое и повсеместное распространение глобальной сети Интернет стало основой для активного и повсеместного использования компьютерных сетей, что в свою очередь повлияло на возможности для компаний, осуществляющих свою деятельность и предоставляющих свои услуги используя возможности глобальной сети. Для реализации своих услуг компании используют технические ресурсы, которые позволяют выполнять обработку информации и неработоспособность информационных систем организации влекут за собой значительные потери, выраженные в потере клиентов и финансовых ресурсов. Одним из важных ресурсов организаций являются веб-приложение, при этом, отсутствуют единые стандарты их безопасного программирования, что приводит к ошибкам в разработке ПО и появлению серьезных уязвимостей в этих приложения. Уязвимое веб-приложение может быть легко скомпрометировано посредством использования не только специализированных средств, но и простого браузера. Вывод из строя информационных ресурсов может происходить в результате вредоносного действия протоколов межсетевого взаимодействия на целевой ресурс, который называется удаленной сетевой атакой. Для успешного противодействия сетевым атакам разрабатываются методы защиты, входящие в комплекс сетевой безопасности, которые позволяют защитить веб-приложения от ряда угроз, в том числе и сетевых атак [1]. Сетевая безопасность представляет собой набор политик и требований, предъявляемых к инфраструктуре сети организаций, для предотвращения и мониторинга попыток несанкционированного доступа, модификации информации, возможного отказа работы всей компьютерной сети и других сетевых ресурсов. В случае использования средств защиты от целевых атак, а также средств предотвращения вторжений риски значительно уменьшаются, и шансы злоумышленников на успешную атаку сокращаются. Это в свою очередь позволяет организовать непрерывный рабочий процесс и снизить расходы компании за простои. В связи с тем, что существует множество как активных, так и пассивных атак, термин сетевой безопасности предполагает под собой большое количество программных и аппаратных средств для защиты информации, а именно: прокси-серверы; средства обнаружения и предотвращения вторжений (IPS/IDS); антивирусы; средства мониторинга сети; средства для защиты от целевых атак; VPN;

межсетевые экраны [10]. Использование указанных средств дает возможность защитить информационные системы организации от вторжения и обеспечивают безопасность веб-ресурсов компании, а также пользовательских данных и клиентских компьютеров.

Более подробно рассмотрим указанные элементы обеспечения сетевой безопасности. Защита от целевых атак – это комплекс программных или аппаратных средств, направленных на защиту внутренней сети компании и блокирование целенаправленных атак злоумышленников в режиме реального времени. В общем смысле системы защиты от целевых атак производят глубокий анализ сетевого трафика узлов сети или сегментов, а также протоколов сетевого, транспортного и прикладного уровней, способны предотвращать попытки несанкционированного доступа и проводить профилактику запрещенной сетевой активности. Для обеспечения защиты от целевых атак могут использоваться следующие решения: NIPS (могут быть самостоятельными аппаратными устройствами или являться модулем для маршрутизаторов, коммутаторов и другого сетевого оборудования); NBA (Network Behavior Analysis, или анализ поведения сети), также включают NBAD (Network Behavior Anomaly Detection, нацеленные на аномалии поведения в сети) – в отличие от NIPS, отслеживают, что происходит внутри сети, агрегируя данные из множества точек входа с целью поддержки автономного анализа.

Основной причиной использования NIPS служит возможность системы защищать целостность, доступность и конфиденциальность информации, предотвращая от вирусов, троянов, червей и полиморфных угроз. С целью обнаружения вторжений сравниваются битные последовательности трафика с принятым за эталон образцом атаки. Другим методом является непрерывный анализ потока данных и на его основе фиксация подозрительной сетевой активности или нарушения принятой в компании политики безопасности. Системы анализа сетевого поведения устанавливают контрольные значения обычного трафика, после чего отслеживают сетевую активность и неизвестные флаги, а также необычные шаблоны, которые могут указывать на наличие угрозы. NBA могут отслеживать и записывать тенденции использования полосы пропускания и протоколов. Таким образом позволяя защитить инфраструктуру от вредоносных программ и уязвимостей нулевого дня. Системы NBAD отслеживают критические характеристики сети в реальном времени в пассивном режиме и в случае обнаружения аномалий или странных тенденций, которые могут указывать на наличие угрозы, генерируют сигнал тревоги [9, 11].

Системы обнаружения аномалий сетевого поведения могут в том числе контролировать поведение отдельных абонентов сети. В то время как работа NIPS-систем основана на анализе данных прикладного уровня, работа NBA и NBAD основана на статическом анализе IP. Сигнатурный анализ NIPS как один из способов обнаружения противопоставляется отсутствию сигнатурных баз в NBA и NBAD, что означает зависимость эффективности систем обнаружения вторжений от образцов в базах данных разработчиков. Преимуществом NBA- и NBAD-систем является возможность работы с зашифрованным трафиком. Несмотря на различия, каждое из представленных решений не заменяет, а дополняет друг друга, так как базовой концепцией NIPS является защита периметра и критических точек сети от уже известных атак; NBA и NBAD осуществляют диагностику всей

сети, аккумулируя данные с устройств сетевой инфраструктуры и устройств безопасности, показывая лучшие результаты в защите от атак нулевого дня и инсайдерских атак соответственно [10].

Системы мониторинга сети – это программное обеспечение, позволяющее отслеживать состояние сетевых устройств, их работоспособность, исправность и другие характеристики. При этом системы мониторинга сети позволяют оповещать администраторов при возникновении каких-либо сбоев. Системы мониторинга сети можно разделить на те, что отслеживают производительность сети и сигнализируют при перегрузке каналов, а также на те, что производят мониторинг сети с целью поиска сбоев и других проблем, связанных с работоспособностью серверного оборудования и других систем. Основным способом отслеживания работоспособности является отправка запросов устройствам. Это могут быть HTTP-запросы для проверки состояния веб-сервера. Во время отправки таких запросов производится мониторинг таких показателей, как время отклика, доступность, время безотказной работы и другие [9].

Контроль сетевого доступа (NAC) – это комплекс технических мер и средств, реализующий политики и правила доступа в сеть, который также обеспечивает защиту всех конечных устройств, имеющих к ней доступ, от присутствующих внутри угроз безопасности. Для выполнения требований политик информационной безопасности на предприятиях ответственные сотрудники должны контролировать учетные данные подключившихся к сервисам пользователей, информацию об устройстве, с которого было произведено подключение, и какими именно приложениями сотрудник может воспользоваться в рамках установленной сессии. Системы NAC позволяют выполнять эту задачу и обеспечить централизованное управление и администрирование политик доступа сотрудников в информационную среду организации, или административным элементам управления компонентами информационных систем. Действия NAC-системы заключаются в том, чтобы выяснить, безопасно ли устройство, предпринимающее попытку подключения к сети, и соответствует ли его конфигурация определенным правилам доступа. После процедуры идентификации система принимает решение о том, какой уровень доступа к системным ресурсам необходимо предоставить [6].

Межсетевой экран представляет собой элемент корпоративной сетевой инфраструктуры, выполняющий блокировку поступающего на него трафика, пропуская только разрешенные данные. Сетевой экран предотвращает несанкционированный доступ, который осуществляется с использованием уязвимостей в программном обеспечении или сетевых протоколах. Он выполняет пропуск или запрет трафика исходя из его сравнения с настроенными правилами. Так как современные атаки могут быть выполнены и с внутренних узлов сети, популярным местом для установки файрволла становится не только граница периметра, но и между сегментами корпоративной сети. Файрволлы нового поколения (NGFW) включают в себя функции традиционных межсетевых экранов, системы предотвращения вторжений и DPI. Такие решения позволяют выполнять не только фильтрацию пакетов на уровне портов и протоколов, а также на основе возможностей приложений [10].

Защита уязвимых веб-приложений может осуществляться путем устранения уязвимостей в веб-приложении или с помощью использования специализиро-

ванных средств защиты веб-приложений Web Application Firewall (межсетевой экран для веб-приложений) представляет собой устройство безопасности (аппаратное или виртуальное), основной задачей которого является защита веб-приложений путем проверки XML/SOAP семантики потокового трафика, а также проверки HTTP/HTTPS трафика с целью выявления различных атак на уровне приложений. Межсетевой экран для веб-приложений действует как прокси-сервер, но благодаря способности анализировать HTTPS трафик (путем импорта сертификата безопасности целевого сервера), также может выполнять и другие функции, такие как терминация SSL трафика и балансировка нагрузки сервера. Кроме того, WAF поддерживает кластеризацию, а также выполняет акселерацию веб-приложений [11].

Web Application Firewall (WAF) поддерживает два основных режима разветвления: Gateway (bridge mode, transparent proxy, reverse proxy); Monitor (режим сетевого мониторинга через SPAN порт) [5, 12].

Ключевые возможности межсетевого экран для веб-приложений:

- поддержка всех применимых к веб-приложениям PCI DSS требований, связанных с компонентами системы в среде обработки данных по платежным картам;
- оперативная реакция (определяется активной политикой и/или набором правил) на угрозы и атаки;
- проверка входящего HTTP/HTTPS трафика и запросов к веб-приложениям и принятие защитных мер на основе активных политик и правил (разрешить, блокировать, предупредить);
- поддержка и соблюдение корректного функционирования положительной и отрицательной модели безопасности;
- изучение и проверка веб-контента, созданного с помощью Hypertext Markup Language (HTML), Dynamic HTML (DHTML), Cascading Style Sheets (CSS) и основных протоколов доставки веб-контента, таких как Hypertext Transport Protocol (HTTP) и Transport Protocol Hypertext over SSL (HTTPS);
- предотвращение утечки данных – проверка исходящего HTTP/HTTPS трафика и запросов к веб-приложениям и принятие защитных мер на основе активных политик и правил, а также своевременная запись произошедших событий в журнал событий;
- анализ сообщений веб-сервисов, в особенности публичных. Как правило, включает себя проверку Simple Object Access Protocol (SOAP) и eXtensible Markup Language (XML), а также Remote Procedure Call (RPC) ориентированные модели взаимодействия с веб-сервисами, основанные на базе HTTP;
- проверка любого протокола или конструкции данных (проприетарных или стандартизированных), которые используются для передачи данных в/из веб-приложения.
- защита от угроз, направленных непосредственно на WAF;
- терминация SSL и/или TLS (расшифровка и проверка трафика перед отправкой к веб-приложению) [12].

Заключение. В современной активной информационной среде информа-

ционные ресурсы компаний требуют внедрения средств защиты, которые позволят повысить надежность функционирования информационной среды предприятия, обеспечат безотказность в работе веб-приложений и защиту личных данных сотрудников и клиентов организации. Для эффективной защиты информационных технологий организации в качестве средств обеспечения безопасности следует использовать в комплексном применении следующие средства: прокси-серверы; средства обнаружения и предотвращения вторжений (IPS/IDS); антивирусы; средства мониторинга сети; средства для защиты от целевых атак; VPN; межсетевые экраны. Комбинирование указанных средств при проектировании и реализации системы защиты позволит максимально защитить информационную среду предприятий и веб-приложения, которые используются в этих организациях.

Литература

1. Браницкий А.А., Котенко И.В. Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 2(45). С. 207-243.
2. Вишняков В.А. Информационная безопасность в корпоративных системах, электронной коммерции и облачных вычислениях: методы, модели, программно-аппаратные решения // Минск: Бестпринт. 2016. 276 с.
3. Защита от сетевых атак [Электронный ресурс]. URL: <https://xserver.a-real.ru/support/useful/zashchita-ot-setevykh-atak/> (дата обращения: 13.09.2019).
4. Компьютерные атаки: кто нужен преступникам? KasperskyLab [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kaspersky.ru> (дата обращения: 10.09.2019).
5. Леонькова И.П. Анализ методов обеспечения безопасности веб-приложений // Молодой ученый. 2019. № 12. С. 25-28 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/250/57416/> (дата обращения: 13.09.2019).
6. Назарова О.В. Обеспечение комплексной системы защиты информационных ресурсов компании // Аллеи науки. 2017. № 7. С. 762-766.
7. Частникова В.А., Картамышев Д.А., Власов К.А. Нейросетевой метод защиты информации от ddos-атак // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1 (часть 1).
8. Низамутдинова М. Тактика защиты и нападения на web-приложения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bhv.ru/books/book.php?id=10819> (дата обращения: 10.09.2019).
9. Оладько В.С. Механизмы защиты web-приложений от внедрения вредоносного кода // Новый университет. Серия: Технические науки. 2015. № 3-4 (37-38). С. 64-68.
10. Сетевая безопасность компьютерных сетей компаний [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anti-malware.ru/security/network-security> (дата обращения: 10.09.2019).
11. Positive research. Сборник практических исследований по безопасности. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ptsecurity.com/upload/ptru/analytics/Positive_Research-2016-rus.pdf/ (дата обращения: 10.09.2019).
12. Web Application Firewall [Электронный ресурс]. URL: <http://allta.com.ua/nashi-resheniya/informacionnaya-bezopasnost/waf> (дата обращения: 10.09.2019).

УДК 629.7

Исследование возможностей интеграции технологий больших данных и блокчейн

А.И. Кузнецов, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проведен анализ требований к обработке больших данных с использованием технологии блокчейн, показано, что в ряде проектов эти технологии, несмотря на различие архитектур, можно использовать совместно. Поставлена задача создать в компьютерной среде модель, которая показывает принцип обработки больших данных о продажах недвижимости на основе децентрализованной платформы технологии блокчейн. Определены архитектура и характеристики контрактов для микросервисов распределенного приложения.

Источники данных, скорость обработки данных, цифровая запись, система идентификации.

Exploring the feasibility of integrating big data and blockchain technologies

A.I. Kuznetsov, graduate student,

State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

An analysis of the requirements for processing big data using blockchain technology is carried out it is shown that in a number of projects these technologies, despite the difference in architectures, can be used together. The task is to create a model in a computer environment that shows the principle of processing big data on real estate sales on the basis, of a decentralized blockchain technology platform. The architecture and characteristics of contracts for microservices of a distributed application are defined.

Data sources, data processing speed, digital recording, identification system.

Введение

С каждым годом объёмы информации, которой обмениваются предприятия и клиенты, растёт, и вопрос обработки больших данных (Big Data) в информационно-коммуникационных системах встаёт всё острее. Проблемы при обработке больших данных заключаются в том, что специалисты, которые принимают важнейшие решения, не всегда имеют прямой доступ ко всему объёму накопленных данных и отделам, отвечающим за их хранение и обработку. Многие современные компании прибегают к технологии Big Data, не создавая для этого надлежащей инфраструктуры для надежного хранения огромных массивов данных и их прозрачности, которая означает, что данные доступны всем пользователям, и их не-

возможно удалить или подделать. Прозрачность работы с данными осуществляет технология блокчейн, но существуют проблемы с совместным использованием этой технологии и технологии больших данных. Актуально создание такой инфраструктуры системы управления большими данными, которая смогла бы обеспечить бесконфликтность и прозрачность работы с данными с использованием технологии блокчейн.

Анализ проектов, совмещающих технологии блокчейн и больших данных

При обработке больших данных должен быть реализован следующий функционал: многопользовательский режим работы; администрирование и управление пользователями системы; обеспечение разных уровней доступа пользователей к системе; бесконфликтность и прозрачность работы с данными; сохранение и обработка данных в едином хранилище; мониторинг состояния с помощью набора инструментов для получения информации о воздействии на контролируемые объекты.

Блокчейны позволяют реализовать этот функционал. Они имеют архитектуру распределенной одноранговой сети, в которой не доверяющие участники могут безопасно взаимодействовать с каждым из них без необходимости наличия доверенного органа. Чтобы достичь этого, блокчейн организовывается как набор взаимосвязанных механизмов [2, С.5], которые предоставляют специфические функции для инфраструктуры, как показано на рисунке 1.

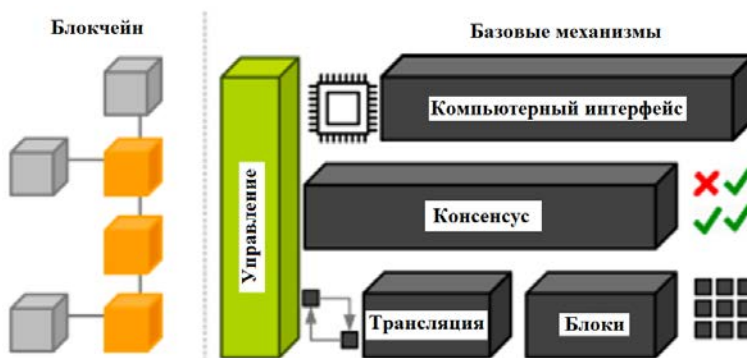


Рисунок 1 – Архитектура технологии блокчейн [сделано авторами]

На самом нижнем уровне инфраструктуры, приведенной на рисунке 1, имеются подписанные транзакции между узлами. Эти транзакции означают соглашение между двумя участниками, которое может включать передачу физических или цифровых активов, выполнение задачи и т.д. По крайней мере, один участник подписывает эту транзакцию, и она распространяется среди ее соседей. Как правило, любой объект, который подключается к блокчейну, называется узлом. Однако узлы, которые проверяют все правила блокчейна, называются полными узлами. Эти узлы группируют транзакции в блоки, и они несут ответственность за определение того, являются ли транзакции действительными и должны ли они храниться в цепочке блоков, а какие нет.

Технология больших данных основана на интеграции информации, соби-

раемой из различных источников данных. Технология блокчейн основана на хранении копий информационных цепочек в распределенном приложении, реализованном множеством различных компьютеров. Децентрализованное хранение и последовательный характер записи данных в блокчейне обуславливает достаточно низкую скорость их считывания. Однако уже реализованы проекты с достаточно успешным совмещением технологий блокчейн и больших данных [1]. Основные характеристики этих проектов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Проекты, совмещающие технологии блокчейн и больших данных [составлено авторами]

Название проекта	Задачи проекта	Преимущества
Облачные сервисы хранения больших данных Storj и FileCoin	Обеспечение надежности, абсолютной неизменности и защиты данных от несанкционированного доступа	Сокращение стоимости хранения данных на 90% по сравнению с подобными решениями от Amazon Web Services' Cloud
Omnilytics (информационный сервис)	Объединение блокчейн с аналитикой больших данных по прогнозированию тенденций в различных отраслях, финансам, аудиту	Поддержка smart-контрактов, распределенной идентификации данных, обмен информацией через API и другие протоколы
Rublix (международная торговая платформа)	Проверка подлинности и авторитета трейдеров для криптовалютных инвесторов	Предоставление доступа к рыночной информации для уменьшения текущей путаницы
Datum (децентрализованная сеть хранения информации)	Монетизация индивидуальных данных, управление токеном доступа к данным (DAT, Data Access Token)	Обеспечение технологией блокчейн прозрачности всей цепочки поставок, обеспечение необходимой аналитики технологией больших данных
Provenance (информационный сервис)	Хранение и предоставление данных о происхождении продуктов/изделий	

Свойство «быть большим» является не самостоятельным свойством данных, а зависит от характеристики системы, применяемой для их обработки.

Характеристики технологии блокчейн

В зависимости от типа блокчейна существуют разные механизмы консенсуса [3]. Наиболее известным является PoW (от англ. Proof-of-Work – доказательство работы). PoW требует решения сложного вычислительного процесса, такого как поиск хешей с конкретными шаблонами, например, ведущее число нулей, чтобы обеспечить аутентификацию и проверяемость. Вместо разделения блоков пропорционально относительным показателям хэширования майнеров (то есть их мощности майнинга), протоколы PoS (от англ. Proof-of-Stake – доказательство доли) делят блоки пропорционально текущему богатству майнеров. Таким образом, выбор является более справедливым и препятствует доминированию самого богатого участника в сети [4, С.225]. Многие блокчейны, такие как Ethereum, постепенно переходят на PoS из-за значительного снижения энергопотребления и улучшения масштабируемости, о чем писал в своей работе Крис Данен [5, С.23].

Современная литература классифицирует блокчейн-сети несколькими способами (В. Бутерин, 2015 [6, С.11]; Eris Industries, 2016 [7] и др.). Эти категории формируются в соответствии с управлением и разрешениями сети как общедоступные, частные и федеративные.

В общественных блокчейнах (permissionless) любой желающий может

присоединиться в качестве нового пользователя. Кроме того, все участники могут выполнять такие операции, как сделки или контракты. В частных блокчейнах, которые наряду с федеративными относятся к разрешенной категории blockchain, как правило, белый список разрешенных пользователей определяется с определенными характеристиками и разрешениями на сетевые операции. Федеративный блокчейн представляет собой гибридную комбинацию публичных и частных блокчейнов [8, С.86]. Хотя он имеет схожий уровень масштабируемости и защиты конфиденциальности с private blockchain, их основное отличие заключается в том, что вместо одного объекта для проверки процессов транзакций выбирается набор узлов, называемых узлами-лидерами. Это позволяет частично децентрализовать конструкцию, в которой узлы-лидеры могут предоставлять разрешения другим пользователям.

В таблице 2 обобщены основные характеристики каждой блокчейн-сети, касающиеся эффективности, безопасности и механизмов консенсуса.

Таблица 2 – Классификация и основные характеристики блокчейн-сетей [9]

Property	Public	Private	Federated
Consensus Mechanism	<ul style="list-style-type: none"> • Costly PoW • All miners 	<ul style="list-style-type: none"> • Light PoW • Centralised organisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Light PoW • Leader node set
Identity Anonymity	<ul style="list-style-type: none"> • (Pseudo) Anonymous • Malicious? 	<ul style="list-style-type: none"> • Identified users • Trusted 	<ul style="list-style-type: none"> • Identified users • Trusted
Protocol Efficiency & Consumption	<ul style="list-style-type: none"> • Low efficiency • High energy 	<ul style="list-style-type: none"> • High efficiency • Low energy 	<ul style="list-style-type: none"> • High efficiency • Low energy
Immutability	<ul style="list-style-type: none"> • Almost impossible 	<ul style="list-style-type: none"> • Collusion attacks 	<ul style="list-style-type: none"> • Collusion attacks
Ownership & Management	<ul style="list-style-type: none"> • Public • Permissionless 	<ul style="list-style-type: none"> • Centralised • Permissioned whitelist 	<ul style="list-style-type: none"> • Semi-Centralised • Permissioned nodes
Transaction Approval	<ul style="list-style-type: none"> • Order of minutes 	<ul style="list-style-type: none"> • Order of milliseconds 	<ul style="list-style-type: none"> • Order of milliseconds

Известные реализации публичных блокчейнов включают Bitcoin, Ethereum, Litecoin и, в целом, большинство криптовалют. Одним из их главных преимуществ является отсутствие затрат на инфраструктуру: сеть является автономной и способна поддерживать себя, резко снижая накладные расходы на управление. В частных блокчейнах основными приложениями являются управление базами данных, аудит и, в целом, решения, требующие высокой производительности. Multichain является примером открытой платформы для построения и развертывания частных блокчейнов. Федеративные блокчейны в основном используются в банковском и промышленном секторах. Это относится к проекту Hyperledger [10], который разрабатывает межотраслевые блокчейн-фреймворки на основе разрешений.

Количество криптовалют иллюстрирует важность блокчейна. Большие темпы роста вскоре могут создать проблемы совместимости из-за неоднородности криптовалютных приложений. Кроме того, ландшафт быстро развивается, поскольку блокчейн используется в других областях за пределами криптовалют, при этом смарт-контракты (Smart-contracts – SCs) играют центральную роль. Смарт-контракт, определенный в Ником Сабо в 1994 году как «компьютеризированный протокол транзакций, который выполняет условия контракта», позволяет нам переводить договорные положения во встраиваемый код, осуществляется минимизация внешних участков и рисков [11, С.7]. Таким образом, SC – это соглашение

между сторонами, которые, хотя и не доверяют друг другу, автоматически выполняют согласованные условия. В контексте блокчейн SCs – это сценарии, выполняемые децентрализованным образом и хранящиеся в блокчейне, не полагаясь на какие-либо доверенные полномочия. В частности, системы на основе блокчейна, поддерживающие SCs, позволяют более сложные процессы и взаимодействия, поэтому они устанавливают новую парадигму с практически безграничными приложениями [12].

