

РАДИОТЕХНИКА



О.М. Булгаков,
доктор технических наук, профессор



И.В. Лазарев,
кандидат технических наук, доцент

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

INCREASE OF NOISE STABILITY QUASI-OPTIMAL MEASURING INSTRUMENT OF DURATION OF THE IMPULSE OF THE DIFFICULT FORM

Предложен квазиоптимальный измеритель длительности сигнала сложной формы и с использованием программной среды схемотехнического моделирования исследована его помехоустойчивость при различной интенсивности помех. Рассмотрены несколько вариантов практической реализации подобного измерителя и определены условия их функционирования.

Quasi-optimal measuring instrument of duration of a signal of the difficult form is offered with use of program environment of scheme-technic modelling its noise stability is investigated at various intensity of hindrances. Some variants of practical realisation of a such measuring instrument are considered and conditions of their functioning are defined.

При проектировании устройств классификации пространственно-распределённых воздушных объектов в РЛС с широкополосными зондирующими сигналами носителем информации выступает дальностный радиолокационный портрет (ДРЛП), представляющий собой видеоимпульсы сложной формы, отражающие распределение амплитуд отражённого сигнала по разрешаемым элементам цели и имеющие тесную связь с геометрией воздушного объекта. Извлечение информации о геометрической структуре воздушного объекта из отражённого радиолокационного сигнала связано с необходимостью определения значений нескольких параметров (информативных признаков), характеризующих структуру объекта, в частности длительности ДРЛП (τ_n) [1—3].

Данная задача связана с измерением длительности видеоимпульсов сложной формы. Для этой цели используют различные способы измерения временных параметров, реализуемые в том числе с помощью квазиоптимальных измерителей. При измерении временных интервалов в цифровых устройствах используется преимущественно классический метод последовательного счета (метод счетных импульсов), который предполагает выбор порогового уровня измерения, определение интервала существования сигнала (фиксацию начала и конца измеряемого интервала) и его заполнение счетными импульсами. Интервал существования сигнала может быть определен с использованием как метода «фронта», так и метода «максимума». При использовании данных методов длительность сигнала определяется временным отрезком, который заключён либо между фронтом первой и срезом последней «блестящих» точек ДРЛП, либо между максимумами первой и последней «блестящих» точек ДРЛП, используемых при оценке информативных признаков. Квазиоптимальный измеритель длительности ДРЛП (рис. 1), реализующий метод максимума, обладает наивысшей эффективностью и в своём составе содержит активный формирователь экстремумов (АФЭ) (рис. 2).