Таким образом, блокчейн – это своего рода общая база больших данных, содержание которой проверяется и согласовывается сетью независимых субъектов. Для того, чтобы в блокчейн был добавлен новый блок данных (например, новый владелец переданного имущества), независимые верификаторы должны прийти к единому мнению о его надежности.

Поскольку каждый новый набор транзакций («блок») криптографически связан с предыдущим блоком, крайне сложно изменить данные, хранящиеся в блокчейне, и любое такое изменение будет легко обнаружено. Блокчейны широко признаны неизменяемыми и могут служить доказательством права собственности.

Разработка модели децентрализованной платформы на основе блокчейна

Поставлена задача разработать модель, которая показывает принцип работы децентрализованной платформы на основе технологии блокчейн по продаже недвижимости. Все данные, относящиеся регистрации пользователя в системе по продаже недвижимости, регистрации в реестре объекта недвижимости, хранении истории всех операций по одному конкретному пользователю, информации по всем произведенным сделкам и изменениям относятся к Большим данным, так как время обработки объема таких данных превышает максимальное время обработки с помощью современных вычислительных средств персонального компьютера.

В качестве языка разработки для реализации технологии блокчейн был выбран Solidity – JavaScript-подобный объектно-ориентированный язык для разработки смарт-контрактов (среди прочих языки Serpent и Mutan). Является кросс-платформенным, одним из четырех языков для EVM (от англ. Ethereum Virtual Machine – виртуальная машина платформы Эфириум). Платформа Эфириум предназначена для создания децентрализованных онлайн-сервисов на базе блокчейна.

Средой разработки выступает Remix IDE. Интерфейс среды разработки и команды, реализующие подключение расширения для браузера Google Chrome с целью доступа к распределенным приложениям с поддержкой Ethereum приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Интерфейс среды Remix [сделано автором]

Расширение Metamask внедряет Ethereum web3 API (от англ. Application Programming Interface – Интерфейс Программирования Приложений) в контекст javascript каждого веб-сайта, чтобы Dapp (распределенное приложение) мог читать из блокчейна. MetaMask, также позволяет пользователю создавать и управлять своими собственными удостоверениями, поэтому. Когда Dapp хочет выполнить транзакцию и выполнить запись в блокчейн, пользователь получает безопасный интерфейс для проверки транзакции перед ее одобрением или отклонением.

В работе расширение выступает в роли личного кабинета пользователя – здесь отображаются баланс и совершенные транзакции, как показано на рисунке 3. Аналогом логина в сети блокчейн выступает так называемый публичный ключ, являющийся адресом, который участвует в транзакциях.

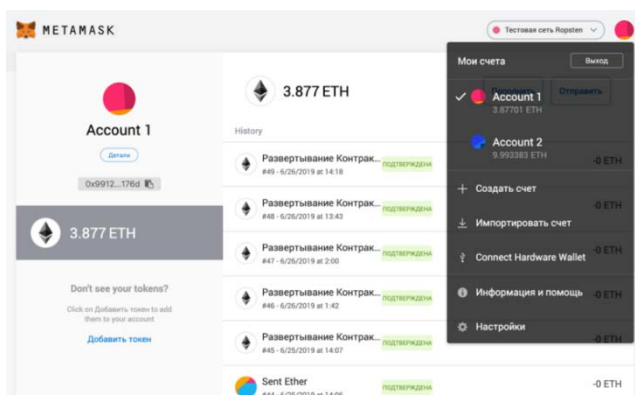


Рисунок 3 – Личный кабинет Metamask [сделано автором]

Тестирование и отладка разработанной модели, которая показывает принцип работы децентрализованной платформы по продаже недвижимости, осуществлены в тестовой сети Ropsten.

Распределенное приложение должно выполнять следующие функции.

1. Регистрация пользователя в системе. В сети блокчейн доступ к «аккаунту» осуществляется при помощи пары ключей публичный-приватный.

Публичный ключ будет являться уникальным идентификатором пользователя в реестре.

2. Регистрация в реестре объекта недвижимости. У каждого объекта так же имеется свой уникальный идентификатор (кадастровый номер) и набор характеристик. При регистрации объекта недвижимости в реестре будет происходить проверка информации посредством Ogaslize через API Росреестра.

3. Хранение истории всех операций по одному конкретному пользователю. Таким образом у каждого участника реестра будет свой «рейтинг», на основе которого другие участники могут решить, с кем предпочтительнее провести сделку.

4. Также в блокчейне будет храниться информация по всем произведенным сделкам и изменениям с каждым объектом недвижимости, такими как снятие/выставление на продажу, смена владельца, продажа и т.д.

5. Цифровая передача права собственности в реестр.

Для каждого объекта недвижимости применяется уникальный сертификат о собственности. Этот сертификат служит доказательством владения этой собственностью. Владение недвижимостью обычно отслеживается путём записи таких сертификатов о собственности в организованных реестрах, которые управляются правительственными организациями. Кульминацией сделки является цифровая передача права собственности в реестр.

Распределенное приложение состоит из нескольких смарт-контрактов, которые взаимодействуют друг с другом и следуют методу архитектуры микросервисов. Каждый контракт несёт ответственность за один вид записи в системе. Каждый контракт содержит функции, которые позволяют создавать и изменять записи, обновлять контракты и другие административные функции. Перечень контрактов приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики контрактов для микросервисов распределенных приложений

Название контракта	Функции контракта
Ownership	Контракт сертификата о собственности (Отвечает за хранение и обновление метаданных на блокчейне). Содержит информацию о собственнике и объекте владения. Представляет собой токен стандарта ERC-721.
Transfer	Контракт документа о передаче права собственности. Отслеживает и инициирует приглашение участников транзакции. Содержит информацию о продавце, покупателе, текущем статусе сделки.
Identity	Контракт идентификации пользователя (Хранит множество записей с информацией о идентификации для всех пользователей системы. Содержит функции для проверки личности физического или юридического лица)

В качестве контракта, отвечающего за сертификат собственности выбран, применяется токен стандарта ERC-721 (от англ. Ethereum Request for Comments – официальный протокол для внесения предложений по улучшению сети Ethereum).

Этот стандарт позволяет реализовать стандартный API для несовместимых токенов (далее называемых «NFT») (от англ. NewFoundland Time – Время Ньюфаундленда) в рамках смарт-контрактов. Этот стандарт обеспечивает базовые функции для отслеживания и передачи права собственности на NFT.

Основой этого стандарта является то, что каждый NFT идентифицируется уникальным 256-битным беззнаковым целым номером в рамках своего контракта на отслеживание. Этот идентификационный номер не должен меняться в течение срока действия контракта. Эта пара (адрес контракта, идентификатор актива) будет уникальным идентификатором для конкретного NFT в экосистеме Ethereum.

На блок-схеме рисунка 4 представлена архитектура и взаимодействие с внешним Реестром (ЕГРН).

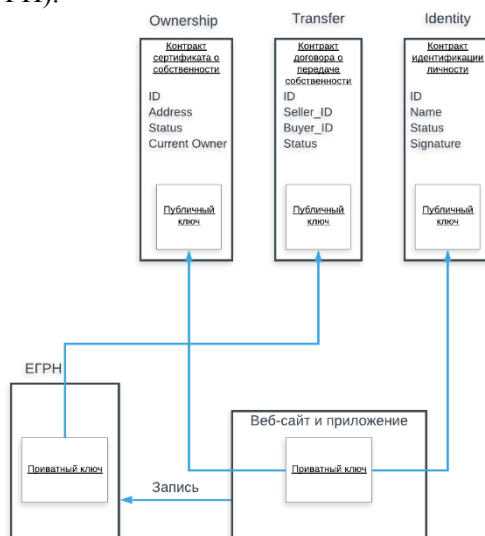


Рисунок 4 – Архитектура приложения для взаимодействия с внешним Реестром (ЕГРН) [сделано автором]

На рисунке 5 отображены бизнес-процесс покупки недвижимости в приложении.

В перспективе, платформа будет представлять онлайн рынок недвижимости. Платформа позволит покупателям, продавцам и брокерам объединиться путем использования набора смарт-контрактов для облегчения транзакций. Система предоставит этим лицам сеть для взаимодействия друг с другом и совершения онлайн покупок недвижимости Peer-to-Peer. Однако существуют некоторые допущения, которые необходимо учитывать. Ниже представлен краткий обзор предварительных условий для становления системы в качестве глобального реестра информации о владениях сертификатами о собственности.

Реестр будет доступен для всех участников аналогично системе DNS для доменов веб-сайтов:

1. Цифровая запись в публичном блокчейне должна быть принята в качестве юридически обязывающей записи.

2. Система идентификации должна быть адаптирована, чтобы она могла ассоциировать личности с конкретным адресом блокчейна (eID карты с биометрическими данными как один из вариантов).

3. Каждое государственное учреждение, участвующее в совершении сделок в сфере недвижимости, должно иметь API, основанное на смарт-контрактах (особенно важно для учреждений, отвечающих за оценку и сбор налогов на имущество).

4. Все записи из земельного реестра недвижимости должны быть перемещены на блокчейн.

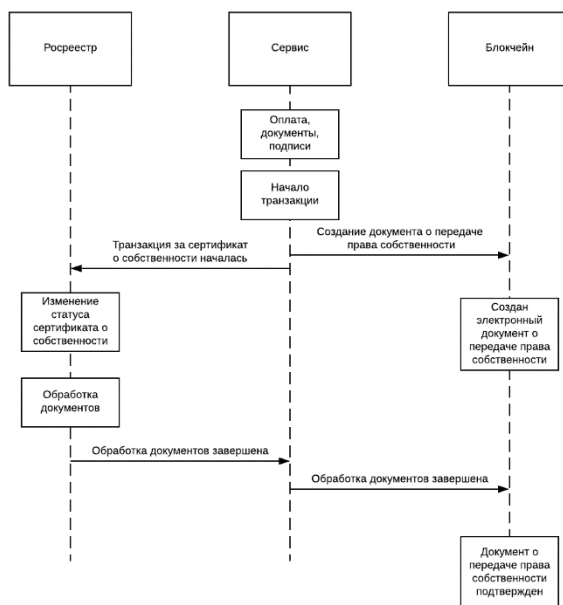


Рисунок 5 – Схема бизнес-процессов покупки недвижимости в приложении [сделано автором]

Технологии больших данных и блокчейн повысят эффективность современных инфокоммуникационных систем [13, С.6]. Технология блокчейн обеспечивает надежное и прозрачное хранение всей истории транзакций, а также целостность информации, а технология больших данных предоставляет новые инструменты для эффективного анализа и прогнозирования.

Выводы

Несмотря на принципиальное различие технологии блокчейн (децентрализованная архитектура для хранения копий информационных цепочек) и технологии больших данных (централизованная архитектура для интеграции информации из различных источников), и разных скоростей работы, потенциал анализа важной стратегической и финансовой информации из блокчейна при помощи больших данных значителен.

Разработана модель, которая показывает принцип работы децентрализованной платформы на основе технологии блокчейн по продаже недвижимости. В

качестве инструментальных средств выбраны объектно-ориентированный язык для разработки смарт-контрактов Solidity, среда разработки Remix IDE. Разработана схема взаимодействия с внешним реестром и схема использования приложения.

Литература

1. Big Data Blockchain Projects You Should Know About [Электронный ресурс]. URL: <https://www.smartdatacollective.com/6-big-data-blockchain-projects-you-should-know-about> (дата обращения: 17.12.2019).
2. Düdder B., Ross O., 2017. Timber tracking: reducing complexity of due diligence by using blockchain technology // In: CEUR Workshop Proc. vol. 18.
3. Артемьев К. Блокчейн: возникновение, особенности использования и регулирования [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-vozniknovenie-osobennosti-ispolzovaniya-i-regulirovaniya> (дата обращения: 02.03.2019).
4. Pilkington M. 2016. Blockchain technology: principles and applications. Res. Handbook Digital Transformations. p. 225.
5. Dannen C. 2017. Introducing Ethereum and Solidity: Foundations of Cryptocurrency and Blockchain Programming for Beginners. Apress. pp. 22-25.
6. Buterin V. 2015. On public and private blockchains. Ethereum Blog 7. 180 p.
7. Eris Industries 2016. Explainer – Smart Contracts [Электронный ресурс]. URL: https://docs.erisindustries.com/explainers/smart_contracts/ (дата обращения: 02.03.2019).
8. Zheng Z., Xie S., Dai H.-N., Wang H. 2016. Blockchain challenges and opportunities: a survey. Work Pap. 110 p.
9. Swanson T. 2015. Consensus-as-a-service: a brief report on the emergence of permissioned, distributed ledger systems [Электронный ресурс]. URL: <https://allquantor.at/blockchainbib/pdf/swanson2015consensus.pdf> (дата обращения: 02.03.2019).
10. Hyperledger Project 2015 // Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hyperledger.org/> (дата обращения: 02.03.2019).
11. Szabo N. Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. 1994. 55 p.
12. Равал С. Децентрализованные приложения. Технология Blockchain в действии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.litres.ru/s-raval/decentralizovannye-prilozheniya-tehnologiya-blockchain-v-deystvii-23892845/> (дата обращения: 05.03.2019).
13. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова // Москва. 2019. 126 с.

УДК 338.28

Поиск оптимального решения комбинаторно-транспортных задач на многовершинных графах

П.А. Максимов, лаборант кафедры «Алгебры, геометрии и анализа»,

В.К. Симаков, лаборант кафедры «Алгебры, геометрии и анализа»,

В.Р. Говоров, лаборант Школы Естественных наук,

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток, Приморский край

В процессе переработки древесины и ее дальнейшей транспортировки возникают управленческие проблемы. Целью данной статьи является поиск решение задачи – в каком объеме отправлять из каждого пункта сырье и по какому направлению везти этот объем при условии минимизации временных и денежных издержек. В рамках данной статьи рассматриваются следующие задачи: анализ методов решения рассматриваемой проблемы (рассмотрены две возможные модели линейного программирования для их дальнейшего объединения в одну – комплексную (модели максимального потока и транспортной задач)), вывод единой целочисленной булевой модели математического моделирования для решения комплексной задачи и подобран алгоритм оптимального поиска решения из расчета скорейшей сходимости к оптимуму, показать, что классические задачи, которые имеют более одной проблемы, которые можно представить в виде линейных моделей, стоит решать, не последовательно, но комплексно, поиск лучшего алгоритма по определению оптимального вектора решения. Особенность модели заключается в том, что она учитывает многопоточность графа дорог (транспортная система), удовлетворяет потребности в конечных пунктах, также учитывает параметр затрат на транспортировку (экзогенно заданы), объем продукции на складе, время на доставку товара до потребителя. Данная модель полезна предприятиям логистической направленности, в случае, когда транспортная сеть крайне большая и существует много пограничным пунктов (перекрестков, остановок и т.д.). Задача относится к классу нетривиально-комбинаторному, что ее делает актуальной в рамках современной цифровой экономики.

Поиск оптимального решения, линейное целочисленное программирование, транспортная задача, математическое моделирование, экономика, NP-сложная задача.

Search for an optimal solution to combinatorial transport problems on multi-vertex graphs

P.A. Maximov, laboratory assistant of the department
«Algebras, geometry and analysis»,

V.K. Simakov, laboratory assistant of the department
«Algebras, geometry and analysis»,

V.R. Govorov, laboratory assistant at the School of Natural Sciences,
Federal State Budgetary Educational Institution
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Primorsky Krai

Management issues. This article requires a search for a solution - in this case, subject to minimizing time and money costs. The following tasks are presented in the framework of this article: analysis of methods, which allows you to see all the possible problems associated with linear programming and their further integration into a single complex model (flow and transport problems), and the derivation of a single integer mathematical model. Modeling for complex problems and a similar algorithm for the optimal search for solutions for a quick and optimal search, show that classical problems that have more than one problem Solutions must be optimal. The peculiarity of the models is that it takes into account multithreading (transport system), satisfies the needs for end points, and also takes into account the parameters of transportation costs (exogenously set), the volume of products in stock, in stock goods to the consumer. This model is very important for the existence of many border points (intersections, stops, etc.). The problem belongs to the nontrivial combinatorial class.

Search for the optimal solution, linear integer programming, transport problem, mathematical modeling, economics, NP-complex problem.

ВВЕДЕНИЕ

Потоковое производство вошло в историю, как лозунг XX века, в то время как поиск оптимального решения для задач производства – есть девиз XXI-го века [1]. Поиск оптимального решения производственных задач – это понятие, которое применимо к каждому предприятиям в независимости от стадии развития [2]. Кроме того, предприятия часто попадают в такие экономические ситуации, в которых задача об оптимизации производства встает крайне остро, в противном случае, организация может оказаться не удел [1, 2]. Как известно, когда на рынке доступны дешевые рабочая сила, сырьё и энергия, тогда в этом случае необходимый уровень рентабельности может быть достигнут путем широкой эксплуатации различных источников, то с ростом цен на эти производственные факторы производство может стать более затратным, и, соответственно, менее рентабельным. Ввиду сложившейся такой особой конъюнктуры рынка организации придется урезать статьи затрат в бюджете и использовать более эффективные технологии производства [1, 2].

Существуют различные пути решения таких проблем. Одним из способов можно отметить сокращение расходов, что по своей экономико-математической сути является нетривиальной комбинаторной проблемой определения объема используемого сырья, количества выпускаемой продукции [1, 2]. Отсюда следует ответ на вопрос о максимально возможной экономии, во-первых, на занятость трудового ресурса на производстве – сколько использовать рабочих в тяжелом производстве, во-вторых, на транспортировку груза по имеющейся транспортной системе района. Обозначенные выше параметры относятся к одним из самых важных при определении решения на открывающихся предприятиях.

Подобная задача, как правило, рассматривается отдельно – по подзадачам,

т.е. отдельно решается задача максимального потока, затем решается транспортная задача. Такой подход не всегда дает представление об оптимальном объеме транспортировки [1, 2]. Рассмотренная формулировка проблемы носит характер комбинаторной и нетривиальной задачи при большой входной (начальной) выборке рассматриваемых дуг на графе путей [1].

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ

В таблице 1 кратко рассмотрены некоторые методы решения подобной задачи, которые встречаются наиболее часто.

Таблица 1 – Методы решения транспортно-производственной задачи

Методика \ Параметр	Краткое описание методики	Проблема большой выборки входных данных	Сходимость	Сложность модели
Quadratic Programming [3]	Первостепенно строится математическая квадратическая (в том числе линейной, как частный случай квадратической) модель, затем используя стандартные алгоритмы, происходит поиск оптимума	Не решена	Средняя	Высокая
Управление цепями поставок [4]	Вывод модели. Применяются модификации эвристических алгоритмов, протекает процесс нахождения оптимума задачи	Решена	Низкая	Высокая
Graph Theory [5]	Применяются основополагающие теоремы из теории графов.	Не решена	Низкая	Высокая

Рассмотрев таблицу 1, приходим к выводу о том, чтобы построить модель линейного целочисленного программирования, как частный случай задачи квадратического программирования. Процесс поиска оптимума будет осуществляться по средствам алгоритма Литтла [6], ввиду его высокой скорости сходимости на малых выборках [6].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обозначим b , как количество необходимое для перевозки.

Также пусть $a_j, j = 1:k$ – есть количество продукции, которое является спросом в конечном пункте потребления [2].

Положим

$$C = \{C_{ij}\}, i, j = 1: n, \quad (1)$$

где C_{ij} – есть затраты на перевозку из пункта i в j , где n – количество всех пунктов, включая начальные, промежуточные, конечные.

Пусть

$$T = \{T_{ij}\}, i, j = 1: n, \quad (2)$$

где T_{ij} показывает время, затраченное на доставку из пункта i в пункт j , где n – совокупность пунктов (начальные (выходные), промежуточные, конечные).

Необходимо найти оптимальный объем перевозки из начального пункта в конечные – потребительские.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим классические две модели линейного программирования.

Транспортная задача [2].

Пусть x_{ij} – есть количество перевезенного из пункта i в j . Каждое производство стремится минимизировать расходы, то запишем целевую функцию следующим образом [1]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} c_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

Нужно учесть спрос потребителя, тогда [1]:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_j, j = 1: m \quad (4)$$

Также, учтем запасы на складе, тогда [1]:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq b_i, i = 1: l \quad (5)$$

Задача о максимальном потоке [1].

Целевая функции примет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \max, \quad (6)$$

Пусть существует определенная пропускная способность графа, тогда ограничение на объемы перевозок по графу из пункта i в j примет вид [1]:

$$0 \leq x_{ij} \leq d_{ij}, i = 1: n, j = 1: n \quad (7)$$

Положим равенство суммарных входящих объемов суммарным выходящим. Другими словами, не существует ненулевого количества товара, которое могло бы остаться на промежуточных стадиях перевозки и каждый раз товар будет полностью вывезен [2], тогда [1, 8]

$$\sum_i x_{ij} = \sum_j x_{ij}; i, j \in I, J, \quad (8)$$

где I, J определяются из матрицы смежности графа-дорог.

Выведем *комплексную модель*.

Запишем уравнение, которое отписывает условие, что объем, вошедший в вершину равен объему, выходящему из вершины.

$$\sum_i x_{ij} = \sum_j x_{ij}; i, j = 1:n \quad (9)$$

Количество в начальном пункте должно быть полностью вывезено, тогда уравнение примет вид [2]:

$$\sum_j x_{1j} = b \quad (10)$$

Если выполняется условие равенства объемов в конечном пункте и в начальном, тогда уравнение примет вид:

$$\sum_i x_{ij} = a_j, j = 1:n \quad (11)$$

Запишем логическое условие, что, если объем перевозок из пункта i в j больше нуля, тогда переменная $y_{ij} = 1$, тогда неравенство примет вид:

$$x_{ij} \leq y_{ij} M; i, j = 1:n, M \rightarrow \infty \quad (12)$$

Добавим ограничение на переменные:

$$x_{ij} \geq 0, y_{ij} \in Z^+; i, j = 1:n \quad (13)$$

Запишем целевую функцию:

$$\sum_j \sum_i T_{ij} y_{ij} + \sum_j \sum_i C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (14)$$

Ограничения (9-14) описывают математическую модель, задачи описанную выше. Математическая модель линейная и является задачей линейного целочисленного булевого программирования.

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ НА ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Матрицы C, T, b, a заданы в [9], реализация представлена на языке Matlab. На рисунке 1 показана произвольная визуализация матрицы затрат на перевозку C .

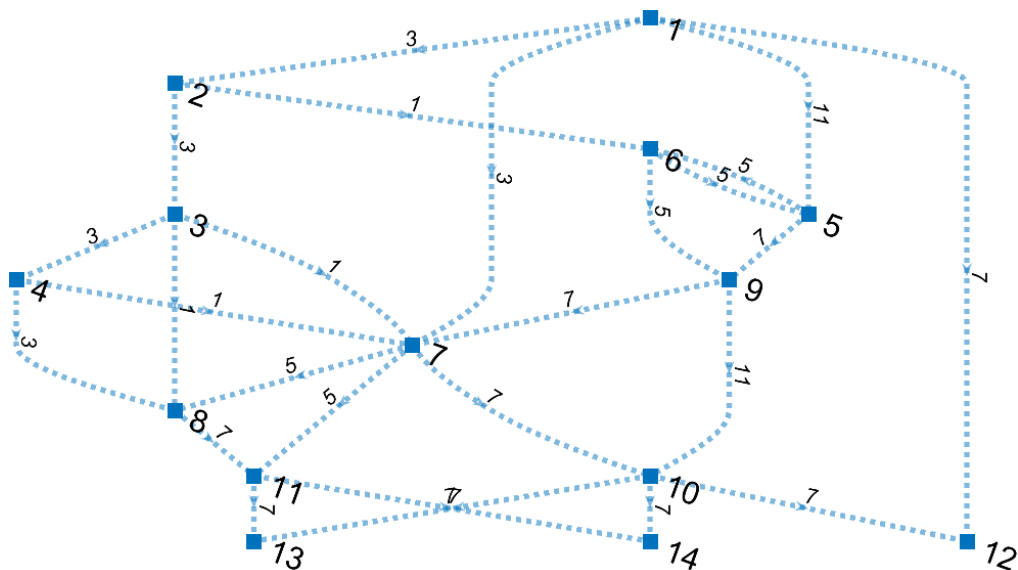


Рисунок 1 – Визуализация матрицы смежности дорог

На рисунке 2 описано решение задачи. Пункт 8 стоит отдельно, т.к. он не вошел в оптимальный план прохождения.