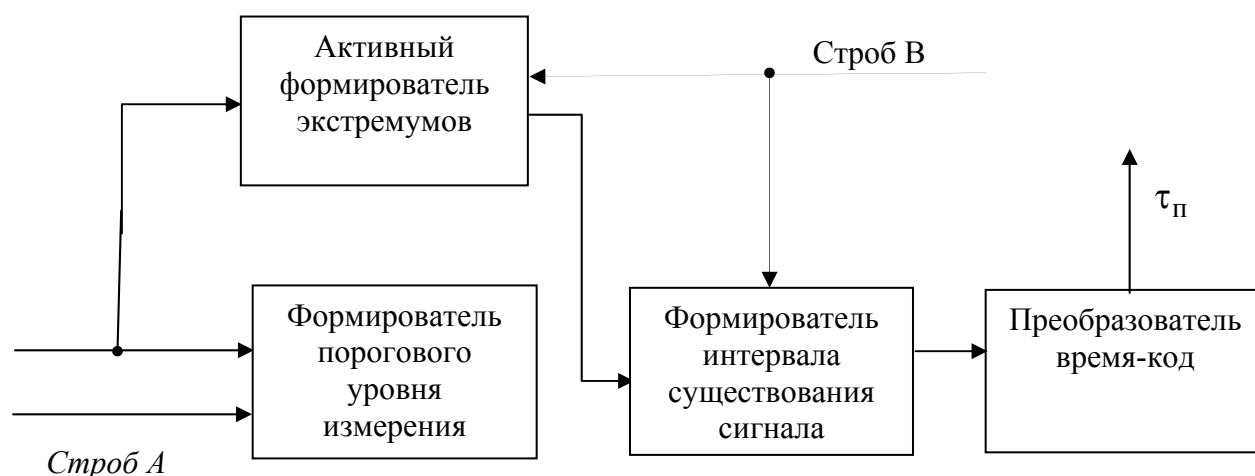


Рис. 1. Структурная схема квазиоптимального измерителя длительности ДРЛП

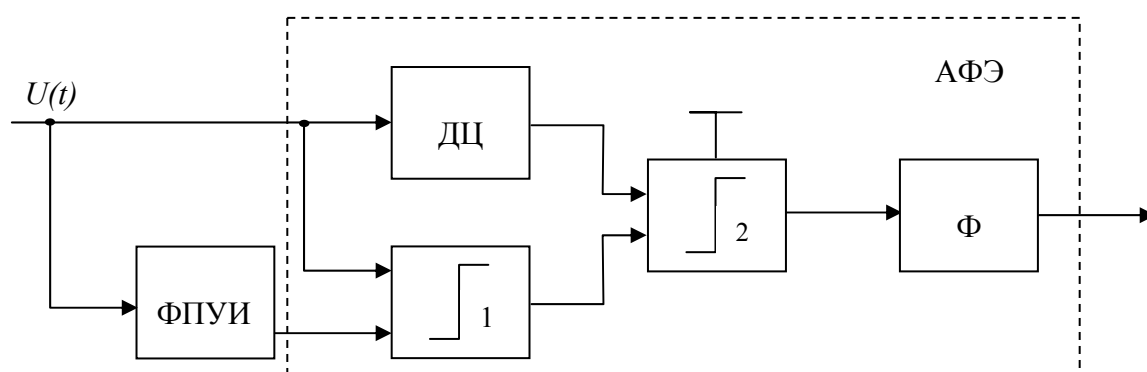


Рис. 2. Структурная схема АФЭ

Принцип работы измерителя длительности ДРЛП иллюстрируется временными диаграммами, приведенными на рис. 3.

Формирователь порогового уровня измерения ФПУИ в течение временного интервала, определяемого сигналом с шины «строб А», вырабатывает напряжение $U_{пор}$, соответствующее выбранному пороговому уровню измерения (рис. 3, а). Дифференцирующая цепь ДЦ АФЭ обеспечивает преобразование сигнала ДРЛП на интервале времени, определяемого сигналом с шины «строб В» (рис. 3, б). Первый компаратор формирует сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов, длительности которых определяются моментами пересечения ДРЛП заданного порога (рис. 3, в). Импульсы поступают на информационный вход второго компаратора, который при поступлении сигнала с выхода дифференцирующей цепи формирует на своём выходе сигналы (рис. 3, г), по срезу которых формирователь Ф вырабатывает короткие импульсы (рис. 3, д), соответствующие максимумам ДРЛП.