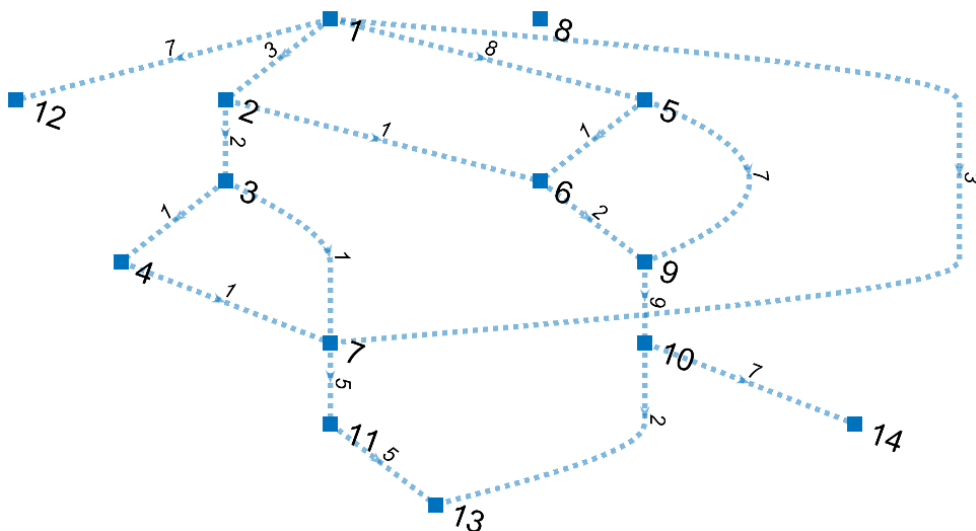


Рисунок 2 – Визуализация вектора-ответа

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрены возможные варианты решения поставленной задачи перевозки грузов. Рассмотрены основные алгоритмы для решения подобных задач. Описана сложность определения решения проблем рассмотренного класса. Приведена небольшая наглядная задача предприятия лесопромышленной направленности на 14 вершинах для тестирования модели. Экспериментально доказано, что такую задачу имеет смысл решать с использованием среды программирования Matlab. Используемая постановка задачи и модель могут быть также использованы на любом предприятии, целью которого является определение оптимального комбинаторного варианта для транспортировки с целью минимизации издержек. Выведена математическая модель по поиску оптимального решения исходя из экономико-производственных ситуаций.

Литература

1. Роголин Р.С. ПОСТРОЕНИЕ НЕТРИВИАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ МЕНЕДЖМЕНТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ // Российский экономический журнал. 2020. № 1. с. 108-116. DOI: 10.33983/0130-9757-2020-1-108-116.
2. Oleinik E.V., Rogulin R.S. (2019) Sudoku: Another Aspect of the Application for Solving the Problem of Optimal Allocation of Resources. In: Solovev D. (eds) Smart Technologies and Innovations in Design for Control of Technological Processes and Objects: Economy and Production. FarEastCon 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 139. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_65.

3. Рогулин Р.С., Жандармов В.О., Пугачёва Е.С., Матвеев В.В. ПРОИЗВОДСТВЕННО-КОМБИНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ПО ПОИСКУ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ ВЫХОДА НА НОВЫЕ РЫНКИ ЛЕСА И ПИЛОМАТЕРИАЛОВ // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2019. № 1 (65). С. 139-145.
4. Рогулин Р.С., Максименко В.И., Жандармов В.О., Пугачева Е.С., Матвеев В.В., Рогулин Д.С. О РАСШИРЕНИИ СКЛАДСКОЙ БАЗЫ В РАССМАТРИВАЕМОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ЛОГИСТИКИ // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2019. № 2 (71). С. 75-82.
5. Рогулин Р.С., Максименко В.И., Смолей М.О., Пугачева Е.С., Матвеев В.В., Злобина Д.В. Об определении набора складских баз в условном экономическом районе с параллельным определением оптимальной работы логистики // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. No 3. С. 368-375. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-368-375.
6. Рогулин Р.С., Нечаев П.В., Плешанов Д.Е. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПУНКТОВ НА РЫНКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ // European Social Science Journal. 2018. № 10. С. 9-16.
7. Рогулин Р.С., Максименко В.И., Злобина Д.В., Жандармов В.О., Пугачева Е.С., Матвеев В.В. Задача комбинаторной оптимизации: поиск оптимального производственного и транспортного плана при организации производства на новых территориях // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2019. Т. 18, № 3. С. 364-377. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.3.018.
8. Рогулин Р.С., Нечаев П.В., Плешанов Д.Е., Евдакимова Н.С., Гончаров Е.Д., Максименко В.И. ОБОБЩЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 6 (78). С. 133-141. DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-4-126-131.
9. [Электронный ресурс]. URL: <https://pastebin.com/hidshDDj>.

УДК 004.94

Технология моделирования и интегральной оценки показателей региональной безопасности

А.В. Маслобоев, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт информатики и математического моделирования
Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ИИММ КНЦ РАН), г. Апатиты

Для задач синтеза сценариев управления региональной безопасностью в условиях кризисных ситуаций разработана технология интегральной оценки безопасности региональных социально-экономических систем. Предложена формализованная постановка задачи и ее декомпозиция с учетом набора ключевых показателей безопасности. В отличие от известных формальных моделей устойчивого развития технология обеспечивает формирование матричного интегрального показателя региональной безопасности и позволяет оценить состояние и тенденции развития региона за счет совместного использования системно-динамических, нечетких и вероятностных моделей оценки индикаторов безопасности. С применением разработанной технологии построена матрица региональной безопасности Арктической зоны РФ.

Моделирование, управление, социально-экономическая система, интегральная оценка, региональная безопасность, Арктическая зона.

Technology for modeling and integrated assessment of regional security indicators

A.V. Masloboev, Dr. Sci. Tech., Leading research fellow,
Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal
Research Center «Kola Science Center of Russian Academy of Sciences»
(IIMM KSC RAS), Apatity

For management scenario synthesis of regional security under emergency situations problem-solving a technology for security integral estimation of the regional socio-economic systems has been developed. The formalized problem statement and its decomposition subject to the set of key security indicators have been proposed. In contrast to well-known and state-of-the-art formal models of sustainable development the technology provides matrix integral index formation of regional security and allows situation and tendencies assessment of regional development at the expense of joint use of system-dynamic, fuzzy and probabilistic estimation models of security indicators. With application of developed technology the regional security matrix of Arctic region of Russian Federation has been designed.

Simulation, management, socio-economic system, integral estimation, regional security, Arctic region.

Введение

В настоящее время актуальность проблем обеспечения региональной безопасности непрерывно возрастает. Это становится наиболее очевидным в социально-экономической сфере, регулярно подверженной влиянию негативных внутренних и внешних угроз, порождаемых различными факторами внешней среды. Особенно остро эти проблемы проявляются на региональном уровне, что приводит как к сдерживанию устойчивого социально-экономического развития регионов, так и к дестабилизации обстановки на более высоком уровне – национальном и мировом. Трудность решения проблем обеспечения региональной безопасности обусловлена не только структурной сложностью самого объекта управления (региона), но и внешней среды, все аспекты которой невозможно формализовать и учесть при использовании традиционных инструментов моделирования и прогнозирования в процессе принятия управленческих решений.

Эффективность управления безопасностью развития социально-экономических систем во многом зависит от используемых средств поддержки принятия решений в системе регионального управления, которые должны быть основаны на современных информационных технологиях и методах компьютерного моделирования [1].

Анализ современного состояния этой проблемы показывает, что недостаточно разработаны методологические подходы к формализации и численному решению задач согласования и оценки интегральных показателей региональной безопасности. Вместе с тем, практическое отсутствие теоретического базиса для интеграции известных решений в области информационных систем и технологий управления региональной безопасностью затрудняет создание и эффективное использование перспективных методов и средств поддержки принятия решений в этой сфере, особенно в условиях перехода к цифровой экономике. При этом сохраняется противоречие между потребностью в повышении эффективности управления региональной безопасностью и сложившимися формальными процедурами, не обеспечивающими на практике достаточное качество принимаемых управленческих решений в этой сфере. Это обуславливает необходимость совершенствования существующих и создание новых моделей и методов управления региональной безопасностью.

В работе решается задача формализации интегральных показателей региональной безопасности и предлагается технология их комплексной оценки. Исследования проводились на примере регионов Арктической зоны России.

Системный анализ проблемы. Постановка задачи

Процессы управления региональной безопасностью в своей основе базируются на результатах комплексного мониторинга и анализа широкого спектра показателей, позволяющих оценивать сложившуюся ситуацию в социально-экономической сфере, а также риски ее дестабилизации в регионе. Различные показатели, используемые в процедурах информационной поддержки процессов выработки и реализации управленческих решений, после соответствующей аналитической обработки с определенной степенью достоверности позволяют оценить уровень безопасности региона, формировать адекватные меры антикризисного управления по предупреждению кризисных явлений на основе полученных прогнозных оценок. При этом необходимо проигрывать несколько вариантов управ-

ленческих решений при различных внешних условиях и ограничениях, чтобы оценить эффект от реализации этих решений в каждой конкретной ситуации. Управляющие воздействия могут быть [2]: ресурсными, ориентированными на использование определенных видов ресурсов (финансовых, кадровых, информационных и др.) при фиксированной структуре управляемого объекта, и структурными, ориентированными на изменение параметров объекта управления и взаимосвязей между ними. Также возможно применение комбинации указанных типов управлений.

Основными сложностями при использовании известных методов моделирования и прогнозирования для решения проблем управления региональной безопасностью являются [2, 3]:

- отсутствие полной информации о состоянии системы, ее окружении и взаимодействии;
- наличие в структуре социально-экономических систем циклов обратных связей различного типа и отложенность результатов действия негативных факторов (отклонения проявляются в системе не сразу);
- практическая невозможность построения точной численной модели объекта управления и отсутствие адекватных аналитических моделей, учитывающих наличие различных аспектов, влияющих на принятие решений (социально-экономических, нормативно-правовых, военно-политических и др.);
- сложность объединения в единую картину проблемной ситуации установленных закономерностей, данных мониторинга и разнородных экспертных знаний о состоянии системы, полученных различными методами анализа.

Для формирования и анализа интегральных показателей региональной безопасности на основе индикаторного оценивания состояния развития различных региональных компонентов (экономика, экология, социальная сфера, промышленность и т.д.) предлагается расширенная система показателей региональной безопасности. Система создана в результате обобщения существующих индикаторных систем и формирования интегральных показателей, полученных путем свертки ряда групп общепринятых индикаторов безопасности. Эта система используется в основе имитационных моделей прогнозирования динамики показателей для получения, как интегральной оценки безопасности региона, так и отдельных ее составляющих. Система включает более 50 индикаторов, характеризующих различные аспекты безопасности региона, а также имеет иерархическую древовидную структуру, позволяющую осуществлять в автоматизированном режиме операции «свертки/развертки» индикаторов разных уровней иерархии. Для каждого уровня иерархии системы индикаторов составлены матрицы ограничений, содержащие интервалы допустимых значений показателей безопасности. Сбор первичных данных о состоянии показателей безопасности осуществляется с применением специальных технических средств мониторинга (датчиков, сенсоров), веб-сервисов и программных агентов [4] из распределенных источников информации.

Конкретный состав показателей безопасности региона зависит от целей исследования, а также от используемого инструментария. Все множество показателей безопасности региона условно разделяется на три группы: (1) количественные, которые содержатся в статистической отчетности; (2) качественные, которые

формируются в результате социологических исследований, экспертных оценок и обобщения данных мониторинга; (3) оперативные данные, поступающие в систему управления в режиме реального времени. Используемый для оценки региональной безопасности набор показателей индивидуален не только для каждого региона, но и зависит от целевых установок управления региональным развитием. При выборе наиболее значимых показателей необходимо учитывать региональные особенности.

Известные модели устойчивого развития региональных систем, например [5, 6], строятся на основе оценки показателя качества жизни населения, который в них формализуется. Наряду с этим показателем, важнейшим фактором устойчивого развития является безопасность жизни населения. Анализ отечественной и зарубежной научной литературы показал, что оценке последнего в существующих и разрабатываемых моделях уделяется недостаточное внимание. Вместе с тем, методические вопросы формальной оценки уровня безопасности развития региона недостаточно проработаны. Комплексная оценка показателей уровня качества жизни и уровня безопасности позволяют говорить о возможности формирования и реализации целенаправленных управляющих воздействий, ориентированных на поддержание устойчивого поступательного развития региона, подверженного влиянию разнородных внутренних и внешних факторов, то есть управления региональной безопасностью.

Структура технологии оценки региональной безопасности

Технология реализуется в несколько этапов (рис. 1):

1. Информационный и проблемный мониторинг социально-экономического развития региона. На данном этапе проводится экспертный анализ реализации действующей стратегии социально-экономического развития региона с целью выявления целей, задач и проблем региональной безопасности. С привлечением экспертов из основных отраслей экономики региона осуществляется определение потенциальных внешних и внутренних угроз безопасности, а также сбор данных о текущем состоянии региона. Источниками информации являются базы данных ведомственных информационных систем, веб-ресурсы, корпоративные и социальные сети. Структура мультиагентной системы мониторинга регионального развития приведена на рисунке 2.

2. Формирование системы показателей региональной безопасности, определение допустимой области их значений и единиц измерения, выделение существенных с точки зрения процесса управления показателей и факторов на них влияющих, а также их корреляции для каждой области региональной безопасности.

3. Прогнозирование показателей региональной безопасности на основе когнитивного и имитационного моделирования. Данный этап предусматривает также нормализацию полученных прогнозных оценок.

4. Согласование показателей безопасности региона, являющихся параметрами целевых функций субъектов регионального управления.

5. Формирование интегрального индекса безопасности региона в виде матрицы региональной безопасности с учетом прогнозных оценок показателей и степени их согласованности в процессе управления.

6. Синтез сценариев антикризисного управления региональной безопас-

ностью. На данном этапе проводится анализ полученного интегрального показателя безопасности региона, представленного в виде матрицы региональной безопасности. Реализуется процедура сопоставления фактического и прогнозного состояний показателей региональной безопасности с допустимой областью значений. Если компоненты, образующие интегральный показатель, находятся в области допустимых значений, то развитие региона характеризуется допустимым (приемлемым для общества с точки зрения социально-экономических и экологических факторов) уровнем безопасности. В противном случае, требуется корректирующее воздействие на управляемые параметры показателей региональной безопасности. Для этого с привлечением экспертов в интерактивном режиме, либо в автоматическом режиме определяется набор показателей, приводящих к отклонению компонентов интегрального показателя региональной безопасности от допустимого диапазона значений, формируется план реализации корректирующих управляющих воздействий на идентифицированные критические элементы региональной системы, представленные в матрице региональной безопасности некоторым заданным набором показателей. Вектор корректирующих управляющих воздействий на критические показатели безопасности региона определяет траекторию движения системы в области устойчивых состояний, что обеспечивает достижение допустимого для текущих или прогнозируемых условий уровня региональной безопасности.

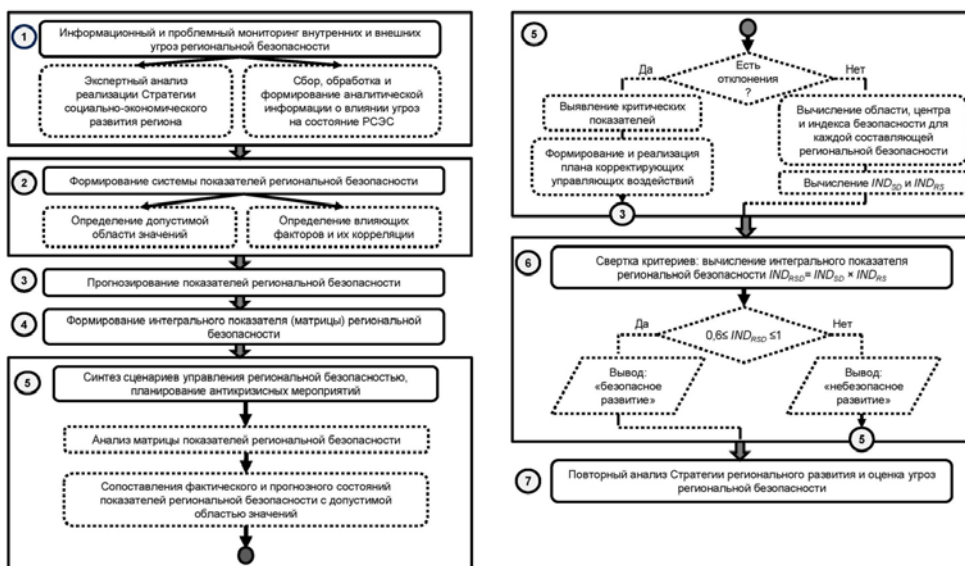


Рисунок 1 – Этапы технологии интегральной оценки региональной безопасности

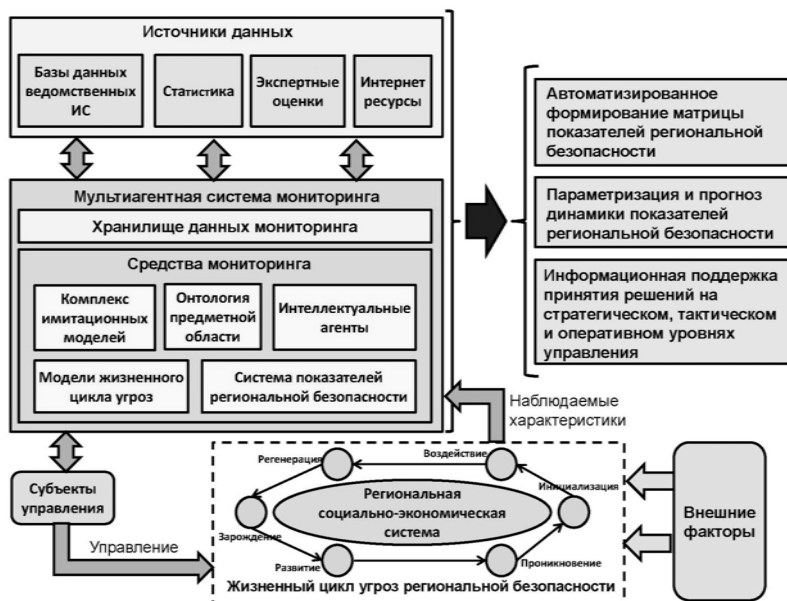


Рисунок 2 – Структура системы мониторинга регионального развития

7. Повторный анализ стратегии социально-экономического развития региона на основе применения синтезированных сценариев антикризисного управления региональной безопасностью.

Матрица показателей региональной безопасности

Отличительная особенность предлагаемой технологии состоит в реализации матричной модели интегрального показателя региональной безопасности, в которой, наряду с показателем качества жизни населения, являющимся основой известных моделей оценки устойчивого развития региона, формализуется показатель безопасности жизни населения, характеризующий состояние защищенности критически важных объектов региональной экономики.

Матрица показателей безопасности выступает в качестве обобщенной меры интегральной оценки региональной безопасности:

$$M_{RSD} = \begin{pmatrix} \rightarrow 11 & \rightarrow 12 & \dots & \rightarrow 1n \\ P_{econ} & P_{soc} & \dots & P_{ecol} \\ \vdots & \rightarrow 22 & \dots & \rightarrow 2n \\ \vdots & P_{soc} & \dots & P_{ecol} \\ \rightarrow k1 & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{econ} & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \rightarrow q2 & \dots & \vdots \\ \vdots & P_{soc} & \dots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \rightarrow mn \\ \dots & \dots & \dots & P_{ecol} \end{pmatrix},$$

где n – количество столбцов матрицы, соответствующее числу учитываемых в оценке составляющих региональной безопасности (экономическая, экологическая, социальная и др.); m – число строк матрицы, соответствующее количеству частных показателей отдельных составляющих региональной безопасности с максимальным набором параметров. Каждый элемент матрицы представляет собой вектор-функцию параметров состояния для каждой области региональной

безопасности, либо скалярную величину. Базовое множество элементов матрицы включает следующие показатели:

$\overrightarrow{p}_{econ}^{i1}, i = \overline{1, k}$ – показатели экономической безопасности региона;

$\overrightarrow{p}_{ecol}^{in}, i = \overline{1, m}$ – показатели экологической безопасности региона;

$\overrightarrow{p}_{soc}^{i2}, i = \overline{1, q}$ – показатели социальной безопасности региона.

Множество базовых показателей может быть обобщено или расширено в зависимости от специфики решаемых задач управления региональной безопасностью.

Для приведения разнородных показателей безопасности региона к одним единицам измерения применяется процедура нормализации показателей:

$$g(p, p^-, p^+) = \begin{cases} \frac{p^-}{p}, & \text{если ограничение 1 типа} \\ \frac{p}{p^+}, & \text{если ограничение 2 типа} \\ \frac{p - p^-}{p^+ - p^-}, & \text{если ограничение 3 типа} \end{cases},$$

$$M^- \leq M_{RSD} \leq M^+$$

$M^- = \{p_{ij}^-\}$ – нижняя граница значений,

$M^+ = \{p_{ij}^+\}$ – верхняя граница значений

где: p – полученная оценка показателя; p^- и p^+ – допустимые максимальное и минимальное значения показателя.

Из опытных соображений принято, что значения элементов матрицы показателей региональной безопасности должны находиться в диапазоне $[0,6; 1]$, что характеризует состояние региона как безопасное.

В таблице 1 приведена используемая дискретная шкала оценок интегральных показателей региональной безопасности с градациями уровней безопасности региона.

Таблица 1 – Эмпирическая шкала уровней безопасности региона

Величина интегрального показателя	Градация уровней безопасности	
	0,0 – 0,1	катастрофический
0,1 – 0,3	критический	
0,3 – 0,6	низкий	
0,6 – 0,8	средний (приемлемый)	Безопасное развитие
0,8 – 1	высокий	

Формализация показателей региональной безопасности

В общем виде математическая интерпретация интегрального показателя региональной безопасности (показателя рискоустойчивого развития региона) может быть представлена в следующей форме:

$$IND_{RSD} = IND_{RS} \times IND_{SD},$$

где IND_{RSD} – интегральный показатель региональной безопасности; IND_{RS} – интегральный показатель безопасности жизни населения; IND_{SD} – интегральный показатель уровня качества жизни населения (устойчивого развития региона).

Интегральная оценка показателя региональной безопасности IND_{RSD} получается в результате произведения показателя качества жизни населения IND_{SD} и показателя безопасности жизни населения IND_{RS} и представляет собой обобщенную оценку рискоустойчивого развития региона. Выбор мультипликативной свертки обусловлен необходимостью выполнения принципа «справедливого компромисса» между ключевыми показателями качества жизни населения и безопасности жизни населения с учетом их равной значимости.