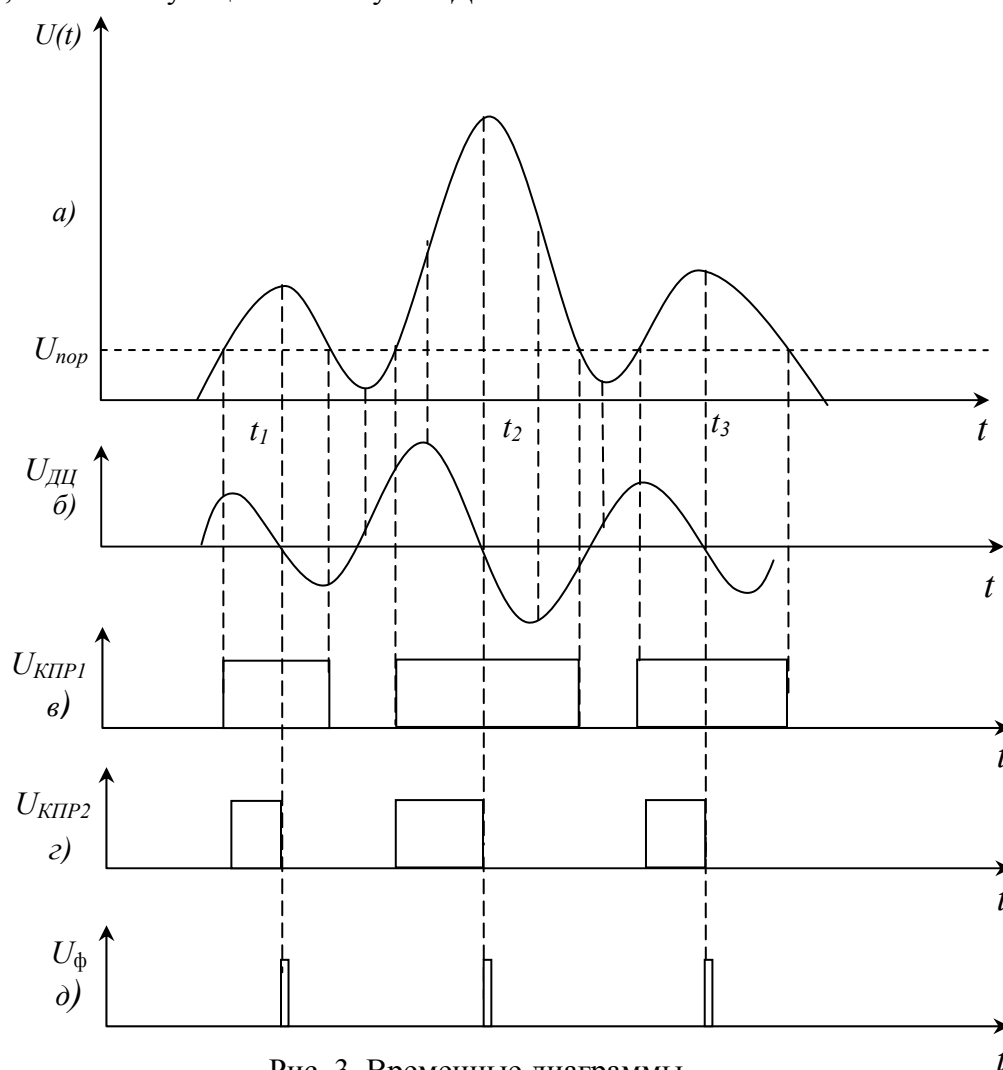


Рис. 3. Временные диаграммы

С выхода формирователя Ф сигналы поступают на формирователь интервала существования сигнала, который вырабатывает импульс с длительностью, определяемой интервалом между максимумами, соответствующим моментам времени t_1 и t_3 .

(рис. 3, а). Затем данный интервал в преобразователе «время-код» заполняется счётными импульсами.

Из принципа работы квазиоптимального измерителя длительности следует, что структура АФЭ является определяющим фактором его помехоустойчивости. Для проведения схемотехнического моделирования АФЭ воспользуемся следующей моделью ДРЛП:

$$U_{\text{рлп}}(t) = \sum_{i=1}^M U_{\text{э}i} \exp\left\{-\frac{(t-t_{\text{э}i})^2}{2\alpha^2}\right\}.$$

Здесь $U_{\text{э}i}$ — напряжение i -го экстремума; $\tau_{\text{бл}} = \alpha\sqrt{2}$ — длительность элементарного импульса, соответствующего «блестящей» точке; $t_{\text{э}i}$ — временная задержка, соответствующая пространственному разбросу «блестящих» точек вдоль линии визирования; M — число «блестящих» точек. В качестве примера огибающей элементарной составляющей i -ой «блестящей» точки выбирается импульс колокольной формы

$$U_i(t) = \exp\left[-\frac{t^2}{\tau_i^2}\right].$$

В соответствии со структурной схемой АФЭ (рис. 2) была разработана и построена его принципиальная схема в среде схемотехнического моделирования Micro-Cap 9 (рис. 4). Дифференцирующая цепочка ДЦ реализована на резисторе и конденсаторе. Компаратор 1 (рис. 2) реализован на операционном усилителе серии АД8564, компаратор 2 — на операционном усилителе серии MAX969_MX. Формирователь Ф по заднему фронту выполнен с использованием RS-триггера (155TM2), линии задержки на 1 мкс, двух элементов И-НЕ (155ЛА3) и одного элемента И-НЕ (155ЛА4). На вход схемы подавалась аддитивная смесь сигнала, соответствующего ДРЛП цели (рис. 3, а), и гауссовского шума с дисперсией σ^2 . Границы работоспособности схемы определяются уровнем входного шума. Результаты моделирования показывают, что работоспособность схемы сохраняется до величины $\sigma = 0,02$ В.

Повышение эффективности АФЭ возможно путем простого усовершенствования его схемы (рис. 5). Здесь дополнительно относительно схемы рис. 4 добавлен фильтр нижних частот, подключенный к выходу дифференцирующей цепи. В результате получается полосовой фильтр с АЧХ, приведенной на рис. 6. На рис. 7 приведен амплитудный спектр входного сигнала (ДРЛП), из которого следует, что полосовой фильтр настроен на экстремум спектра этого сигнала. Такой фильтр приводит к ослаблению шума. Временные эпюры сигналов в некоторых точках усовершенствованной схемы АФЭ (рис. 5) приведены на рис. 8 при величине $\sigma = 0,08$ В. Вид аддитивной смеси приведен на рис. 8 (точка v1). Пороговый уровень выбирался равным $0,3 U_{\text{ЗМ}}$, где $U_{\text{ЗМ}}$ — амплитуда ДРЛП, принятая равной 1 В. На рис. 8 (точка v20) изображён сигнал на выходе всего устройства. Вид сигнала свидетельствует о работоспособности схемы, т.к. на выходе появляются короткие импульсы с единичной амплитудой в точках, соответствующих максимумам ДРЛП: в рассматриваемом случае в ДРЛП имеются 3 максимума и, следовательно, в выходном сигнале также наблюдаются 3 коротких импульса. В результате АФЭ, приведенный на рис. 8, оказывается работоспособным вплоть до величины $\sigma = 0,1$ В, т.е. его эффективность увеличивается фактически на порядок.