<p>Сферы региональной безопасности (экономическая, социальная, экологическая...)</p>		<p>Интегральные показатели защищенности критически важных объектов региона</p>
$IND_{SD} = \begin{pmatrix} \rightarrow 11 & \rightarrow 12 & \rightarrow 13 & \dots \\ P_{econ} & P_{soc} & P_{ecol} & \dots \\ \vdots & \rightarrow 22 & \rightarrow 23 & \dots \\ \rightarrow k1 & P_{soc} & P_{ecol} & \dots \\ P_{econ} & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \rightarrow q2 & \dots & \vdots \\ \vdots & P_{soc} & \dots & \vdots \\ \dots & \dots & \rightarrow m3 & \dots \\ \dots & \dots & P_{ecol} & \dots \end{pmatrix}$	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Показатели безопасности развития региона</p>	$IND_{RS} = \begin{pmatrix} \rightarrow 11 & \rightarrow 12 & \dots & \rightarrow 1n \\ P_{econ} & P_{econ} & \dots & P_{econ} \\ \rightarrow 21 & \rightarrow 22 & \dots & \rightarrow 2n \\ P_{soc} & P_{soc} & \dots & P_{soc} \\ \rightarrow 31 & \dots & \rightarrow 3k & \dots \\ P_{ecol} & \dots & P_{ecol} & \dots \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots \\ \dots & \vdots & \dots & \vdots \end{pmatrix}$
		<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Сферы региональной безопасности (экономическая, социальная, экологическая...)</p>

В общем случае матрицы имеют размерность $IND_{SD} = \left| P_{SD}^{ij} \right|_{M \times 3}$ и $IND_{RS} = \left| P_{RS}^{ij} \right|_{3 \times N}$, которая зависит от количества сфер региональной безопасности, участвующих в рассмотрении (определяется субъектом управления – лицом, принимающим решение).

Физический смысл сомножителей состоит в следующем. Показатель качества жизни населения характеризует степень гармонизации ключевых составляющих устойчивого развития – экономической, социальной и экологической. Показатель безопасности жизни населения характеризует состояние защищенности критически важных объектов региона.

Математическая модель задачи оценки интегрального показателя устойчивого развития региона, выраженного через показатель качества жизни населения:

$$IND_{SD} = \begin{cases} IND_{SD} = f(I_{econ}, I_{soc}, I_{ecol}, t) \\ I_{econ} = f(I_{gc}, I_{ef}, t) \\ I_{soc} = f(I_q, I_{hd}, I_{ks}, t) \\ I_{ecol} = f(I_{epi}, I_{esi}, t) \end{cases} \xrightarrow{\alpha} opt,$$

где $I_{econ}, I_{soc}, I_{ecol}$ – показатели, характеризующие уровень экономического, социального и экологического развития региона соответственно, причем $I_{econ} = I_{econ}(p_{econ}, t)$, $I_{soc} = I_{soc}(p_{soc}, t)$, $I_{ecol} = I_{ecol}(p_{ecol}, t)$; $P_{econ}, P_{soc}, P_{ecol}$ – множество макроэкономических показателей, по которым вычисляются базовые показатели $I_{econ}, I_{soc}, I_{ecol}$ соответственно; t – параметр времени; α – степень гармонизации обобщенных показателей регионального развития $I_{econ}, I_{soc}, I_{ecol}$.

Тогда задача определения показателя качества жизни населения заключается в прогнозировании макроэкономических показателей, характеризующих состояние экономического, социального и экологического развития региона, и в оценке степени гармонизации составляющих устойчивого развития с последующим варьированием значений параметров этих показателей для достижения допустимого для данных условий уровня их гармонизации. Данная задача решалась методами имитационно-экспертного моделирования [6-8] (комбинация методов сценарного анализа и системной динамики).

Степень гармонизации показателей устойчивого развития вычисляется по формуле:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{I_{ec} + I_e + I_s}{\sqrt{3}\sqrt{I_{ec}^2 + I_e^2 + I_s^2}}\right), 0 \leq \alpha \leq \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right).$$

Обобщенный показатель экономического развития региона вычисляется на основе показателя региональной конкурентоспособности I_{gc} и показателя региональной экономической свободы I_{ef} : $I_{econ} = f(I_{gc}, I_{ef}, t)$.

Обобщенный показатель развития социальной сферы региона вычисляется на основе показателя уровня доходов и социального обеспечения I_q , показателя развития человеческого потенциала I_{hd} и показателя обществ знаний I_{ks} : $I_{soc} = f(I_q, I_{hd}, I_{ks}, t)$.

Обобщенный показатель экологического потенциала региона вычисляется на основе показателя экологической эффективности предприятий региона и государственной политики в сфере защиты окружающей среды I_{epi} и показателя экологической устойчивости региона I_{esi} : $I_{ecol} = f(I_{epi}, I_{esi}, t)$.

$P_{gs}, P_{ef}, P_q, P_{hd}, P_{ks}, P_{epi}, P_{esi}$ – множество макроэкономических показателей, по которым вычисляются показатели $I_{gs}, I_{ef}, I_q, I_{hd}, I_{ks}, I_{epi}, I_{esi}$ соответственно.

Для определения показателя безопасности жизни населения IND_{RS} применялись методы теории надежности и анализа риска, основанные на вероятностных и нечетких моделях оценки безопасности сложных систем [9, 10]. Эти специальные методы основаны на вычислении области, центра и индекса безопасности

функционирования критически важных объектов по имеющейся статистике и экспертным оценкам, по которым строится вероятностная оценка возникновения критических ситуаций. Указанные методы были впервые адаптированы для оценки безопасности развития социально-экономических систем.

Область безопасности представляет собой множество устойчивых состояний региональной системы. Центр безопасности – подмножество наиболее безопасных состояний региона в пространстве устойчивых состояний. В общем случае область безопасности и центр безопасности не совпадают. Центр безопасности позволяет численно определить смещение текущего состояния системы от наиболее безопасного состояния. Индекс безопасности количественно характеризует удаленность текущего состояния системы от центра безопасности, то есть показывает степень безопасности для данного состояния системы. Вычислительные процедуры описаны в работе [3].

Согласно исследованию [10] общая методика оценки индекса безопасности для каждой области региональной безопасности основана на том, что информация о состояниях системы представляется в виде нечеткого отношения предпочтения во множестве альтернатив, и состоит из следующих этапов:

1. На основе экспертного анализа определяются терм-множества параметров и устойчивых состояний развития региона.
2. Определяется центр безопасности региональной системы с учетом всех ее компонентов.
3. Проводится фазификация текущих параметров и оценка текущей ситуации. Под ситуацией понимается набор значений параметров, описывающих состояние системы в некоторый момент времени. В качестве меры близости между текущей ситуацией и ситуацией, соответствующей центру безопасности вводятся два критерия: степень нечеткого включения и степень нечеткого равенства.
4. Вводятся начальные значения управляющих параметров. Формируется множество альтернативных управляющих решений. Проводится композиция текущей ситуации с каждым альтернативным управляющим решением.
5. С использованием модели объекта управления формируется множество альтернативных ситуаций. Для каждой альтернативной ситуации определяется индекс безопасности. Определяется ситуация, имеющая максимальный индекс безопасности.
6. Если ситуация, полученная в результате управляющего решения, входит в область безопасности системы принимается решение о применении данного вектора управления. В противном случае, для данного вектора управления формируется новое множество альтернативных управляющих решений.
7. Процесс итераций считается законченным, когда улучшения ситуации не происходит и дальнейшее уменьшение приращений координат вектора управления не возможно.

Интегральный показатель безопасности жизни населения IND_{RS} вычисляется как взвешенное произведение индексов безопасности для каждой составляющей региональной безопасности:

$$IND_{RS}(P_{RS}) = \prod_{k=1}^K w_k Ind_k(p_{RS}),$$

где Ind_k – индекс безопасности, рассчитываемый на основе оценки показателей k -й составляющей региональной безопасности; K – число индексов безопасности, характеризующих различные аспекты региональной безопасности; w_k – весовые коэффициенты, которые определяются экспертным путем и характеризуют степень значимости составляющих региональной безопасности для текущей ситуации в регионе, причем $\sum_{k=1}^K w_k = 1$ и предполагается, что $w_k \neq 0$.

На основе доступной статистической отчетности и экспертных оценок с применением разработанной технологии построена матрица региональной безопасности Арктической зоны РФ (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2 – Оценки интегральных показателей региональной безопасности для регионов Арктической зоны РФ

Сферы региональной безопасности	Арктические регионы России					
	Мурманская область	Архангельская область	Ненецкий автономный округ	Ямало-Ненецкий автономный округ	Красноярский край	Республика Саха (Якутия)
Экономическая	[0,51, 0,56]	[0,50, 0,52]	[0,71, 0,73]	[0,81, 0,85]	[0,49, 0,55]	[0,57, 0,61]
Экологическая	[0,41, 0,43]	[0,48, 0,54]	[0,48, 0,52]	[0,75, 0,82]	[0,59, 0,64]	[0,63, 0,65]
Социальная	[0,76, 0,79]	[0,68, 0,71]	[0,61, 0,66]	[0,79, 0,82]	[0,72, 0,78]	[0,72, 0,75]
Кадровая	[0,45, 0,47]	[0,51, 0,58]	[0,47, 0,51]	[0,61, 0,64]	[0,75, 0,77]	[0,74, 0,78]
Инновационно-технологическая	[0,78, 0,82]	[0,66, 0,68]	[0,42, 0,46]	[0,76, 0,81]	[0,74, 0,81]	[0,77, 0,83]
Энергетическая	[0,86, 0,97]	[0,57, 0,62]	[0,58, 0,63]	[0,83, 0,87]	[0,51, 0,54]	[0,58, 0,62]
Продовольственная	[0,29, 0,31]	[0,51, 0,54]	[0,27, 0,29]	[0,28, 0,33]	[0,27, 0,31]	[0,30, 0,32]



Рисунок 3 – Матрица региональной безопасности для Арктической зоны РФ с усредненными оценками показателей

Анализ матрицы региональной безопасности позволяет синтезировать и исследовать различные сценарии антикризисного управления безопасностью региона. Под сценариями здесь понимаются варианты социально-экономического развития региона, которые зависят от различного сочетания внешних и внутренних факторов, действующих на региональную безопасность.

При разработке сценариев применялась практика программно-целевого планирования [11], обеспечивающая комплексный учет и взаимоувязку внешних и внутренних факторов, влияющих на развитие социально-экономических систем. Так, например, применение данного подхода и матрицы региональной безопасности позволили построить и согласовать сценарии рискоустойчивого развития Мурманской области в условиях неопределенностей и изменений климата [12] с ключевыми направлениями государственной политики России в Арктике.

Результаты сценарного анализа и моделирования подтверждают современные тенденции и закономерности развития арктических регионов и не расходятся с результатами исследований ведущих научных школ, занимающихся проблемами безопасности Арктики.

Заключение

Разработанная технология интегральной оценки безопасности региональных социально-экономических систем обеспечивает возможность решения задач синтеза сценариев управления безопасностью региона, как в стабильных, так и в критических ситуациях, а также анализа результативности реализации планов антикризисных мероприятий. Технология отличается формированием интегрального показателя региональной безопасности, формализуемого в матричной форме, и позволяет оценить состояние и тенденции развития региона за счет комбинированного использования системно-динамических, вероятностных, когнитивных и нечетких моделей оценки индикаторов безопасности.

Результаты исследования нашли применение при решении задач сетечен-

трического управления техногенной безопасностью Северного морского пути на территории Мурманской области, а также будут использованы при реализации основных направлений государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года в части разработки информационно-аналитического обеспечения для систем поддержки принятия решений в региональных ситуационных центрах.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИИММ КНЦ РАН (тема НИР № 0226-2019-0035) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-07-00167-а).

В ходе дальнейших исследований планируется расширить спектр факторов внутренней и внешней среды, определить структуру взаимосвязей между показателями безопасности и их формализация в предложенных моделях оценки.

Литература

1. Путилов В.А., Маслобоев А.В., Быстров В.В. Комплекс имитационных моделей поддержки управления региональной безопасностью // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 3(23). С. 143-158.
2. Чернов И.В. Повышение эффективности управленческих решений на основе использования программно-аналитического комплекса сценарного анализа и прогнозирования // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2018. № 1(11). С. 40-57.
3. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике // Апатиты: КНЦ РАН. 2016. 222 с.
4. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.
5. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях // М.: ЦЭМИ РАН. 2000. 118 с.
6. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Управление региональной безопасностью на основе сценарного подхода // М.: ИПУ РАН. 2014. 163 с.
7. Махов С.А. Долгосрочная макро модель мировой динамики на основе эмпирических данных // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5. № 5. С. 883-891.
8. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития // Мурманск: НИЦ «Пазори». 2002. 306 с.
9. Цыгичко В.Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. Изд. 3-е. перераб. и доп. // М.: Либроком. 2009. 240 с.
10. Палюх Б.В., Богатилов В.Н., Алексеев В.В., Пророков А.Е. Приложения метода разделения состояний к управлению технологической безопасностью на основе индекса безопасности // Тверь: Изд-во ТвГТУ. 2009. 398 с.
11. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами // М.: Либроком. 2009. 264 с.
12. Денисов Д.Б. и др. Сценарии развития Мурманской области в условиях глобальных неопределенностей и изменений климата // Апатиты: ФИЦ «Кольский научный центр РАН». 2019. 52 с.

УДК 621.398

Разработка образовательной сети доверия с использованием технологии блокчейн

П.Б. Хорев, кандидат технических наук, доцент, профессор,

А.М. Тихомиров, магистр,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»), г. Москва

Для обеспечения безопасности информационных систем часто используется инфраструктура открытых ключей. Технология Blockchain представляет собой способ организации хранения информации о различных событиях и характеризуется публичностью и надежностью. При использовании технологии блокчейн информация защищена от модификации или удаления, а также всегда может быть верифицирована. На основе технологий PKI и Blockchain можно создать защищенную образовательную сеть доверия. В статье предлагаются методы и программные средства создания и сопровождения удостоверяющего центра и журнала транзакций для участников образовательной сети доверия.

Информационная безопасность, образовательная сеть доверия, удостоверяющий центр, технология блокчейн.

Development of educational trust network using blockchain technology

P.B. Khorev, Ph.D., Associate Professor, professor,

A.M. Tihomirov, master,

Federal state educational budget institution of higher education
«National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
(FSEBI HE «NRU «MPEI»), Moscow

Public key infrastructure (PKI) is often used to ensure the security of information systems. Blockchain technology is a way of storing information about various events and is characterized by publicity and reliability. With blockchain technology, information is protected from modification or deletion and can always be verified. Using PKI and Blockchain technologies, you can create a secure educational trust network. The article proposes methods and software tools to create and maintain a certification authority and transaction log for members of the educational trust network.

Information security, educational trust network, certification authority, blockchain technology.

Введение. Совокупность методов и средств информационной безопасности, обеспечивающих распространение открытых ключей, управление сертификатами и ключами пользователей, известна как инфраструктура открытых ключей – Public Key Infrastructure (PKI) [1, с.1]. PKI опирается на асимметричную крипто-

графию (криптографию с открытым ключом), методы которой служат основой для реализации функций защиты информации в распределенных системах. Построение инфраструктуры открытых ключей требуется не само по себе, а нужно для обеспечения информационной безопасности приложений, выполняющихся в распределенной системе.

Технология Blockchain предназначена для организации распределенного хранения информации о различных событиях: оплате товаров и услуг, использовании объектов интеллектуальной собственности, выполнении обязательств и т.п. [2, с.1]. Сохраненную информацию невозможно модифицировать, удалить или несанкционированно дополнить, а любые записи о совершенных действиях всегда можно проверить.

В данной статье представлены результаты разработки методов и программных средств создания и сопровождения удостоверяющего центра и журнала транзакций для участников образовательной сети доверия. Журнал транзакций создается на основе технологии блокчейн и хранит информацию о действиях, совершенных преподавателями и обучающимися.

Удостоверяющие центры и их использование в образовательной сети доверия. В состав РКІ входят следующие основные компоненты [3, с.32]:

- удостоверяющий центр (центр сертификации);
- регистрационный центр (необязательный компонент);
- репозиторий (реестр) сертификатов;
- архив сертификатов;
- конечные субъекты (пользователи).

При создании РКІ должны быть реализованы следующие службы:

- выпуска и отзыва (аннулирования до окончания срока действия) сертификатов;
- резервирования и восстановления криптографических ключей;
- реализации криптографических алгоритмов;
- управления сертификатами и криптографическими ключами.

Применяемое конечными пользователями РКІ клиентское программное обеспечение (ПО) должно корректно, эффективно и безопасно взаимодействовать со всеми этими службами.

Удостоверяющие центры (УЦ) используются для связывания открытых ключей и их владельцев (конечных пользователей). Эти компоненты РКІ своей электронной подписью под сертификатом подтверждают связь между идентификатором субъекта и соответствующим ему открытым ключом. Подпись УЦ под сертификатом открытого ключа пользователя признается остальными субъектами РКІ. Без использования заверенных подписью УЦ сертификатов возникает угроза выдачи нарушителя за автора отправленных подписанных данных или за законного получателя зашифрованных данных. При реализации этой угрозы нарушитель заменяет значение открытого ключа или выдает себя за его владельца.

Название и открытый ключ УЦ известны всем конечным субъектам РКІ. Имя УЦ включается в каждый выпущенный им сертификат и в список аннулированных сертификатов (certificate revocation list, CRL), которые подписываются при помощи закрытого ключа УЦ. Участники сети верифицируют сертификаты дру-

гих участников по имени удостоверяющего центра и с помощью его открытого ключа.

К основным функциям УЦ относятся:

- генерация собственного закрытого ключа и, если УЦ является головным (используется иерархическая архитектура PKI), то формирование своего самоподписанного (self-signed) сертификата;
- выпуск сертификатов открытых ключей конечных субъектов PKI и подчиненных удостоверяющих центров (или выпуск кросс-сертификатов других доверенных УЦ, если используется сетевая архитектура PKI);
- ведение репозитория (реестра) сертификатов (базы данных всех изданных и действительных сертификатов открытых ключей и CRL);
- публикация информации о статусе выпущенных сертификатов открытых ключей и CRL.

Своей подписью под сертификатом открытого ключа УЦ подтверждает, что лицо, указанное в качестве владельца открытого ключа в сертификате, знает закрытый ключ, соответствующий этому открытому ключу. Сертификат также может содержать дополнительные сведения, которые включают в себя информацию об издателе сертификата и типах приложений, которые могут использовать данный сертификат, подтверждают надежность изданных подчиненным УЦ сертификатов (в сертификате, выпущенном для такого УЦ) и другие данные.

Действия УЦ подчиняются политике применения сертификатов (certificate application policy), определяющей правила информационной безопасности в отношении выпуска сертификатов и распространения информации об их статусе. УЦ должен гарантировать защиту своего закрытого ключа и опубликовать свою политику для конечных пользователей PKI, чтобы они знали назначение и ограничения в использовании выпущенных УЦ сертификатов открытых ключей.

Фундаментальным понятием PKI является путь (цепочка) сертификации. Путем сертификации называется последовательность сертификатов открытых ключей, в которой субъект предыдущего сертификата открытого ключа подписывает следующий сертификат. Последним элементом цепочки является сертификат открытого ключа конечного пользователя PKI, который подлежит проверке (валидации). Первым сертификатом в цепочке является сертификат головного УЦ или одного из доверенных УЦ. Перед использованием открытого ключа субъекта при выполнении криптографической операции приложение должно построить и верифицировать путь сертификации.

В ходе образовательного процесса по учебной дисциплине возникает необходимость организации постоянного взаимодействия между преподавателем и обучающимися:

- рассылки преподавателем обучающимся индивидуальных заданий на выполнение лабораторных работ, курсовых проектов и других видов учебных заданий;
- передачи обучающимися преподавателю отчетов о выполнении ими учебных заданий;
- консультировании преподавателем обучающихся по вопросам выполнения ими индивидуальных учебных заданий;

- консультировании обучающимися друг друга по вопросам, возникающим у них в ходе образовательного процесса;
- информировании преподавателем обучающихся о результатах проверки отчетов о выполнении учебных заданий.

При передаче сообщений в ходе взаимодействия между преподавателем и обучающимися необходимо обеспечить аутентификацию сообщений, а в необходимых случаях и их конфиденциальность. Организацию подобного взаимодействия можно осуществить двумя способами: с помощью централизованной сети доверия или с помощью распределенной сети доверия.

В централизованных (иерархических) моделях предполагается, что все пользователи ПК доверяют одному головному УЦ. В распределённой (сетевой) модели любой участник ПК сам определяет, какому издателю он доверяет, а какому не доверяет в удостоверении подлинности открытых ключей других участников, создавая, таким образом, собственную сеть доверенных издателей.

В случае использования централизованного подхода все конечные пользователи должны доверять единственному УЦ, а в распределенной сети доверия УЦ, как такового, нет. Пользователи вправе сами выбирать, кому они могут доверять. При использовании ПК для построения образовательной сети доверия все пользователи (обучающиеся) должны доверять одному субъекту – преподавателю, поэтому использование иерархической архитектуры УЦ будет хорошим решением.

Технология Blockchain и ее использование в образовательной сети доверия. В основе технологии блокчейн находится понятие цепочки блоков – распределенной базы данных (БД), в которой данные не хранятся на общем сервере. Такая БД хранит постоянно пополняющийся упорядоченный список записей, именуемых блоками. Любой блок содержит отметку времени и ссылается на предыдущий блок.

Для обеспечения информационной Безопасности в технологии блокчейн используется децентрализованный сервер для простановки меток времени и установки одноранговых сетевых соединений. Формируемая при этом БД (или реестр) управляется автономно, без создания единого центра. Поэтому цепочки блоков могут применяться для регистрации событий (например, записей о действиях, совершенных участниками образовательной сети доверия).

Реестр в технологии блокчейн защищен от несанкционированного доступа и в него непрерывно записывается история операций между узлами сети одного порядка в виде блоков данных. Подтвержденные участниками сети такие блоки (блоки транзакций) соединяются в цепочку от начального до последнего добавленного блока.

Реестр в технологии блокчейн является единственным источником достоверной информации, а участникам сети доступны только те записи, которые относятся исключительно к ним. Вместо обращения к третьим лицам (например, администратору информационной системы образовательного учреждения) узлы сети в технологии блокчейн с помощью специального протокола (протокола консенсуса) согласуют содержимое реестра. Для обеспечения целостности и подлинности записи о совершенной транзакции и ее параметров используются функции криптографического хеширования и алгоритмы электронной подписи [4, с.1].

С помощью протокола консенсуса подтверждается, что распределенные реестры участников сети соответствуют друг другу (являются точными копиями друг друга). Тем самым снижается риск создания записей о фиктивных транзакциях. Использование криптографических функций хеширования приводит к тому, что любое изменение входных данных транзакции приведет к изменению результирующего хеш-значения и указанию на возможную компрометацию транзакции. Электронные подписи, полученные с помощью закрытых ключей отправителей сообщений, гарантируют, что транзакции совершены легитимными участниками образовательной сети.

Децентрализованная одноранговая сеть не дает никаким участникам или их группам возможности контроля или нарушения работоспособности всей образовательной сети. Все участники обладают равными возможностями и подключаются к сети с помощью одних и тех же протоколов. При функционировании сети записываются все проведенные транзакции между всеми узлами сети, подтверждающими подлинность транзакций с помощью выбранного алгоритма консенсуса. Результатом работы такой сети являются неоспоримые записи о транзакциях, которые были согласованы всеми участниками сети без привлечения какого-то центра управления.

Под майнингом в технологии блокчейн понимается процесс записи транзакций в реестр. Основная цель майнинга заключается в достижении консенсуса между узлами сети для принятия решения о том, какие транзакции являются легитимными. Образование нового блока ведет к обновлению реестра.

Возможны три варианта организации образовательной сети с использованием технологии блокчейн:

- централизованный с доверенным центром;
- централизованный с недоверенным центром;
- децентрализованный.

В образовательной сети доверия предлагается использовать централизованный вариант с недоверенным центром, так как он наиболее выгоден для небольших групп участников и не потребует от всех участников установки лицензионного ПО (такого, например, как Microsoft SQL Server).