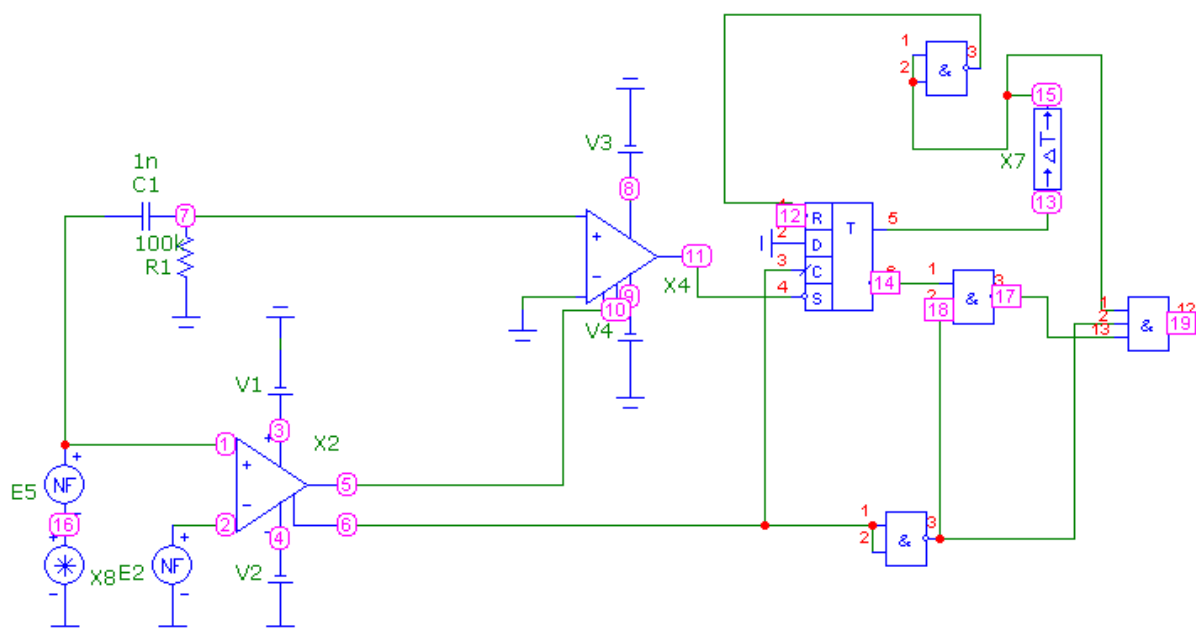


Рис. 4. Принципиальная схема АФЭ

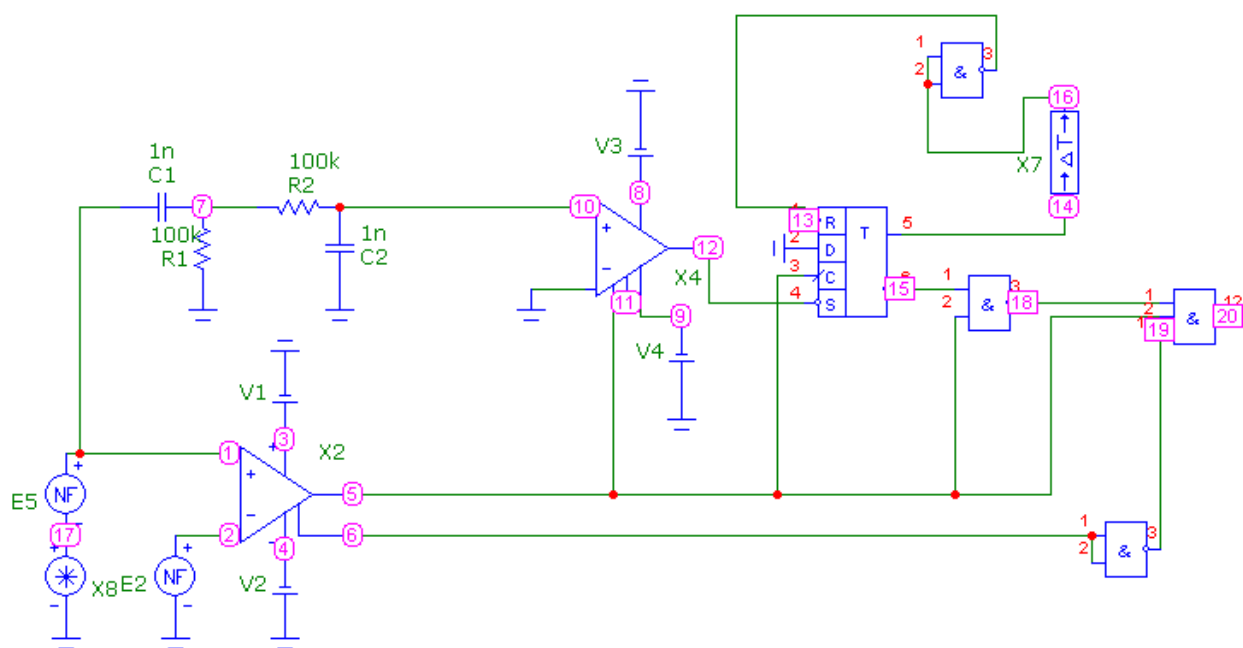


Рис. 5. Усовершенствованная принципиальная схема АФЭ

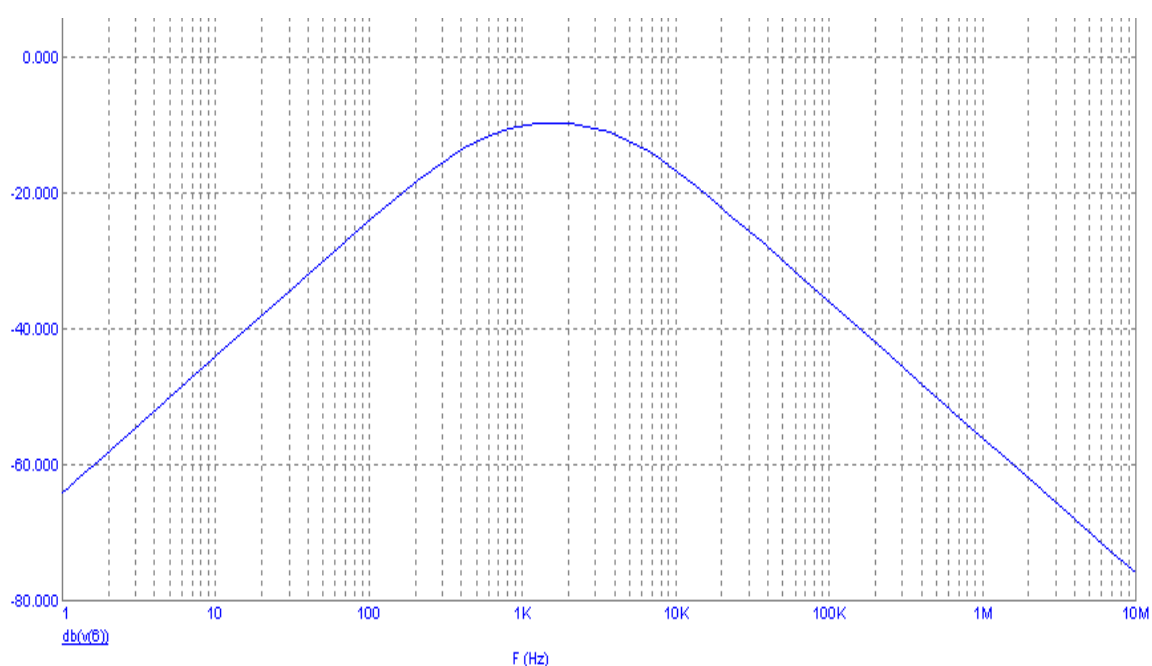


Рис. 6. АЧХ полосового фильтра

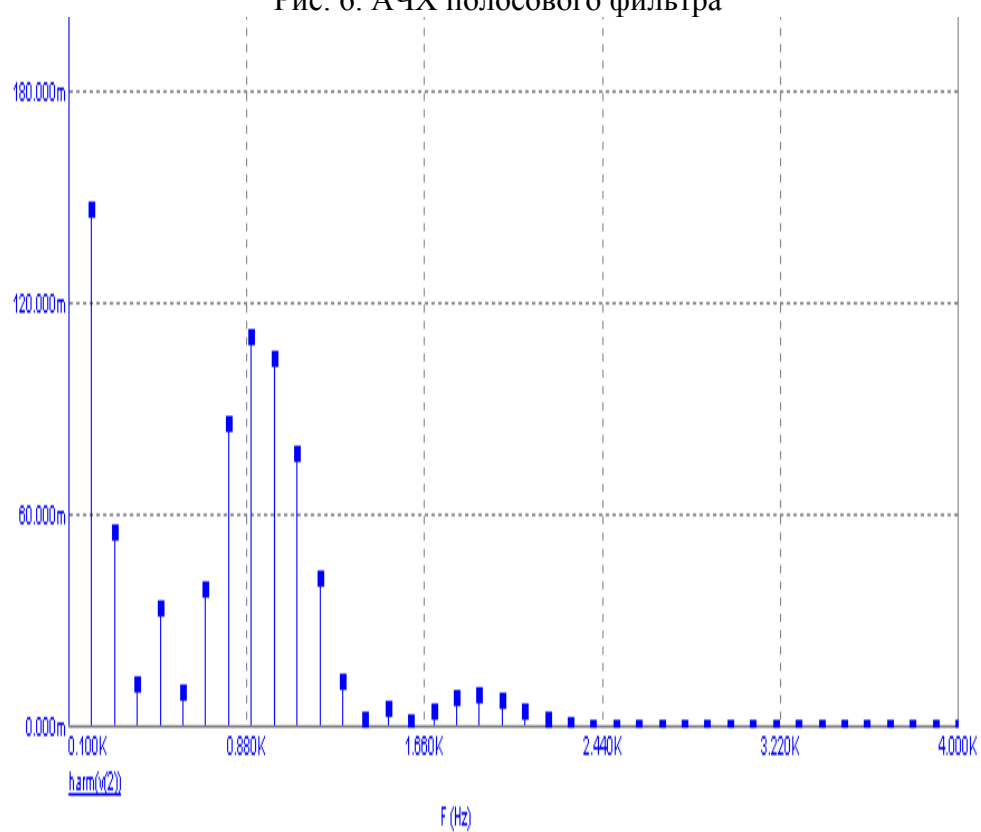


Рис. 7. Амплитудный спектр входного сигнала (ДРЛП)