Проектирование УЦ и журнала транзакций для образовательной сети доверия. Поскольку основной функцией УЦ является выдача сертификатов открытых ключей пользователей, для построения ER-модели (Entity-Relationship, сущность-связь) [5, с.1] БД УЦ можно выделить две сущности: «User (Пользователь)» и «Certificate (Сертификат)». Так как у каждого пользователя может быть несколько сертификатов, а каждый сертификат должен принадлежать одному определенному пользователю, то между сущностями следует установить связь один-многим.

Для сущности «Пользователь» введены следующие атрибуты:

- id пользователя (первичный ключ);
- имя пользователя;
- отчество пользователя;
- фамилия пользователя;
- идентификатор («логин») пользователя;

- пароль пользователя;
- номер учебной группы пользователя;
- номер телефона пользователя;
- адрес электронной почты пользователя;
- права пользователя в образовательной сети.

Для сущности «Сертификат» введены следующие атрибуты:

- id сертификата (первичный ключ);
- версия сертификата;
- серийный номер сертификата;
- имя издателя сертификата;
- дата начала действия сертификата;
- дата окончания действия сертификата;
- имя субъекта, которому был выдан сертификат;
- открытый ключ;
- признак отзыва сертификата;
- сертификат (массив байтов);
- дата отзыва сертификата;
- внешний ключ связи с таблицей пользователей.

В журнале транзакций должна храниться информация о совершенных участниками образовательной сети транзакциях, а также должна быть связь с таблицей пользователей. У каждого пользователя может быть множество блоков, но у каждого блока должен быть только один создатель. Здесь также имеется связь один-ко-многим.

Для реализации этой функции была введена сущность «Block (Блок)», в которой определены следующие атрибуты:

- id блока (первичный ключ);
- версия спецификации блока;
- дата создания блока;
- хеш-значение блока;
- хеш-значение предыдущего блока;
- данные блока;
- внешний ключ связи с таблицей пользователей.

На рисунке 1 представлена полная физическая диаграмма разработанной ER-модели.

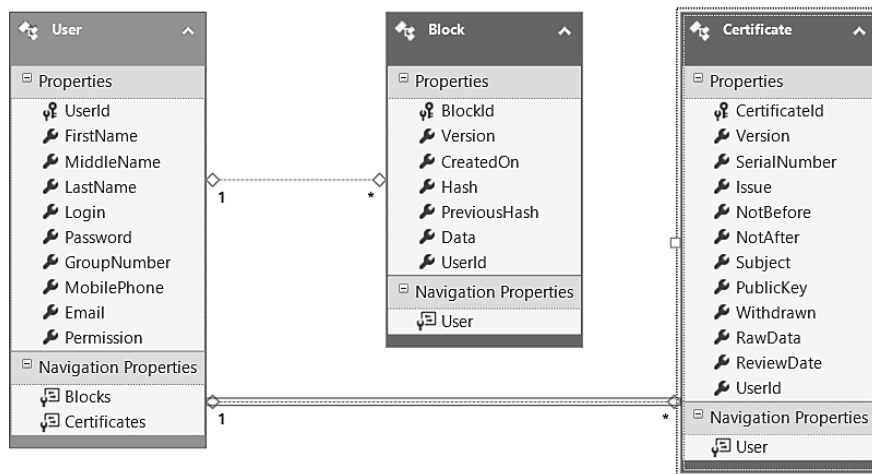


Рисунок 1 – Физическая диаграмма ER-модели БД

Для разрабатываемого ПО выбрана микросервисная архитектура. Основные функции для работы с журналом транзакций и сертификатами пользователей вынесены в модуль BlockchainService, который представляет собой сервис, запускаемый на сервере и ожидающий поступления запросов.

Для конечных пользователей будет реализован веб-модуль BlockchainExplorerWeb, с помощью которого участники образовательной сети доверия смогут дистанционно следить за записями в журнале транзакций, просматривать свои и чужие сертификаты и выполнять другие функции.

Также должно быть разработано desktop-приложение BlockchainDesktop, с помощью которого пользователь сможет управлять сертификатами.

Программная реализация УЦ и журнала транзакций. Для создания БД выбрана система управления БД (СУБД) Microsoft SQL Server [6, с.1]. С помощью системы программирования Microsoft Visual Studio возможно подключиться к этой СУБД и формировать БД напрямую, не используя никаких других инструментальных средств. Система Microsoft Visual Studio 2019 Express является бесплатным продуктом, позволяющим реализовывать и коммерческие проекты.

Для работы с сертификатами в Microsoft Visual Studio 2019 Express есть встроенная стандартная библиотека классов System.Security.Cryptography.X509Certificates, которая включает в себя класс X509Certificate2, инкапсулирующий в себе данные сертификата и методы для работы с ним. Для программной реализации был выбран язык C#.

При программной реализации УЦ были разработаны следующие приложения:

- Web-сайт, предназначенный для регистрации пользователей, обработки запросов на получение сертификатов открытого ключа от участников образовательной сети доверия, просмотра CRL;
- Web-сервис, предоставляющий методы для обработки запросов, поступающих от Web-клиентов;

• Desktop-приложение, которое моделирует основные функции работы УЦ. С его помощью создаются сертификаты открытых ключей и CRL, а также производится администрирование УЦ.

Для защиты от перехвата персональных данных пользователя в запросе на получение сертификата создается защищенный канал связи по протоколу HTTPS [7, с. 1].

Для создания пар ключей и сертификатов пользователей применяется стандартный инструмент для создания сертификатов стандарта X.509, входящий в состав пакета Microsoft Windows SDK, – утилита MakeCert [8, с.1].

Для работы с журналом транзакций был разработан Web-сервис, который включает в себя следующие методы:

- запрос на добавление данных;
- получение всех блоков цепочки.

Данные, хранящиеся в блоке, содержат всевозможные промежуточные данные об успеваемости обучающегося, варианты заданий и другую информацию. Если преподавателю необходимо узнать о выполненных обучающимися заданиях, то он может просмотреть данные блока, для чего предусмотрена функция обратной конвертации данных. Просмотр всех блоков доступен только администратору.

Журнал транзакций является распределенным: его копии хранятся у всех участников сети. При создании нового блока данные будут сохраняться на сервере образовательного учреждения. При попытке участника сети, у которого есть права на запись в журнал транзакций, создать новый блок, система всегда будет запрашивать изменения у сервера. Если они произошли, то цепочка блоков у создающего блок участника сети изменится (увеличится), а его блок будет добавлен в конец цепочки. Если сервер будет недоступен, то работа сети приостановится, но все данные будут храниться локально у участников сети.

Заключение. В статье представлены результаты проектирования и программной реализации прототипа УЦ и журнала транзакций для образовательной сети доверия, включающий БД для хранения сертификатов открытых ключей участников образовательной сети, информации об их отзыве и журнала выполненных участниками сети транзакций.

Созданный прототип включает в себя веб-сайт, веб-сервис и клиентское приложение. Разработанное ПО может быть использовано при создании образовательной сети для организаций и индивидуальных предпринимателей, реализующих технологии дистанционного обучения.

Литература

1. Инфраструктура открытых ключей [Электронный ресурс]. URL: <http://security.demos.ru/crypto/pki/> (дата обращения: 29.01.2020).
2. Реск М. Блокчейн: как он работает, и почему эта технология изменит мир [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/iticapital/blog/340992/> (дата обращения: 29.01.2020).
3. Горбатов В.С., Полянская О.Ю. Основы технологии PKI // М.: Горячая Линия – Телеком. 2011. 248 с.

4. Какие механизмы/алгоритмы консенсуса на блокчейне бывают? [Электронный ресурс]. URL: <http://security.demos.ru/crypto/pki/> (дата обращения: 29.01.2020).
5. Элементы модели «сущность-связь» [Электронный ресурс]. URL: <http://citforum.ru/database/dblearn/dblearn08.shtml> (дата обращения: 29.01.2020).
6. SQL Server 2014 Enterprise. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mssoft.ru/Makers/Microsoft/SQL_Server_2014_Enterprise/SysReq (дата обращения: 29.01.2020).
7. Как работает SSL? Принцип работы https соединения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipipe.ru/info/kak-rabotaet-ssl-sertificat.html> (дата обращения: 29.01.2020).
8. Создание и экспорт сертификатов для подключений типа «точка-сеть» с помощью MakeCert [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/vpn-gateway/vpn-gateway-certificates-point-to-site-makecert> (дата обращения: 29.01.2020).

УДК 658.516

**Особенности учета и выбора технологических решений
при изготовлении высокотемпературных композитов
на основе углеродных волокон**

В.С. Волков, аспирант кафедры управления качеством и стандартизации,
В.А. Волкова, аспирант кафедры управления качеством и стандартизации,

В.И. Привалов, кандидат технических наук,
директор института техники и цифровых технологий,
старший научный сотрудник кафедры управления качеством и стандартизации,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проведен анализ особенностей выбора проектных решений для технологических методов изготовления волокнистых высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон. Показано, что изготовление таких композитов основано на принципиально иных технологических методах, в сравнении с общепринятыми в общем машиностроении. Выявлено, что указанные технологические методы изготовления не учтены в нормативной документации и вызывают различные сложности в поиске, учете и выборе проектных технологических решений при производстве новой продукции по изделиям-аналогам и использования систем кодирования обозначений в ЕСКД и ЕСТД. Показана необходимость актуализации нормативной документации с учетом новых технологических методов изготовления данных композитов, разработки систем кодирования и формирования их архивов.

Стандартизация, углеродные композиты на основе углеродных волокон.

**Features of the account and a choice of technological decisions
at manufacturing high-temperature composites based on carbon fibers**

V.S. Volkov, postgraduate student of the department of quality
management and standardization,

V.A. Volkova, postgraduate student of the department of quality
management and standardization,

V.I. Privalov, doctor of philosophy,
director of the Institute of engineering and digital technologies,
senior researcher of the department of quality management and standardization,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The analysis of the features of the choice of design solutions for technological methods for the manufacture of fibrous high-temperature composites based on carbon fibers is carried out. It is shown that the manufacture of such composites is based on fundamentally different technological methods, in comparison with those generally ac-

cepted in general engineering. It was revealed that the indicated technological methods of manufacturing are not taken into account in the regulatory documentation and cause various difficulties in the search, accounting and selection of design technological solutions in the production of new products for similar products and the use of coding systems for signs in ESKD and UTDD. The necessity of updating the regulatory documentation taking into account new technological methods for manufacturing these composites, the development of coding systems and the formation of their archives is shown.

Standardization, carbon fiber composites, carbon-ceramic composites.

Волокнистые высокотемпературные композиционные материалы на основе углеродных волокон с углеродной и/или керамической матрицей получили широкое распространение и применение благодаря уникальному сочетанию свойств (низкая плотность при высокой прочности и высокой температуростойкостью) в авиации, космонавтике, металлургии, атомной энергетике и других отраслях промышленности [1,2,3,4]. Данное уникальное сочетание свойств обеспечивается технологическими методами изготовления композитов путем совмещения армирующих наполнителей (каркасов) из углеродных волокон и требуемой матрицы (углеродной и (или) керамической).

Многие авторы [1,2,3,4] выделяют следующие технологические методы изготовления рассматриваемых композитов, перечень которых представлен в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, при изготовлении рассматриваемых композитов вне зависимости от вида матрицы, используются одинаковые технологические методы их изготовления.

Особенности учета и выбора технологических решений при изготовлении и производстве данных композитов основывается на требованиях единой системы технологической документации (ЕСТД) и единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Таблица 1 – Технологические методы изготовления высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон

Наименование методов	Примеры технологических методов изготовления
Жидкофазные методы	Пропитки металлами/расплавами (RMI), Получение из раствора (полимера) и последующий пиролиз (PIP), пропитки кремнием (LSI), золь-гель технология и прочие
Химические методы	Химическое осаждение из газовой фазы (CVD), химическое инфильтрация из газовой фазы (CVI), физическое осаждение из газовой фазы (PVD), электрохимическое осаждение и прочие
Смешанные методы	Совмещение различных методов изготовления

Формой представления технологических методов изготовления и выбора технологических решений являются технологические процессы в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации (ЕСТД). Термины и определения основных понятий». ЕСТД разделяет технологические процессы на следующие виды: единичный, типовой и групповой.

Поиск технологических решений и методик выбора таких решений для технологических процессов изготовления рассматриваемых композитов недостаточно представлены в научной и технической литературе, так как данные материалы не являются объектами стандартизации на национальном уровне. В связи с этим выбор проектных решений зависит от выбора разработчика такой продукции, имеющего у него опыта и различных требований нормативной документации.

Проектирование технологических процессов рассматриваемых композитов основывается на требованиях технического задания и конструкторской документации и осуществляется путем поиска типового решения в базе имеющихся ранее разработанных технологических процессов. При этом основой для поиска и выбора такого технологического решения должны являться в первую очередь групповые технологические процессы, а во вторую типовые и единичные, если невозможно разработать групповой технологический процесс [5].

Рекомендованная блок-схема поиска и выбора такого решения показана на рисунке 1 и более подробно описана в [5].

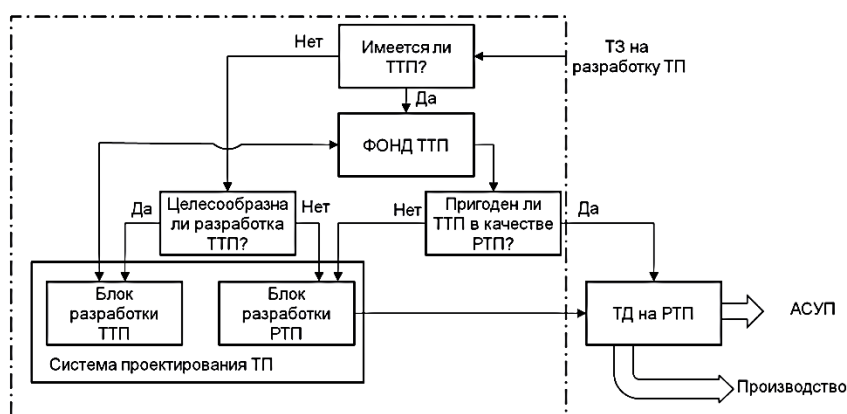


Рисунок 1 – Принципиальная блок-схема поиска технологических процессов на основе типовых решений [5]:

РТП – рабочий технологический процесс, ТД – технологическая документация,
 ТП – технологический процесс, ТТП – типовой технологический процесс,
 ТЗ – техническое задание

Представленная на рисунке 1 блок-схема поиска на основе типовых решений предполагает поиск ранее разработанного аналога, а при отсутствии ранее разработанного аналога, разработку новой технологической документации (включает в себя технологические процессы) и включение его в используемый архив разработанной документации.

В основу обозначений нормативной документации, разрабатываемой на основе требований ЕСКД и ЕСТД, заложена система кодирования обозначений.

Данные системы кодирования и классификации нормативной документации, применяемые в ЕСТД и ЕСКД, предназначены для стандартизации, типизации и унификации изготавливаемой продукции и технологических методов ее из-

готовления, создания возможностей автоматического проектирования и усовершенствования подготовки производства к выпуску такой продукции, разработки основ группового производства, гибких производственных систем и поиска проектных решений.

В ЕСКД используется система обозначения изделий по ГОСТ 2.201-80 «Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов» по классификатору [6]. Основа системы кодирования и обозначения ЕСКД представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обозначение изделий и конструкторских документов по ЕСКД

Примечание – Код классификационной характеристики присваивают изделию и конструкторскому документу

Как видно из рисунка 2, система кодирования и обозначения ЕСКД не учитывает технологические методы изготовления, а поиск типовых решений по блок-схеме, представленной на рисунке 1, затруднителен.

В ЕСТД используются системы обозначения технологических процессов и методов изготовления по ГОСТ 3.1201-85 «Единая система технологической документации. Система обозначения технологической документации» и технологических операций по классификатору [7]. Основа для формирования кода обозначения в ЕСТД представлена на рисунке 3.

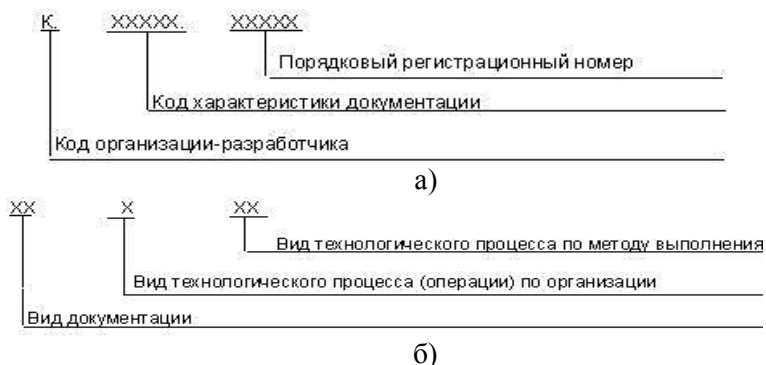


Рисунок 3 – Обозначение технологической документации по ЕСТД

Примечание – Код вида технологического метода (наименование операции) присваивают по таблице 2

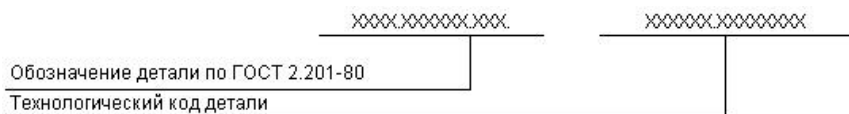
Вид технологического процесса по методу изготовления в соответствии с рисунком 3 в ЕСТД представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды технологического процесса по методу изготовления [7]

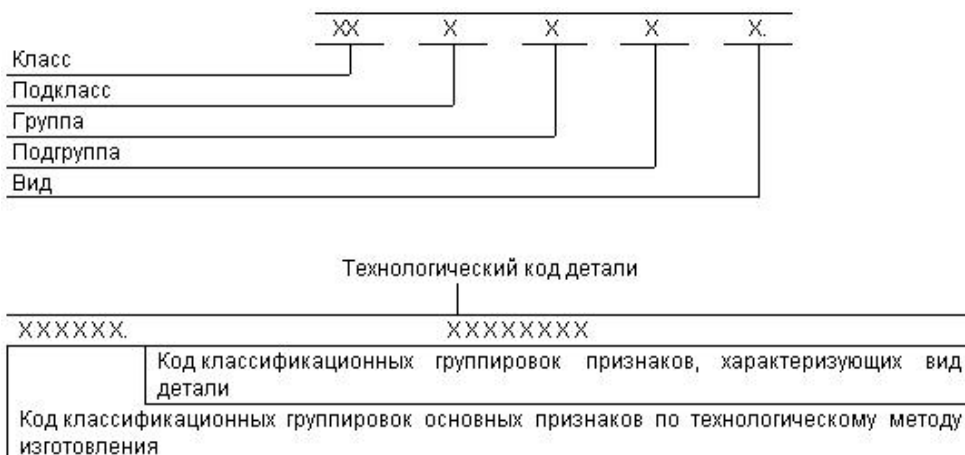
Вид технологического процесса по методу выполнения	Код
1. Без указаний	00
2. Испытания	06 и 07
3. Консервация и упаковывание	08
4. Литье сплавов и/или металлов	10
5. Обработка при помощи давления	21
6. Обработка с использованием резания	41 и 42
7. Обработки радиационная, электрофизическая и электрохимическая	75
8. Общего назначения	01
9. Пайка	80 и 81
10. Перемещение	04
11. Получение покрытий	71
12. Получение покрытий	73 и 74
13. Порошковая металлургия	65
14. Сборка	88
15. Сварка	90 и 91
16. Термическая обработка	50 и 51
17. Технический контроль	02 и 03
18. Формообразование из стекла, резины полимеров и керамики	60
19. Фотохимико-физическая обработка	55
20. Электромонтаж	85

Как видно из рисунка 3 и таблицы 2, система кодирования и обозначения ЕСТД учитывает технологические методы изготовления. Более подробный анализ кодов из классификатора [7] показывает, что представленные в нем технологические методы изготовления композиционных материалов по таблице 1 в нем отсутствуют, а поиск типовых решений по блок-схеме, представленной на рисунке 1, затруднителен.

Так же для учета и поиска типовых решений ранее изготавливаемой продукции используется классификатор [8], который представляет собой совмещение конструкторского (рисунок 2) и технологического кода (рисунок 3 и таблица 2). Система обозначения и кодирования по конструкторско-технологического коду представлена на рисунке 4.



а)



б)

Рисунок 4 – Кодирование обозначения изделий по полному конструкторско-технологическому коду по классификатору:

а) структура полного конструкторско-технологического кода

б) структура технологического кода детали

Следует отметить, что система кодирования, которая показана на рисунке 4, применяется только для следующих классов деталей по ЕСКД и технологических методов изготовления, перечень которых представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень классов деталей и технологических методов их изготовления [8]

Классы деталей	Технологические методы изготовления деталей
71 и 72 (в виде тел вращения); 73, 74 и 75 (в виде тел не вращения); 76 (детали технологической оснастки)	1 – литье; 2 – ковка (объемная штамповка); 3 – листовая штамповка; 4 – резание; 5 – термическая обработка; 6 – формообразование из полимером и резин; 7 – нанесение покрытий; 8 – специальная обработка (химическая, физическая и электрическая); 9 – порошковая металлургия; А – сварка; Б – пайка; В – склеивание; Г – термическая резка.

Как видно из рисунка 4 и таблицы 3, система обозначения и кодирования по конструкторско-технологическому коду учитывает технологические методы изготовления. Однако поиск типовых решений по блок-схеме, представленной на рисунке 1, и по классификатору [8], как и его применение для технологии изго-

товления композиционных материалов, невозможно из-за отсутствия в нем технологических методов изготовления представленных в таблице 1.

Классификатор [8] основывается на ограниченном классе деталей, а указанные в нем технологические методы изготовления не используются для изготовления данных композитов, за исключением, термической обработки. Данные технологические методы используются в основном для металлов и не учитывают особенности производства неметаллических композиционных материалов.

Подводя итог об особенностях учета и выбора технологических решений при изготовлении высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон в качестве вывода можно выделить следующее:

1. Используемые технологические методы изготовления высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон не содержатся в ранее разработанных классификаторах технологических методов и операций, поэтому создаются сложности при:

- поиске ранее разработанной документации и изделий-аналогов;
- кодировании обозначений нормативных документов в соответствии с требованиями ЕСТД.

2. Системы наименований, классификации и кодирования не учитывают указанные особенности высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон, поэтому применение существующих систем автоматизированного проектирования крайне ограничено из-за отсутствия в них используемых технологических методов изготовления.

3. Возникает необходимость актуализации нормативной документации с учетом новых технологических методов изготовления высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон, разработки систем кодирования и формирования их архивов.

Представленные результаты анализа особенностей применения систем кодирования нормативной документации ЕСКД и ЕСТД и технологических методов изготовления высокотемпературных композитов на основе углеродных волокон могут создать возможность разработки основ для стандартизации рассматриваемых композитов, технологических методов и основ для разработки типовых и групповых технологических процессов их изготовления.

Литература

1. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие для студентов вузов по направлению «Материаловедение, технологии материалов и покрытий» (специальность «Материаловедение в машиностроении») // М.: ИПРЖР. 2001. 191 с.
2. Бушуев Ю.Г., Персин М.И., Соколов В.А. Углерод-углеродные композиционные материалы: Справочное издания // М.: Металлургия. 1994. 128 с.
3. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты // М.: САЙНС-ПРЕСС. 2007. 192 с.
4. Campbell F.C. Structural composite materials // ASM International. 2010. 629 p.
5. Р 50-54-93-88. Рекомендации. Классификация, разработка и применение технологических процессов // М.: ВНИИМАШ. 1988. 34 с.

6. ОК 012-93. Классификатор ЕСКД. Введение. 1.79.100 // М.: ИПК Издательство стандартов. 1988. 20 с.
7. Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения: 1 85 151 // М.: Издательство стандартов. 1987. 62 с.
8. ОК 021-95 Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (ОТКД) // М.: ИПК Издательство стандартов. 2004. 180с.

УДК 621.378

Особенности лазерной маркировки металлических изделий

Д.А. Кончус, аспирант третьего года обучения кафедры «Материаловедение и технологии художественных изделий»,

А.В. Сивенков, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии художественных изделий»,

Е.И. Пряхин, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технологии художественных изделий»,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»,
г. Санкт-Петербург

Одним из востребованных методов лазерной обработки материалов является маркировка, позволяющая управлять лазерным излучением и обрабатывать различные материалы. В машиностроении такая маркировка применима при изготовлении и сборке изделий, в процессах автоматизации производства и логистики, при этом необходимо знать какие изменения происходят в структуре, составе и свойствах обрабатываемых материалов, какое влияние такая маркировка оказывает.

Металлообработка, лазерная маркировка, отпечаток лазера.

Laser marking features of metal products

D.A. Konchus, graduate third year at the Department of Materials Science and Technology of Art Products,

A.V. Sivenkov, Ph.D. in Technology, Associate Professor at the Department of Materials Science and Technology of Art Products,

E.I. Pryakhin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Materials Science and Technology of Art Products,
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Marking is one of the well-known methods of laser materials processing. This allows to control laser radiation and to treat various materials. In engineering, such marking is applicable in the manufacture and products assembly, in the processes of production automation and logistics. It is also necessary to know what changes occur in the structure, composition and properties of the processed materials and what kind of impact this marking renders.

Metal processing, laser marking, laser imprint.

Лазерные технологии давно перешагнули стены научных лабораторий и вышли в промышленное производство. Маркировка, сварка и резка являются самыми востребованными методами лазерной обработки материалов.

В современных условиях использование маркировки является одним из

важнейших производственных процессов. Маркировка позволяет производителю наиболее качественно организовать контроль качества и количества выпускаемой продукции. Вместе с тем наличие маркировки на изделии (материале) позволит потенциальному потребителю выбрать необходимый товар, а производителю продвигать свой товар на различных рынках.

Существует много различных видов наносимой информации и методов маркировки. Однако из всех имеющихся на сегодня способов лазерное маркирование по праву является одним из самых технологичных и гибких методов [1, С.4]. Такие маркираторы позволяют управлять процессом нанесения маркировки на различные материалы при помощи изменения скорости, мощности лазерного пучка и времени его воздействия на материал. Данный вид маркировки применяется в различных отраслях промышленности. Лазерная маркировка отличается высоким уровнем качества, точности, четкости, высокой скоростью нанесения, прецизионностью и, конечно же, легкостью исполнения и минимальным воздействием на маркируемый материал.

Также необходимы точные и надежные данные об изменениях, происходящих в структуре, свойствах и составе материала, подлежащего маркировке для более высокой эффективности и возможности внедрения маркировки в отрасли промышленности [7, С.38]. Такие исследования облученных материалов представляют самостоятельный научный интерес.

В машиностроении маркировка деталей штрих-кодом может быть применена в технологическом процессе изготовления и сборки изделий, процессах автоматизации производства, складирования и логистики продукции.

Современный мир предлагает разнообразные штриховые кодировки, передающие различную информацию, наносимые как лазерным оборудованием, так и просто напечатанные. Это и простой линейный штрих-код, типа EAN-13 или Code 128; символика сокращенной размерности, типа RSS; композитные символы, сочетающие линейный и двумерный компоненты; двухмерные матричные коды.

При проходе луча лазера по поверхности материала образца и под действием излучения происходит частичный нагрев поверхности с некоторым оплавлением и возможным испарением самого вещества поверхности, это приводит к образованию следа на участке воздействия с последующим формированием видимого изображения.

Экспериментально установлено [2, С.144], что два отпечатка луча лазера образуют минимальный размер строки. При таких условиях образуется видимый цвет. Это условие важно также и при структурировании соседних строк, связано это с тем, что термическое воздействие от одного импульса может исказить цвет другого импульса.

Контраст и качество изображения зависят от правильно выбранной линии-туры (lpi – количество линий в 1 мм), обусловленной диаметром отпечатка. То есть пиксель изображения должен быть сопоставим по обеим осям x и y двум диаметрам отпечатка, чтобы на сталях и сплавах с помощью лазерного комплекса получилось изображение.

То есть очень важной характеристикой лазера является диаметр луча.

С помощью графического режима маркировки можно построчно набивать

заданную область точками-пикселями. Черные точки изображения формируются на полной мощности. Такое воздействие лазера образует неравномерную термически обработанную рельефную поверхность материала с измененными химическими и физическими свойствами.

В ходе проведенных исследований [4, С.81] было установлено, что на поверхности обрабатываемого материала след от лазера имеет вид оплавленного участка в форме овала. Вокруг видна зона 20-30 мкм термического влияния (рис. 1).

При изменении технологических параметров лазерного луча происходит изменение геометрических характеристик отпечатков, формируемых под воздействием излучения на металлической поверхности. В результате измерения линейных размеров следов лазерного воздействия, была отмечена геометрическая форма отпечатков, разделенная на несколько оплавленных зон, то есть отпечаток имеет форму близкую к окружности с ярко выраженными зонами воздействия.

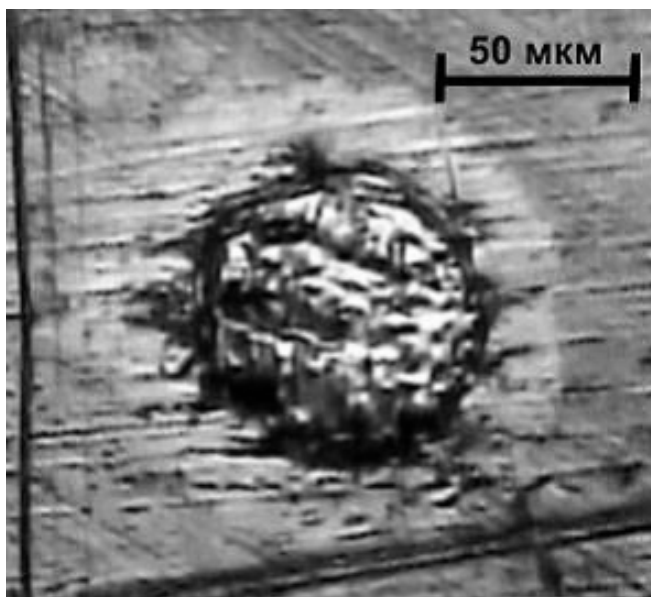


Рисунок 1 – Вид отпечатка лазерного импульса (сталь 08X18H10T)

Для создания штриховой кодировки на поверхности сталей и сплавов интервал между обрабатываемыми точками должен быть таким, чтобы термическое воздействие лазерного импульса было минимальным.

Для выбора технологических параметров лазерного маркирующего комплекса МиниМаркер-М20 при нанесении изображения необходимо создавать тестовые таблицы для различных сплавов, которые обеспечивают образование окислов необходимой насыщенности и контрастности на поверхности материала. Полученные технологические режимы получения изображения с заданными характеристиками проверяются на стабильность и повторяемость результата.

На то, каким будет характер отпечатка на образце, влияет распределение энергии по сечению луча лазера. Структура распределения энергии в пучке Yt – лазера состоит в равномерном распределении энергии по пятну лазера (рис. 2).

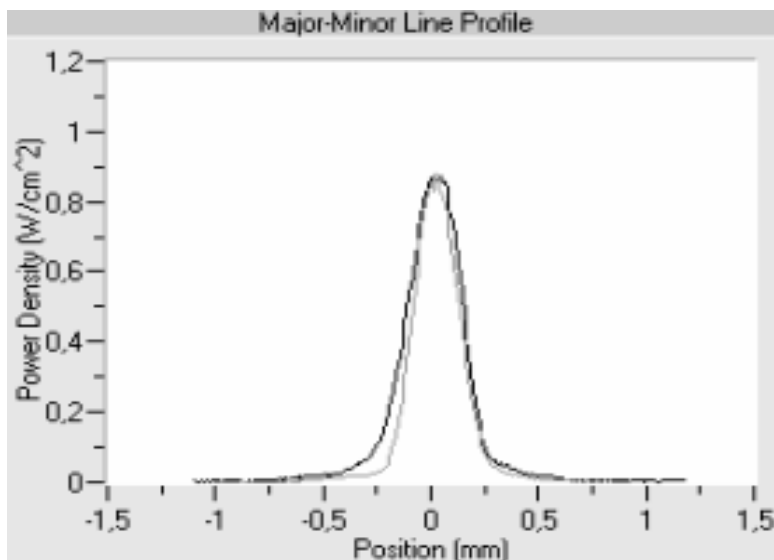


Рисунок 2 – Распределение энергии по сечению лазерного луча *Yt*- лазера [4, С. 126]

При обработке волоконным лазером наблюдаются более равномерные отпечатки (рис. 3). Это связано с тем, что пиковая мощность импульса такого лазера заметно меньше, чем например у *Nd:YAG* – лазеров при той же мощности излучения. След воздействия луча лазера при средней мощности 1,5 Вт и импульсной мощности 2000 Вт представлен на рисунке 4, представляет собой оплавленный участок поверхности близкий по форме к овалу или кругу

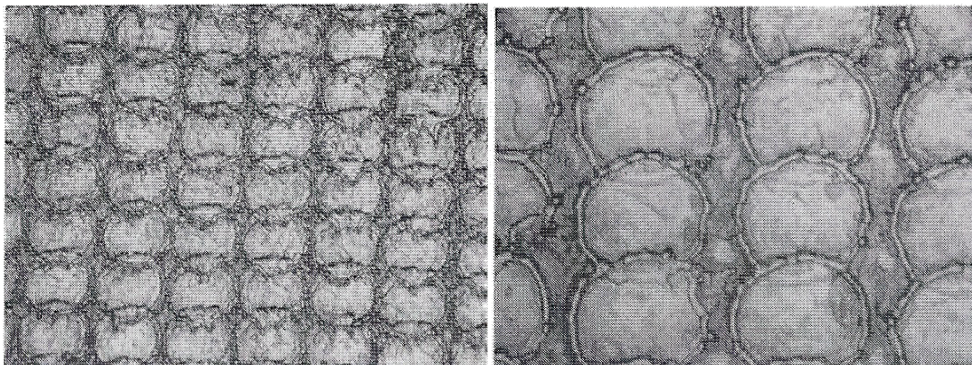


Рисунок 3 – Поверхностная структура стали 08X18H10T после обработки волоконным лазером а) $\times 40$; б) $\times 100$

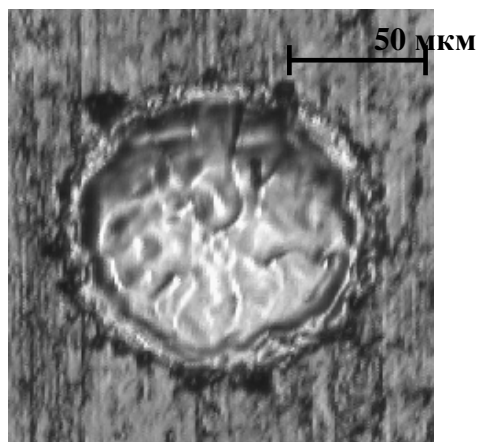


Рисунок 4 – Вид отпечатка импульса лазерного комплекса МиниМаркер М20

Вместе с тем МиниМаркер М20 дает наиболее стабильные отпечатки и более предсказуемое воздействие на материал по сравнению с другими лазерными маркировочными комплексами, типа ПЛМК Д'Марк-06, МиниМаркер М10 [1, С.6].

Для уверенного считывания штриховой кодировки необходимы такие штрихи и точки, которые контрастируют с поверхностью.

Считывающее устройство регистрирует разницу интенсивности отраженного излучения в k раз. Если эта разница меньше k , то толщина оксидного слоя обладает недостаточной поглотительной способностью, и кодировка не будет считываться или считывание будет некорректно. Если разница интенсивности отраженного излучения больше или равна k , слои с такой толщиной обеспечивают уверенное считывание кодировки.

В настоящее время помимо уже существующих штриховых кодировок, разработан еще один двухмерный матричный код – нанобар-код (НБК).

Такой код представляет собой информационное поле, где есть место для символа компании, расположенное в центре [6, С.13], и специальные вспомогательные элемент (прямоугольники) для центровки кода при его считывании (рис. 5).

Отличительной чертой кода от своих аналогов является то, что здесь кодируется большой объем информации, в основном текст, на меньшей площади изделия, поскольку современные лазеры обеспечивают высокую точность и плотность маркировки (табл. 2).

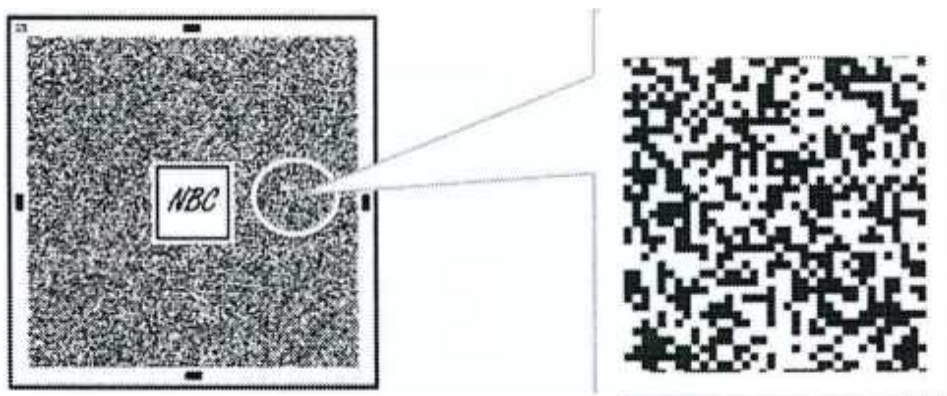


Рисунок 5 – Нанобар-код

Таблица 2 – Сравнение характеристик нанобар-кода и двумерных штрихкодов

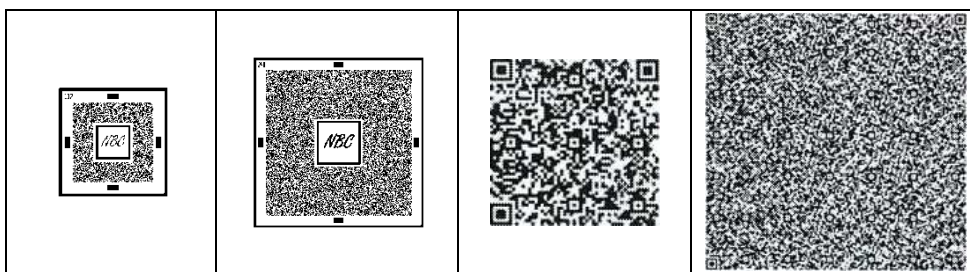
Параметры	PDF 417	Data Matrix Code	QR code	НБК
Максимальное количество символов	1850	2048	4296	от 12000
Кодирование текста	да	да	да	да
Кодирование изображения	нет	нет	да, файл меньше 4 КБ	да, файл от 12 КБ
Кодирование аудио	нет	нет	нет	да
Кодирование видео	нет	нет	нет	да

Предусмотрено нанесение кода прямо на поверхность изделия методом лазерного маркирования. Также код можно наносить и на промежуточный носитель, специальная полимерная пленка (Tesa laser).

Поскольку здесь используется очень плотная запись информации, емкость такого кода значительно увеличена [3, С.82]. Если взять QR Code и НБК с одинаковым количеством символов, то можно увидеть какова разница между ними как в размере поля, занимаемого кодом, так и в информационной емкости (табл. 3).

Таблица 3 – Информационные емкости НБК и стандартного QR Code

НБК		QR Code	
1000 символов /100 мкм 19,2×19,2 мм	8000 символов /100 мкм 36,8×36,8 мм	100 символов/250 мкм 43,0×43,0 мм	1000 символов /100 мкм 67,6×67,6 мм



Экспериментально установлено, что диаметр отпечатка в 100 мкм предпочтительнее всего [2, С.145] (рис. 6 а). При соприкосновении отпечатков (рис. 6 б) и наполнении их друг на друга (рис. 6 в, г) происходит смазывание или размытие картины, что влечет за собой проблемное считывание отдельных участков отпечатков при проходе луча сканера.

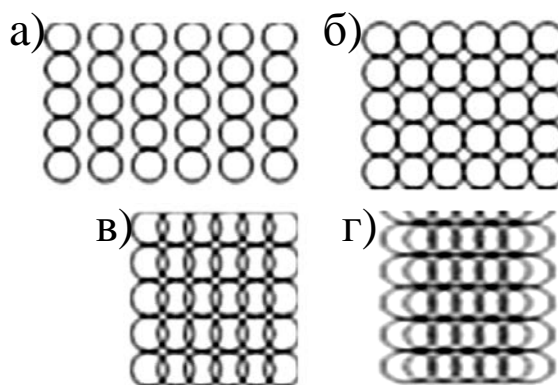


Рисунок 6 – Взаимное расположение отпечатков относительно друг друга а-г x10: а) 100 мкм; б) 90 мкм; в) 80 мкм; г) 70 мкм

Таким способом можно наносить информацию объемом до 125 Кб. Для считывания такого изображения необходимы оптические сенсоры высокого разрешения (более 40 Мпикс), которые сейчас применяются практически во всех цифровых камерах.

Увеличенная емкость такого кода дает возможность записи в нем любой цифровой информации: графической, аудио, видео; может содержать электронную цифровую подпись (ЭЦП). Особенностью НБК является то, что разработанное нами программное обеспечение позволяет выполнять полное или частичное шифрование информации.

Нанобар-код может быть использован в качестве базы данных без доступа в Интернет с информацией 10 Мб [5, С. 62].

Использование компьютерных технологий позволяет реализовать считывание информационных полей с металла, во всем диапазоне изменения размера ячейки, в интервале до 150 мкм. Расшифровка осуществляется при помощи программы декодирования информации.

Металлические материалы, предназначенные для серийных изделий, промар-

кированные таким кодом с целью, например, идентификации, контроля и учета, могут использоваться во многих отраслях и предприятиях промышленности, в том числе и машиностроения.

Литература

1. Афонькин М.Г., Ларионова Е.В., Горный С.Г. Анализ технологических возможностей лазерно-гравировальных комплексов // Фотоника. 2010. № 5(23). С. 4-11.
2. Ганзуленко О.Ю., Захаренко Е.А., Ларионова Е.В., Петкова А.П., Пряхин Е.И. Разработка и апробация технологического процесса нанесения информационных полей на изделия из различных материалов для защиты их от подделок, идентификации и учета // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2013. № 2(11). С. 142-154.
3. Кончус Д.А., Сивенков А.В. Лазерная маркировка деталей автомобилей нанобар-кодом // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции: в 5 томах. Под редакцией В.В. Максарова. 2015. С. 81-84.
4. Ларионова Е.В. Разработка технологии получения воспроизводимых многоцветных изображений на металлических поверхностях с использованием лазеров: дис. ... канд. техн. Наук // СПбГУПТД. Санкт-Петербург, 2010. 168 с.
5. Махов В.Е., Захаренко Е.А. Исследование оптической системы для идентификации изделий машиностроения // Металлургические процессы и оборудование. 2013. № 4(34). С. 62-68.
6. Пряхин Е.И., Ларионова Е.В., Захаренко Е.А. Нанобар-код – многофункциональная система идентификации и защиты продукции // Фотоника. 2014. № 6(48). С. 12-19.
7. Сивенков А.В., Коновалов К.И., Зверькова Е.И. Влияние лазерной маркировки на изменение структуры и свойств стали аустенитного класса // International scientific review. 2016. № 11(21). С. 38-40.

УДК 621.763:629.78

Углерод-керамические материалы многоразового использования

Н.В. Ларионов, инженер-технолог АО «Композит»,
г. Королев, Московская область

Мировые стремления к использованию космических аппаратов многоразового использования требуют разработки и новых материалов. Углерод-керамические материалы обладают рядом специфических характеристик, которые позволяют рассматривать эти материалы как перспективные для использования в авиа и ракетостроении. Специфичность их свойств связана с методом получения и составом материала. Углеродные волокна обеспечивают высокие физико-механические показатели, а матрица из карбида-кремния повышает окислительную стойкость, даже в окислительной среде.

Материалы многоразового использования, углерод-керамические материалы, фенолоформальдегидное связующее, пористость, плотность, предел насыщения.

Multiused carbon-ceramic materials

N.V.Larionov, engineer-technologist AO «Kompozit», Korolev, Moscow region

The world's desire to use reusable space vehicles requires the development of new materials. Carbon-ceramic materials have a number of specific characteristics that allow us to consider these materials as promising for use in aviation and rocket science. The specificity of their properties is related to the method of preparation and composition of the material. Carbon fibers provide high physical and mechanical properties, and a silicon-carbide matrix increases oxidative resistance, even in an oxidizing environment.

Reusable materials, carbon-ceramic materials, phenol-formaldehyde binder, porosity, density, saturation limit.

Области применения перспективных углерод-углеродных композиционных материалов весьма обширны. Они используются при создании различных высоконагруженных узлов и деталей, которые также подвергаются нагреву. Поэтому современные углерод-углеродные композиционные материалы все чаще используются при создании различных образцов авиационной и ракетно-космической техники [1, 2]. Основными причинами применения таких материалов являются их физико-химические свойства (легкость, высокая прочность, в том числе при высоких температурах, и износостойкость по сравнению с традиционными материалами). При этом они обладают повышенной стоимостью, а их производство характеризуется повышенной наукоемкостью, обусловленные необходимостью использования дорогого оборудования и сырья, а также высококвалифицированных специалистов [3]. В качестве основного недостатка углерод-углеродных композиционных материалов следует отметить низкая окислительная

стойкость углерода. Поэтому с целью повышения окислительной стойкости таких материалов применяется модифицирование углеродной матрицы и нанесение антиокислительного покрытия.

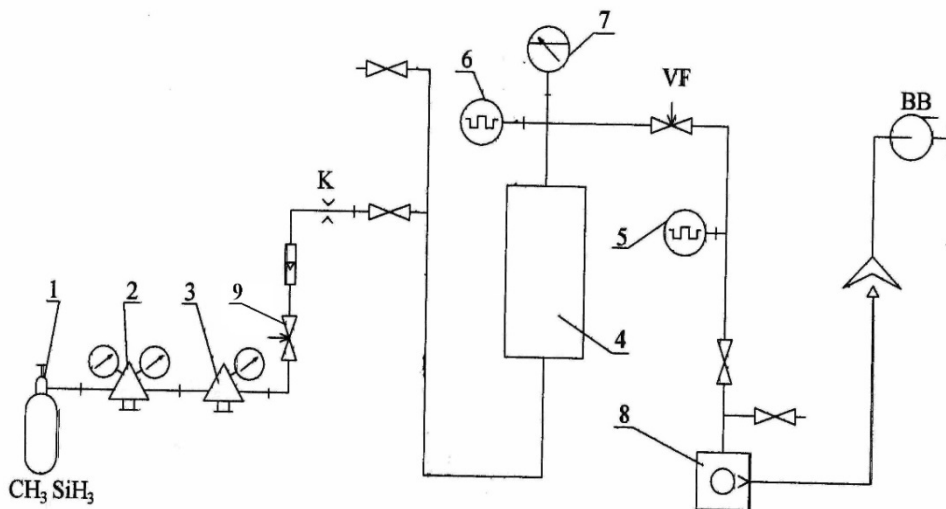
В данной работе автором рассмотрен метод модифицирования углеродной матрицы карбидом кремния с нанесением карбидокремниевого покрытия. Основой для разработки этого метода послужила созданная ранее в АО «Композит» технология получения композиционного материала (КМ) с карбидокремниевой матрицей из газовой фазы, содержащей монометилсилан (CH_3SiH_3) [4]. Подобные исследования проводятся не только в РФ, но и в других промышленных странах. Известно, что аналогичные материалы типа C-SiC с газофазной матрицей были получены также французской фирмой SEP и показали хорошие антиокислительные, физико-механические и теплофизические характеристики [5].