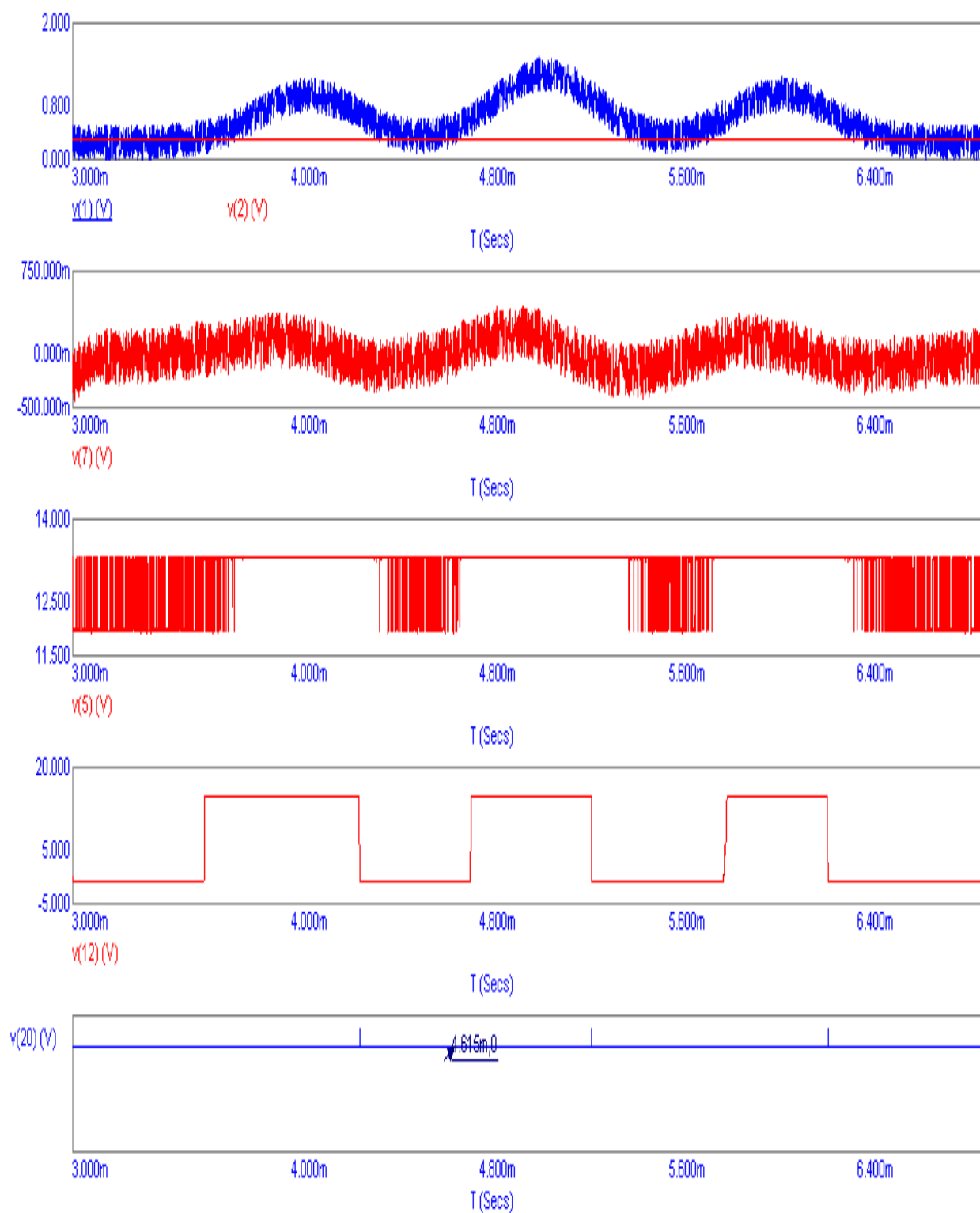


Рис. 8. Временные эпюры

Результаты схемотехнического моделирования (рис. 5, 8), свидетельствуют о том, что предложенная структура АФЭ может быть использована в квазиоптимальных измерителях информативных параметров ДРЛП, в которых интервал существования сигнала заключен между экстремумами (максимумами) «блестящих» точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн; под ред. А.Л. Горелика. — М.: Радио и связь, 1990.
2. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник / Я.Д. Ширман [и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана.— М.: ЗАО «Маквис», 2007.
3. Митрофанов Д.Г., Сафонов А.В., Прохоркин А.Г. Моделирование задачи распознавания целей по их радиолокационным изображениям нейросетевым способом // Радиотехника. — 2007.— № 2.— С. 3 — 9.
4. Разевиг В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro - CAP 9. — М.: Горячая линия — Телеком, 2009.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Булгаков Олег Митрофанович. Заместитель начальника по учебной работе. Доктор технических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

Е-mail: ombfrier@yandex.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (4732) 735-290.