В отличие от западных производителей, которые используют проблемный метилтрихлорсилан в смеси с водородом, в АО «Композит» применяют экологически чистый метилсилан. Основные преимущества данной технологии:

-высокая экологичность, отсутствие вредных выбросов: продуктами реакции термического разложения метилсилана являются только карбид кремния (87% масс.) и водород (13%);

-резкое – более чем в 2 раза по сравнению с традиционной газофазной технологией – снижение энергоемкости длительных процессов насыщения.

Для проведения эксперимента и изучения процессов осаждения карбида кремния из метилсилана была спроектирована установка, структурная схема которой представлена на рисунке 1.



1 – баллон с метилсиланом; 2 – редуктор; 3 – редуктор тонкой регулировки; 4 – реактор;
5, 6 – вакуумметры; 7 – вакуумметр деформационный; 8 – вакуумный насос;
9 – регулятор расхода реагента

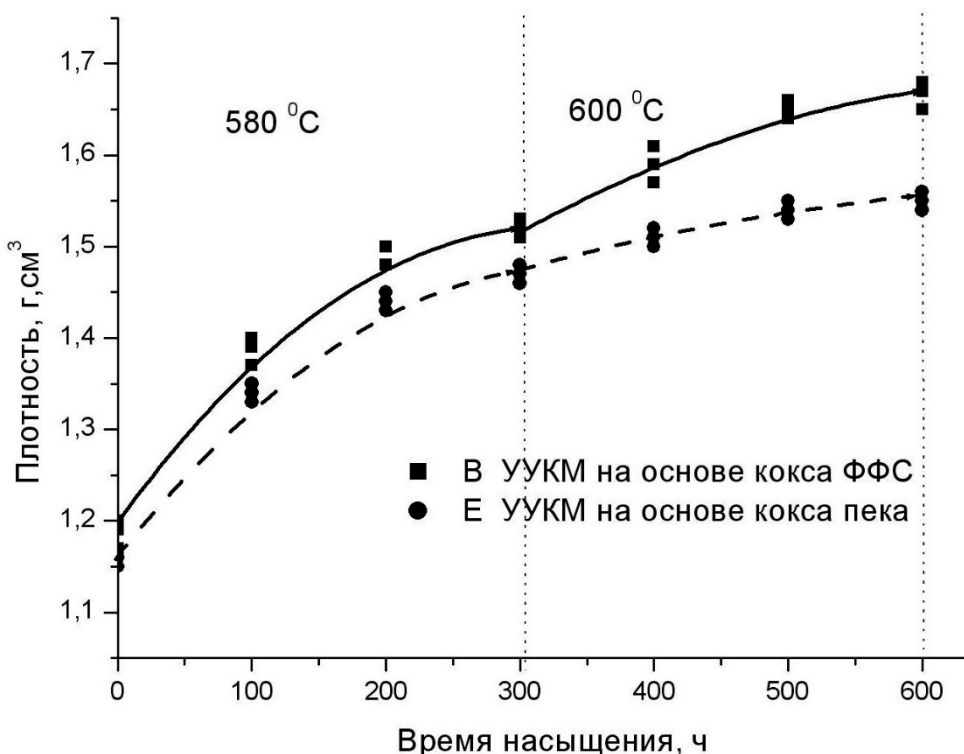
Рисунок 1 – Схема установки осаждения карбида кремния из метилсилана

Представленная на схеме установка представляет собой проточную герметичную систему. В ней в условиях вакуума обеспечивается стационарное протекание процесса осаждения SiC из метилсилана.

С помощью представленной установки в системе создается разрежение в несколько Па. Для удаления продуктов реакции и непрореагировавшего реагента в установке используется форвакуумный насос. Установка также оснащена средствами измерения давления в реакторе. Для грубых измерений используется вакуумметр деформационный, а вакуумметр тепловой, обеспечивает измерение вакуума в реакторе в интервале значений давлений процесса от 1 до 100 Па.

В качестве исходного материала для получения композиционного материала автором были использованы заготовки двух типов: с углеродной матрицей из фенолоформальдегидного связующего (ФФС) и на основе кокса каменугольного пека. В качестве первого приближения для режима уплотнения исходных пористых УУКМ-заготовок обоих типов был выбран режим уплотнения, отработанный в АО «Композит» ранее для насыщения пористых УУКМ-заготовок с близкими характеристиками пористости и плотности. Процесс насыщения характеризуется двумя низкотемпературными стадиями – при 580 °С и 600 °С.

Каждый из этапов насыщения проводили, пока не прекращался привес материала. Высокотемпературную стадию выдерживали до нанесения поверхностного слоя толщиной 70-90 мкм. Результаты эксперимента по насыщению карбидом кремния УУКМ-заготовок обоих типов представлены на рисунке 2.



сплошная линия – УУКМ-заготовка с углеродной матрицей на основе фенолформальдегидного связующего,
штриховая линия – УУКМ-заготовка с углеродной матрицей на основе кокса пека
Рисунок 2 – Зависимость плотности образцов УУКМ-заготовок обоих типов от времени процесса насыщения карбидом кремния

Из рисунка видно, что для обоих типов углеродных заготовок достигается предел по насыщению на первой температурной стадии при длительности около 300 ч. При этом для образца из УУКМ-заготовки с углеродной матрицей на основе кокса фенолоформальдегидной смолы достигается среднее значение плотности $1,52 \text{ г/см}^3$, а для образцов из УУКМ-заготовки с углеродной матрицей на основе графитированного кокса пека она составила $1,48 \text{ г/см}^3$. Из-за различной начальной микро- и макро-пористости исходных образцов для первой заготовки содержание карбида кремния составило 29,2% масс, а для заготовки второго типа – 23,5% масс. На второй температурной стадии предел по насыщению для обоих типов углеродных заготовок достигается при ее длительности около 300 ч. При этом для образцов из УУКМ-заготовки с углеродной матрицей на основе кокса фенолоформальдегидной смолы достигается среднее значение плотности $1,67 \text{ г/см}^3$, а для образцов из УУКМ-заготовок с углеродной матрицей на основе графитированного кокса пека она составила $1,55 \text{ г/см}^3$. При этом для первой заготовки содержание карбида кремния составило 35% масс, а для заготовки второго типа – 31% масс. Нанесение покрытия на УУКМ позволило повысить плотность для заготовки первого типа до $1,85 \text{ г/см}^3$, а для второго типа – $1,80 \text{ г/см}^3$.

Испытания на окислительную стойкость в плазме (режим испытаний – десять циклов воздействия при температуре $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ длительностью 600 с для каждого цикла), имитирующие натуральный спуск с околоземной орбиты, показали стойкость материала к воздействию высокотемпературного диссоциированного воздушного потока. На поверхности материала образуется пленка, по-видимому, SiO_2 , выполняющая защитную функцию. Наблюдается тенденция возрастания потери массы за один цикл. Тем не менее, всего за 10 циклов общая потеря – менее 1%. Внешний вид поверхности образцов первого типа после испытаний на окислительную стойкость представлен на рисунках 3 и 4. Результаты физико-механических испытаний приведены в таблице 1.

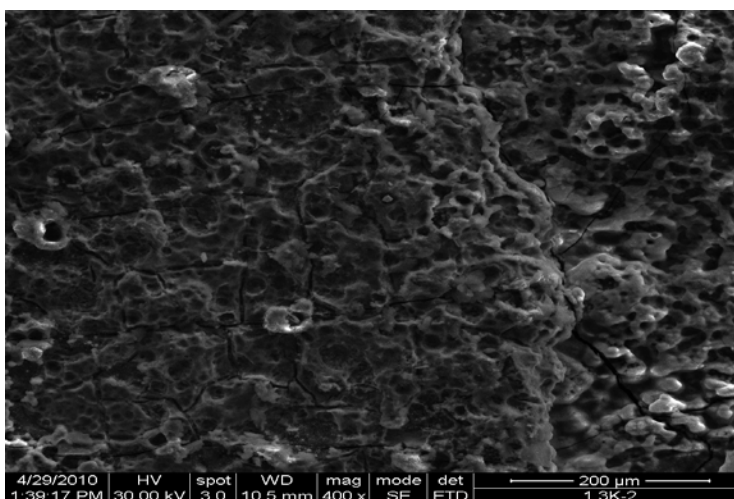


Рисунок 3 – Внешний вид поверхности образца на основе фенолоформальдегидной смолы

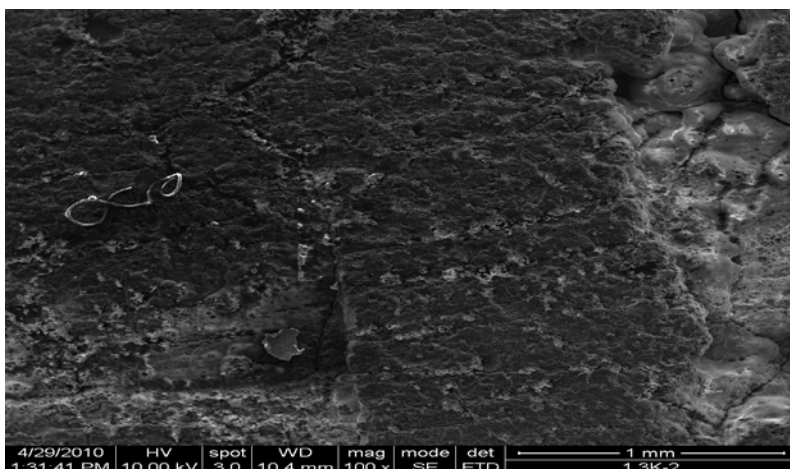


Рисунок 4 – Внешний вид поверхности образца на основе графитированного кокса пека

Таблица 1 – Результаты физико-механических испытаний при температуре 20 °С

Характеристика	Значение характеристики	Характеристика	Значение характеристики
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	131	Модуль упругости при сжатии, ГПа	71
Модуль упругости при растяжении, МПа	73	Предельная деформация при сжатии, %	0,32
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	92	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	132
Предельная деформация при растяжении, %	0,43	Разрушающее напряжение при сдвиге в плоскости слоя, МПа	32
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	131	Модуль упругости при сжатии, ГПа	71

Анализ результатов физико-механических испытаний, представленных в таблице 1, показывает, что испытанный УУКМ, можно использовать в качестве конструкционного.

Таким образом можно сделать вывод, что конструкционный материал типа С-SiC, полученный осаждением карбида кремния из газовой фазы монометилсилана в пористый каркас из УУКМ, в отличие от материала «Гравимол», применявшегося на орбитальном корабле «Буран» в качестве материала термонагруженных узлов таких как кромки крыла, киля и носового обтекателя, обладает характеристиками, позволяющими использовать его как конструкционный при температурах до 1700 °С в условиях высокотемпературного диссоциированного воз-

душного потока. При этом такой материал способен выдержать многократное (не менее 10 циклов: нагрев до 1650 °С – выдержка 20 минут – охлаждение) термоциклирование.

Литература

1. Исаев В.Г., Озерский М.Д. Основные направления создания отечественных многоразовых космических систем // Информационно-технологический вестник. 2014. № 1(01). С.34-43.
2. Исаев В.Г. О методическом подходе к оценке технического уровня агрегатов и систем космических ракетных комплексов // Информационно-технологический вестник. 2015. № 2(04). С. 106-110.
3. Исаев В.Г., Костылёв А.Г., Асташева Н.П. Системный анализ факторов, влияющих на стоимость сложных технических систем при повышении их качества // Вопросы региональной экономики. 2015. Т. 25. № 4. С. 178-184.
4. Патент РФ №2130509 от 20.05.1999, приоритет от 26.01.1998. Способ получения композиционного материала.
5. Lamuroux F., Bourrat X., Naslain., Thebault J. Silicon carbide infiltration of porous C-C composites for improving oxidation resistance // Carbon. 1995. V. 33. № 4.

УДК 621.794

Влияния химического состава стали 35ХГСЛ на усадку, литейные дефекты и микроструктуру

М.Л. Скрябин, кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятская государственная сельскохозяйственная академия (ФГБОУ ВО Вятская ГСХА), г. Киров

Стальные отливки на сегодняшний день стали неотъемлемой частью современного литейного производства. В процессе получения отливок неизбежно появляются какие-либо дефекты. В данной работе рассмотрены причины образования дефектов при изготовлении отливок из стали 35ХГСЛ при литье по выплавляемым моделям. Также рассмотрены особенности отвода теплоты от отливки при первичной и вторичной кристаллизации. Приведена классификация зон отливок по ориентации кристаллов в отливках. Выявлена закономерность влияния интенсивности охлаждения на характер усадки.

Дефекты стали, первичная и вторичная кристаллизация, сталь 35ХГСЛ.

Effect of the chemical composition of 35HGSL steel on shrinkage, casting defects and microstructure

M.L. Scriabin, candidate of technical Sciences, associate Professor,
Federal state budgetary educational institution of higher professional education Vyatka state agricultural Academy
(University at Vyatka state agricultural Academy), Kirov

Today, steel castings have become an integral part of modern foundry production. In the process of obtaining castings, any defects inevitably appear. In this paper, we consider the production reasons for the formation of defects in the manufacture of castings made of 35XGSL steel when casting on investment models. The features of heat removal from the casting during primary and secondary crystallization are also considered. The classification of casting zones by the orientation of crystals in castings is given. The regularity of the influence of the cooling intensity on the shrinkage character is revealed.

35HGSL steel, steel defects, primary and secondary crystallization.

В настоящее время в промышленном производстве существует достаточно много технологий получения отливок из различных металлических материалов. Чтобы избежать появления литейных дефектов в производстве и повысить качество продукции одним из главных направлений становится прогнозирование и раннее выявление на ранней стадии возможных дефектов, снижающих надежность готового изделия [1, С.163].

При изготовлении отливок при литье по выплавляемым моделям встреча-

ются следующие причины образования дефектов [2, С.154]:

- недостаточная чистота поверхности пресс-форм;
- плохое смачивание поверхности перед заливкой металлических материалов специальным раствором (суспензией);
- низкая прочность оболочковых форм;
- разлом внешнего облицовочного слоя форменной суспензии сыпучими материалами;
- наличие мелких трещин в оболочковых формах из-за ее низкой термической устойчивости;
- выход на внешнюю часть моделей воздушных пузырей вследствие неполного увлажнения наружного слоя модели суспензией;
- появление растрескиваний в оболочке из-за повышенного давления основного наполнителя;
- повышенная химическая активность к поверхностным слоям оболочки оксидов, находящихся в заливаемом в форму сплаве;
- слишком высокая температура металлического материала при заливке в полость формы;
- перегрев отдельных участков полости формы;
- дефекты литниковой системы;
- выкрашивание частей оболочки формы в процессе заливки;
- попадание внутрь оболочки абразивных частиц облицовочного слоя и выкрашивание локальных участков формы;
- осыпание футеровочного материала печи и ковша;
- литниковая система имеет неправильную конструкцию и размеры;
- ошибки, связанные с расположением отливок в блоке;
- недолив прибыли или литниковой воронки и стояка;
- повышенная газонасыщенность металла газами и оксидами;
- попадание шлака с расплавом в форму при заливке;
- недостаточность газопроницаемость литейной формы;
- нетехнологическая конструкция отливок и блока отливок;
- высокая температура расплава при заливке, которая приводит к увеличению внутренних напряжений;
- увеличенное содержание посторонних примесей в металлическом материале;
- напряжения от внешних воздействий на отливку;
- плохое качество очистки металла;
- недостаточное количество металла в ковше.

Процесс кристаллизации литейных сталей сопровождается образованием и ростом кристаллов, явлениями гидродинамики (движением расплава в кристаллизующейся отливке), теплопередачей, сжатием, выделением газов и т.д. Все это является причиной образования различных дефектов.

Образование кристаллов при переходе стали из жидкого состояния в твердое принято называть первичной кристаллизацией.

Изменение формы кристаллов при полиморфных превращениях, протекающих в твердом состоянии, называется вторичной кристаллизацией.

Первичная кристаллизация стали в литейной форме зависит от многих

факторов: температуры нагрева жидкого металла в плавильной печи, продолжительности выдержки стали при температурах более высоких, чем температура плавления, температуры стали при заполнении литейной формы, условий теплоотвода в форме во время кристаллизации и др. [3, С.59].

В реальных условиях получения фасонных стальных отливок наибольшее влияние оказывают факторы, определяющие теплоотвод из кристаллизующейся отливки – теплоаккумулирующую способность литейной формы и теплофизические свойства металла.

Усадка стальных отливок заключается в уменьшении их размеров в процессе охлаждения и кристаллизации. Она может быть линейной или объемной. Обычно линейную и объемную усадку выражают следующими формулами:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% ; \quad (1)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где l_1 – линейный размер литейной формы, м;
 l_0 – линейный размер отливки после кристаллизации и остывания до комнатной температуры, м;
 V_1 – объем литейной формы, м³;
 V_0 – объем отливки при комнатной температуре, м³.

В реальных условиях в макроструктуре стальных отливок различают три зоны: внешнюю – с мелкими неориентированными кристаллами, среднюю – с кристаллами, ориентированными по направлению теплоотвода и центральную – с сравнительно крупными и хаотично ориентированными кристаллами.

Внешняя зона образуется при значительном переохлаждении расплава и появлении большого числа зародышей кристаллизации, средняя – при наличии определенного, но уже меньшего переохлаждения и свободном росте кристаллов в направлении центра отливки: центральная зона - при выравнивании температур в центре отливки [4, С.321].

Коэффициент объемной усадки стальных отливок примерно в 3 раза больше коэффициента линейной усадки.

При заливке жидкой стали в литейную форму и последующем ее охлаждении необходимо различать три вида объемной усадки: в период от температуры заливки до температуры ликвидуса; в интервале кристаллизации и в твердом состоянии. Полной объемной усадкой называется сумма указанных трех видов усадок [5, С.6].

На рисунке 1 показана кривая полной усадки стали 35ХГСЛ в жидком состоянии (отрезок АВ), в интервале кристаллизации (отрезок ВС) и в твердом состоянии (отрезок CD) [7, С.308].

Каждый из трех видов усадок может быть причиной возникновения дефектов в отливке. Так, значительно влияет на образование и размеры усадочных раковин в стальных отливках усадка стали в жидком состоянии и в интервале кристаллизации. Усадка в твердом состоянии может вызвать трещины, внутренние напряжения и деформации отливок.

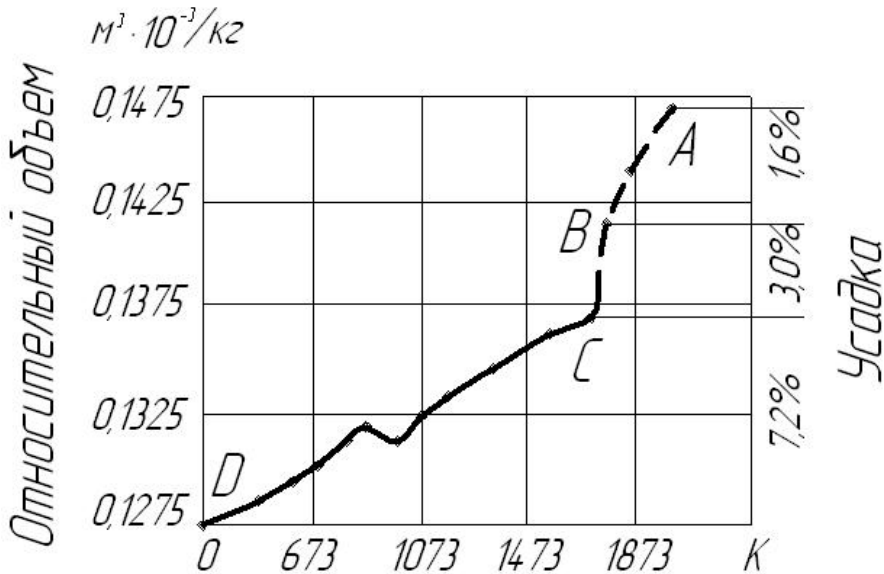


Рисунок 1 – Кривая усадки стали с 35ХГСЛ
 АВ - в жидком состоянии; ВС – в интервале кристаллизации;
 С0 – в твердом состоянии

Интенсивность охлаждения заметно влияет на характер усадки. При небольшой интенсивности охлаждения готового изделия усадка определяется коэффициентом линейного расширения сплава, аналогично усадке при некоторых других технологических процессах [8, С.194]. При большой интенсивности в конце затвердевания температуры различных частей отливки значительно отличаются друг от друга, так как они охлаждаются с разной скоростью.

В результате образуются внутренние напряжения, приводящие во многих случаях к искривлению стальных отливок. Наибольшая разница в степени развития усадки при различных режимах охлаждения наблюдается в начальный период охлаждения, т.е. непосредственно после заливки литейной формы металлом [9, С.8].

Литейная усадка зависит от конфигурации стальной отливки, конструкции литейной формы и других факторов. Особенно влияет на конечные размеры отливки ее конфигурация. Усадка тем больше затруднена, чем больше разница между размерами сечений отдельных частей отливки. Различают свободную и затрудненную усадки.

Усадка стальной отливки из среднеуглеродистой стали при кристаллизации достигает 2,5...3,2% от ее полного объема при комнатной температуре.

Усадка стальной отливки из среднеуглеродистой стали значительно зависит также от химического состава стали (наличия легирующих элементов), скорости ее охлаждения и заливки металла внутрь формы, скорости выделения газов, характера ликвационных и объемных изменений при фазовых превращениях и т. д.

На рисунке 2 показано влияние химического состава стали на полную линейную усадку твердого металла [10, С.220].

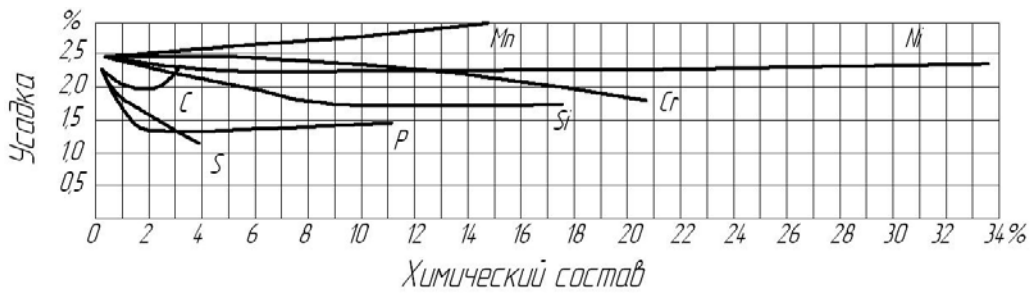


Рисунок 2 – Влияние химического состава стали на полную линейную усадку

Усадку в отливках можно определить статическим и динамическим методами. В первом случае длина заливаемой формы равна окончательной длине охлажденной отливки; во втором - регистрируется непрерывное изменение длины отливки.

На рисунке 3 показаны схемы свободной и затрудненной усадок при кристаллизации отливки [11, С.158].

Литейная усадка зависит от толщины стенок отливок: с возрастанием толщины увеличивается тепловое воздействие на стенки литейной формы и стержней.

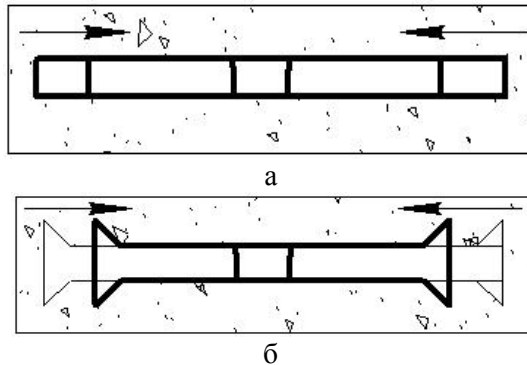


Рисунок 3 – Схема свободной (а) и затрудненной (б) усадок в опытных отливках

На границе металл-форма поверхностные слои формовочной смеси нагреваются до высоких температур и в результате меньше сопротивляются усадке отливки. Поэтому действительная усадка отливок с увеличением толщины их стенок возрастает.

На степень деформации при усадке влияет величина зерна и скорость охлаждения сплава (рисунок 4).

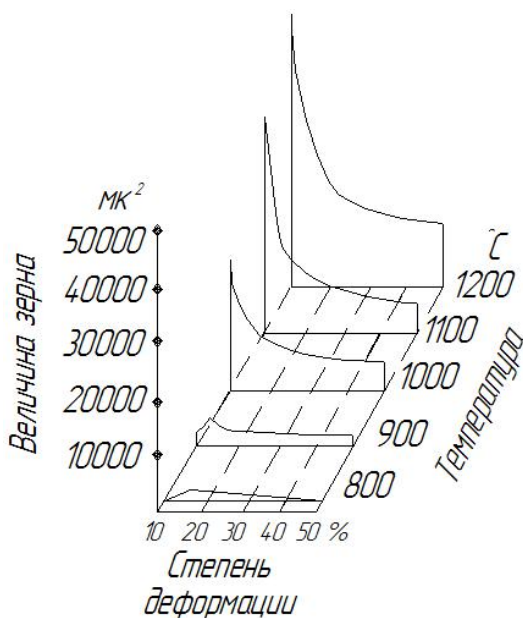


Рисунок 4 – Влияние температуры и величины зерна сплава на степень деформации при усадке

Усадка также зависит и от конфигурации отливок. Для получения более качественных отливок необходимо стремиться к наличию максимальной податливости формы и стержне. Этого можно достичь за счет добавок в формовочные и стержневые смеси древесных опилок и т. д., а также созданием в форме полостей, уменьшающих ее сопротивление во время усадки отливки.

Если литейная форма не обладает необходимой податливостью в процессе усадки, могут возникнуть внутренние напряжения и трещины в местах, где прочность формы больше прочности отливки в процессе кристаллизации [12, С.8]. Существенным для практики является знание того факта, что чем меньше разница между действительной (затрудненной) усадкой и свободной, тем выше качество стальных отливок.

Излом стали 35ХГСЛ до термической обработки и микроструктурные исследования после предварительной и окончательной термической обработки представлены на рисунках 5-7. Микроскопический анализ образцов показал, что структура металла всех образцов практически идентична и образована зернами сорбита. При изучении дефектных образцов выявлено, что камневидный излом образовался по специфическим пленкам, образованные нитридами алюминия, которая может образовываться в легированных сталях только при перегреве.

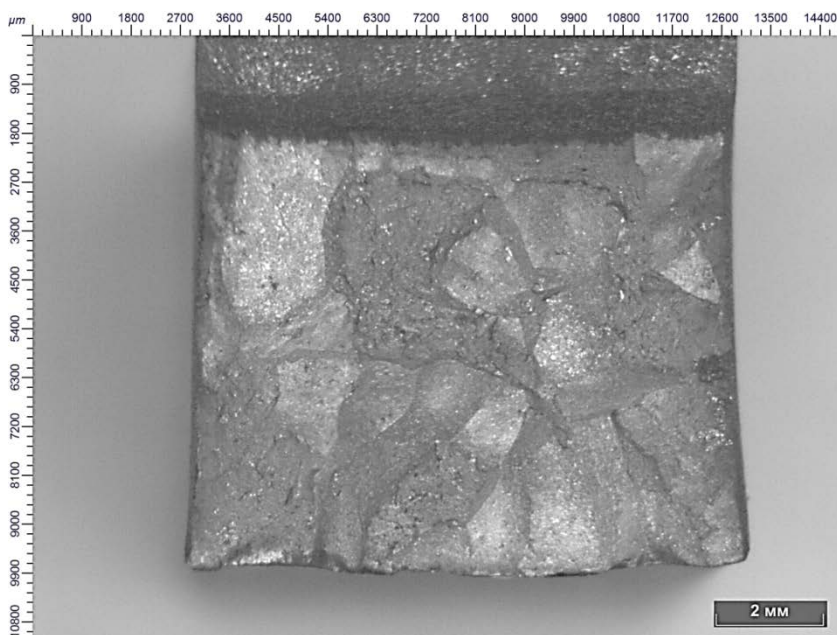


Рисунок 5 – Излом отдельно отлитого образца из стали 35ХГСЛ до термической обработки



Рисунок 6 – Микроструктура отдельно отлитого образца из стали 35ХГСЛ после предварительной термической обработки

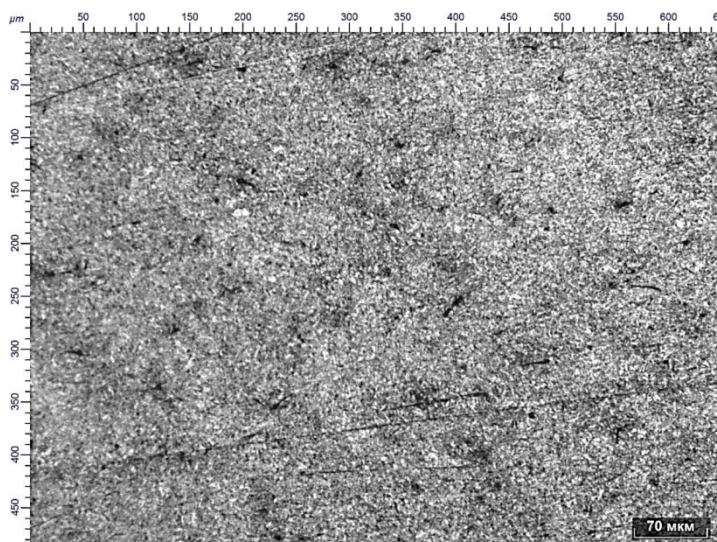


Рисунок 7 – Микроструктура отдельно отлитого образца из стали 35ХГСЛ после окончательной термической обработки

Анализируя полученные данные и дополнительные микроструктурные исследования, можно отметить, что при наличии в структуре стали низкотемпературных сульфидов, вследствие перегрева металла в процессе кристаллизации могут образовываться усадочные трещины и камневидные изломы [13, С.6]. Для снижения вероятности появления подобных дефектов необходимо наличие тугоплавких сульфидов марганца, титана, а также редкоземельных металлов. С повышением чистоты стали по сере и азоту увеличивается склонность к образованию литейных дефектов и усадочных раковин. Также выявляется одна из главных особенностей образования трещин и изломов – это присутствие фаз, которые концентрируются на границах бывших аустенитных зерен.

Литература

1. Скрябин М.Л., Чухлова С.С. Исследование влияния тонких нитридных пленок алюминия на камневидный излом литой стали // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3 (17). С. 158-166.
2. Новоклещева С.М., Виноград М.И. Дефекты стали // М: Металлургия. 1984. 199 с.
3. Скрябин М.Л., Чупраков А.И. Исследование камневидного излома стали 35ХГСЛ при электродуговой выплавке // Информационно-технологический вестник. 2019. № 3 (121). С. 55-64.
4. Гаранин В.Ф., Иванов В.Н., Казеннов С.А. Литье по выплавляемым моделям // М.: Машиностроение. 1994. 448 с.
5. Likhanov V.A. and Skryabin M.L. 2019 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 032045.
6. Скрябин М.Л. Исследование камневидного излома стали 35ХГСЛ // «Байтурсьновские чтения – 2019» на тему: «Многогранность Великой Степи: духовное возрождение, знание и инновации»: Материалы международной научно-

- практической конференции 26 апреля 2019 года // Костанай: Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова. 2019. С. 494-498.
7. Скрябин М.Л. Исследование камневидного излома литой стали у сельскохозяйственных машин // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Кокино. 2019. № 1(18). С. 304-310.
 8. Скрябин М.Л., Смехова И.Н. Этапы формирования пористых структур при микродуговом окислении поршневых алюминиевых сплавов // Ползуновский вестник. 2017. № 4. С. 192-196.
 9. Skryabin M.L. and Likhanov V.A. 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 734 012075.
 10. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А. Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления: Учебное пособие // М.: Машиностроение. 2008. 282с.
 11. Герасимова Л.П., Ершов А.А. Изломы конструкционных сталей // М: Металлургия. 1987. 272 с.
 12. Skryabin M.L. 2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 072012.
 13. Skryabin M.L. and Likhanov V.A. 2019 Journal of Physics: Conference Series 1399 044063.

УДК 539.422.5:629.78

Особенности проведения испытаний композиционных материалов на сдвиг при высоких температурах

К.В. Шаньгин, ведущий инженер АО «Композит»,
г. Королев, Московская область

Рассмотрены проблемы, возникающие при испытании на сдвиг при высоких температурах, объемно – армированных углерод – углеродных композиционных материалов, применяемых при создании ракетно-космической техники. Предложены варианты повышения точности измерения, достоверности определяемых физико-механических свойств материалов.

Сдвиг, углерод-углеродные композиты, качество готовых изделий.

Features of testing composition materials on shear at high temperatures

K.V. Shangin, Lead Engineer JSC «Kompozit»,
Korolev, Moscow region

Problems arising during shear test at high temperatures of volume – reinforced carbon – carbon composite materials used in creation of rocket and space technology are considered. Disclosed are versions of improving measurement accuracy and reliability of determined physical and mechanical properties of materials.

Stress strain behavior, carbon composites, shear test tool, quality.

В настоящее время композиционные материалы находят все большее применение в авиационной и ракетно-космической технике. Основной причиной использования является возможность обеспечения прочности конструкций при температурах свыше 2000 °С [3]. Применение данного вида материалов необходимо в таких ответственных конструкциях как лепестковый сопловой блок, системы для крепления научно-исследовательской аппаратуры [2]. А это накладывает более жесткие условия к испытаниям перспективных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ), а также пересмотра и совершенствования существующих расчётных – экспериментальных методик и испытательного оборудования [1, 4]. Разработка и внедрение перспективных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) и углерод-керамических композиционных материалов (УККМ) обуславливают пересмотр и совершенствование существующих расчётных и экспериментальных методик [1, 4]. Например, увеличение прочности исследуемых композиционных материалов при испытании на сдвиг при высоких температурах приводит к возрастанию усилий, нагружающих образец во время испытания, и, как следствие, к разрушению испытательного приспособления (рис. 1). Кроме того, точность определения предела прочности при сдвиге, точность измерения деформаций с использованием тензорезисторов связаны с обеспечением равномерности распределений напряжений и деформаций в рабочей области

образца. Существует ряд задач, связанных с оптимизацией формы и размеров образцов, применяемых при испытании на сдвиг при высоких температурах. Первоочередной является предотвращение эпизодического разрушения технологической оснастки. Вместе с тем, отдельной, но не менее важной является задача выбора корректных размеров тензорезисторов, применяемых для фиксации деформаций: максимальные размеры тензорезисторов ограничиваются размерами рабочей области образца, где напряжённо-деформированное состояние образца близко к чистому сдвигу, минимальные размеры – неоднородностью исследуемых композиционных материалов.

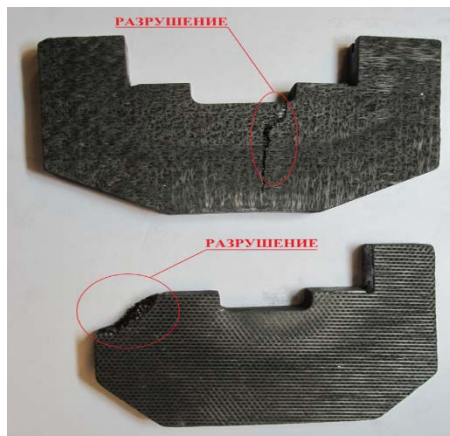


Рисунок 1 – Разрушенное испытательное приспособление

Для решения этих вопросов автором был спланирован и проведен эксперимент по испытаниям образцов на сдвиг при высоких температурах и сравнение, полученных результатов. При этом образцы первого типа соответствовали чертежу, представленному в действующей методике высокотемпературных испытаний [5], а в качестве образца второго типа использовался усовершенствованный образец. Усовершенствование образцов второго типа заключалось в том, что в рабочей области, т.н. области V-образных вырезов, автором были сделаны симметричные П-образные пазы шириной 8 мм и глубиной 4 мм (рис. 2 и рис. 3). Суммарная площадь рабочих сечений образца первого типа составляла ~ 400 мм, в то время как для образца второго типа данная величина была уменьшена до ~ 200 мм. Максимальное усилие P_{MAX} , нагружающее образец, оценивалось по следующей формуле:

$$P_{MAX} = \tau_{сдв} \times S \quad [H] \quad (1)$$

где $\tau_{сдв}$ [МПа] – предел прочности при испытании на сдвиг исследуемого материала; S [мм] – суммарная площадь рабочих сечений образца.

Предложенное автором усовершенствование образца привело к уменьшению усилия, нагружающего образец и испытательное приспособление, в 2 раза. Таким образом, предложение автора привело к уменьшению износа испытательного приспособления, с ~ 5 до ~20 испытаний.

Результаты испытания на сдвиг при 2000 °С образцов, вырезанных из модельного УУКМ со схемой армирования 4Д–Л, приведены в таблице 1. Из анализа представленных данных видно, что среднее значение предела прочности при сдвиге, полученное при испытании образцов первого типа, превышает среднее значение предела прочности, полученное при испытании доработанных образцов. Однако, из-за высоких разбросов физико-механических свойств, характерных для рассматриваемых материалов, недостаточного в настоящее время числа испытанных образцов на данном этапе рано проводить статистическую обработку и делать корректное заключение о статистически значимом расхождении средних значений пределов прочности.

Таблица 1 – Результаты определения предела прочности $\tau_{сдв}$ на сдвиг при 2000 °С образцов, вырезанных из модельного УУКМ со схемой армирования 4Д–Л

Тип образца	№ образца	Температура, °С	Предел прочности, $\tau_{сдв}$, МПа
I	1	2015	66,3
	2	2025	61,6
	Среднее значение		64,0
II	3	2000	50,4
	4	1995	65,9
	Среднее значение		58,2

Анализ диаграммы разрушения классического образца из УУКМ при 2000 °С, так же свидетельствует о недостаточной жесткости используемой оснастки, необходимости оптимизации геометрии образца (рис. 2).

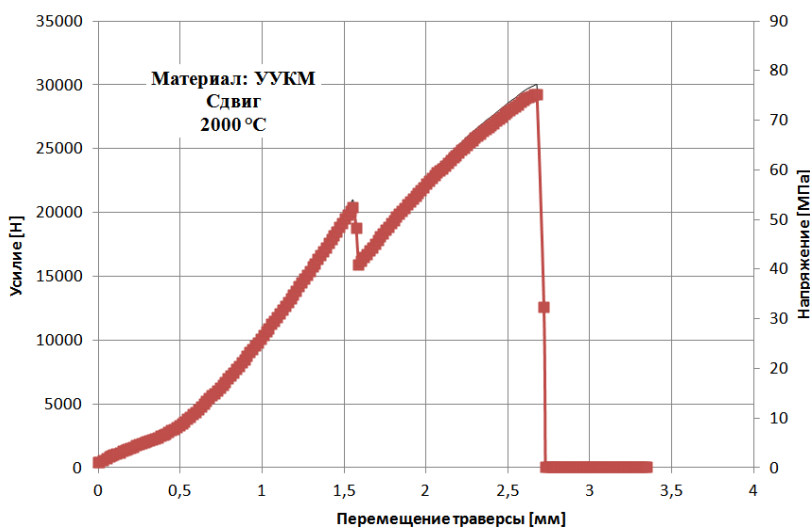


Рисунок 2 – Диаграмма разрушения образца из УУКМ при испытании на сдвиг при 2000 °С

Часть образцов второго типа разрушались на границе рабочей области. Пример некорректного разрушения образца на границе П-образного паза приведен на рисунке 3. По мнению автора, подобные разрушения связаны с повышенной концентрацией напряжений в данной области. При этом качество, в частности, достоверность полученных результатов не является удовлетворительной, так как значения предела прочности при сдвиге занижены.

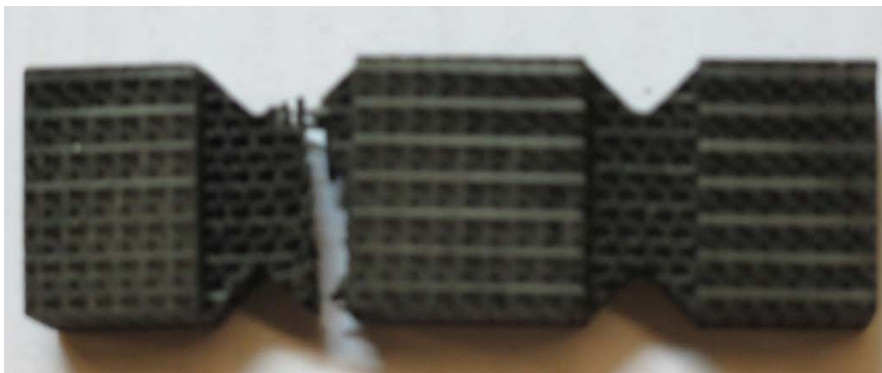


Рисунок 3 – Некорректное разрушение образца второго типа при испытании на сдвиг

Результаты проведенных экспериментов также показали, что при температурах, превышающих 2200 °С, довести образцы как первого, так и второго типа до разрушения от касательных напряжений не удастся, так как исследуемый УУКМ становится пластичным, существенно возрастают деформации (рис. 4).



Рисунок 4 – Фотография образца второго типа, испытанного при температуре $T \geq 2200$ °С

По характеру распределения остаточных деформаций можно сделать вывод о неоднородности напряженно-деформированного состояния образца и наличии значительного изгиба. Для выбора рациональной геометрии испытываемого образца, целесообразно проведение дополнительных испытаний. Таким образом, дальнейшая расчётно-экспериментальная отработка должна быть связана:

- с изучением влияния формы паза (П-, U-, V-образный) на напряжённо-деформированное состояние образца;
- с определением проектных геометрических параметров образцы (габаритных высоты и ширины, высоты и ширина рабочего сечения образца, угла для V-образного паза).

Учитывая высокую стоимость исследуемых материалов и экономические затраты на проведение высокотемпературных испытаний автор предлагает проводить дальнейшие исследования с использованием расчётных методов [7]. В этом случае проектные параметры следует выбирать по результатам математического моделирования нагружения образца и решения задачи оптимизации [8]. Задачу предлагается решать методом конечных элементов в физически линейной постановке. Материал образца предполагается считать ортотропным.

А при выборе функции цели при некотором заданном значении усилия P^* использовать следующую функциональную зависимость для вертикального перемещения V центральной части образца:

$$V = f(E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}) \approx f(E_1, G_{12}) \text{ [мм]}, \quad (2)$$

где E_1 [ГПа] – модуль упругости исследуемого материала в направлении продольной оси образца;

E_{12} [ГПа] – модуль упругости исследуемого материала в направлении поперечной оси образца;

G_{12} [ГПа] – модуль сдвига исследуемого материала;

ν_{12} [-] – коэффициент Пуассона исследуемого материала.

В этом случае приведённое вертикальное перемещение V центральной части образца в первом приближении будет соответствовать перемещению траверсы испытательной машины, а зависимость (2) отражать влияние сдвига и изгиба на распределение перемещений в образце. На основании общих теоретических предпосылок функцию V можно аппроксимировать следующим образом:

$$V(E_1, G_{12}) = a_0 + \frac{a_1}{E_1} + \frac{a_2}{G_{12}} + \frac{a_3}{E_1 \cdot G_{12}} + \frac{a_4}{E_1^2} + \frac{a_5}{G_{12}^2}, \quad (3)$$

где параметры $a_i, i=0,5$ определяются методом наименьших квадратов для каждого отдельного проектного варианта, представляющего собой совокупность формы паза и конкретных значений варьируемых геометрических параметров, после проведения серии имитационных расчётов для различных значений E_1 и G_{12} .

В качестве критерии оптимизации при предположительно малых значениях a_3, a_4, a_5 целесообразно принять следующее условие:

$$Q = \left| \frac{\partial V(E_1, G_{12})}{\partial \left(\frac{1}{E_1}\right)} \right| \rightarrow \min. \quad (4)$$

При постановке задачи оптимизации формы и размеров образца для испытания на сдвиг с целью уменьшения изгиба предложенная автором формулировка задачи не единственна, но обладает существенными достоинствами. Помимо непосредственно оптимизации формы и размеров образца в этом случае автоматически определяется соответствующая функциональная зависимость для перемещений V :

$$V = f(G_{12}) \text{ [мм]} \quad (5)$$

Данная функция может быть использована для косвенного определения

модуля сдвига при высоких температурах. Таким образом, может быть существенно расширена действующая методика высокотемпературных испытаний.

В ходе проведения эксперимента, кроме определения прочностных характеристик УУКМ и испытательного оборудования автором также было проведено сравнение влияния размеров используемых тензорезисторов на определяемое значение модуля сдвига при нормальной температуре. При этом использовались тензорезисторы с базой 5 мм и 10 мм, материал образцов – модельный УУКМ со схемой армирования 4Д–Л. Доверительный интервал результатов измерений рассчитан для вероятности 0,95 [6, 8].

Результаты сравнения результатов испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение модуля сдвига

№ образца	Модуль сдвига, Г, ГПа	
	База 10 мм	База 5 мм
1	4,58	4,05
2	4,52	3,73
3	4,28	4,28
4	4,33	3,53
Среднее значение ± ДИ	4,39 ± 0,19	3,97 ± 0,41

Как видно из данных, представленных в таблице увеличение базы тензорезисторов приводит к увеличению модуля сдвига у образца из УУКМ.

Выводы

С целью совершенствование метода испытания композиционных материалов на сдвиг при высоких температурах автором был спланирован и проведен эксперимент по выбору геометрической формы образца из УУКМ и оценке его влияния на испытательное оборудование.

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены главные проблемы в вопросе испытаний на сдвиг, определена форма образца, приводящая к повышению ресурса дорогостоящего испытательного оборудования, определены основные пути решения задач по совершенствованию существующих расчётных-экспериментальных методик и испытательного оборудования, используемых при создании УУКМ и УККМ для авиационной и космической техники.

Сделано предварительное заключение о некотором завышении модуля сдвига при использовании тензорезисторов с большей базой. Для получения расчётных оценок предложено решать данную проблему путем применения методов математического моделирования.

Предложено дальнейшие исследования проводить расчетно-экспериментальным путем, связанным в первую очередь с планированием вычислительного эксперимента, включающим математическое моделирование и решение задачи оптимального проектирования образца.

Литература

1. Арнаутов А.К. Перспективные методы испытаний пространственно-армированных композитов на сдвиг // Механика композитных материалов. 1990. № 5. С. 891-897 с.
2. Грабин Б.В. Инженерные основы конструирования элементов космических аппаратов с применением композиционных материалов // М.: МАИ. 2018. 121 с.
3. Димитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах // М.: Машиностроение. 1997. 368 с.
4. Исаев В.Г., Озерский М.Д. Основные направления создания отечественных многоразовых космических систем // Информационно-технологический вестник. 2014. № 1(01). С. 34-43.
5. МВИ № 02262-11-2008 – Методика выполнения измерений при определении прочностных, упругих и деформационных свойств неметаллов при одноосных нагружениях в интервале $T \sim (20 \div 2700) \text{ } ^\circ\text{C}$ // М. Стандартиформ. 2008. 11 с.
6. Исаев В.Г., Костылёв А.Г., Асташева Н.П. Системный анализ факторов, влияющих на стоимость сложных технических систем при повышении их качества // Вопросы региональной экономики. 2015. Т. 25. № 4. С. 178-184 с.
7. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков // М.: Химия. 1981. 272 с.
8. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента // М.: МИР. 1972. 386 с.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 11.03.2020
Формат В5
Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,8
Тираж 500 экз.
Заказ № 82-10
Отпечатано
в типографии
ООО «Научный консультант»
г. Москва
Хорошевское шоссе, 35, корп.2
Тел.: +7 (926) 609-32-93,
+7 (499) 195-60-77
E-mail :keyneslab@gmail.com
Site:www.n-ko.ru