Лазарев Иван Владимирович. Начальник кафедры радиотехники, кандидат технических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

Е-mail: vorhmscl @ comch.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел.(473) 2476-472.

Bulgakov Oleg Mitrofanovich. The deputy head on study. Doctor of technical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2735-290.

Lazarev Ivan Vladimirovich. The chief of the radio chief engineering chair. Candidate of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2476-472.

Ключевые слова к статье: моделирование; квазиоптимальный измеритель; активный формирователь экстремумов.

Key words: modelling; quasi-optimal measuring instrument; the active shaper of extrema.

УДК 621.396



В.В. Алексеев,
доктор технических наук,
профессор,
ВАИУ (г. Воронеж)



И.В. Хоменко,
кандидат технических
наук, доцент,
ВАИУ (г. Воронеж)



Р.А. Прохорский,
ВАИУ (г. Воронеж)

МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И ЗАМЕН ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MODELS OF PLANNING OF REPAIRS AND REPLACEMENTS OF ELEMENTS IN THE COURSE OF LIFE CYCLE OF DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS

В статье рассмотрены вопросы обеспечения планирования ремонтов сложных технических систем с использованием моделей стандартных ремонтов и частичного восстановления ресурса элементов системы, учитывающей вероятность обнаружения их неисправности средствами диагностики в процессе эксплуатации.

In article questions of maintenance of planning of repairs of difficult technical systems with use of models of standard repairs and partial restoration of a resource of elements of the system considering probability of detection of their malfunction by diagnostic aids while in service are considered.

Системы связи и радиотехнического обеспечения полётов (СС и РТО), используемые в совокупности с бортовым оборудованием воздушных судов (ВС), обеспечивают качество выполнения авиацией полетных заданий и, по своей сути, относятся к сложным техническим системам (СТС). Безотказность функционирования СС и РТО является обязательным условием обеспечения безопасности полетов государственной авиации РФ, поддержания её в постоянной готовности к выполнению поставленных задач.

Опыт применения СС и РТО при обеспечении полётов показывает, что их эффективность существенно зависит от технического состояния, определяемого совокупностью подверженных изменению тактико-технических характеристик. Важное место в обеспечении готовности СС и РТО к применению по назначению и достижению высоких значений показателей и качественных признаков технического состояния играет техническая эксплуатация и, в частности, техническое обслуживание и ремонт. Совер-

шенство любого метода технического обслуживания и ремонта определяется тем, насколько полно его применение обеспечивает взаимодействие между объективно существующим процессом изменения технического состояния системы и процессом ее технической эксплуатации, характеризуемым последовательной во времени сменой различных состояний, видов обслуживания и ремонта, хранения, транспортирования и т.п.

В рамках единой системы комплексного технического обслуживания и ремонта большинства СТС предусмотрено проведение планового и непланового ремонтов.

Плановый ремонт предназначен для восстановления работоспособности, а также частичного или полного восстановления ресурса техники и подразделяется на средний и капитальный.

Неплановый ремонт предназначен для восстановления работоспособного состояния техники после проявления отказов в процессе технической эксплуатации и носит название текущего. Текущий ремонт выполняется силами обслуживающего персонала, и технология его проведения, зачастую, значительно отличается от технологии планового ремонта.

Рассмотрим пример планирования текущих ремонтов (ТР) и капитальных ремонтов (КР), а также замен элементов системы, которые осуществляются исходя из модели стандартного ремонта (замены) СТС и связанных с ним затрат C_1 , а также его сочетания в процессе эксплуатации со стратегией обслуживания по техническому состоянию. В настоящее время модель стандартного ремонта предполагает выполнение ТР и КР с заданной периодичностью наработки, не зависящей от проведения неплановых ремонтов в промежутках между плановыми.

В общем виде затраты на проведение текущих ремонтов, а также на покрытие экономических потерь из-за отказов элементов систем определяются из выражения [1]:

$$C_1 = C_{\pi} + C_0 H(T_{\pi}), \quad (1)$$

где C_1 — затраты на плановые ремонты; $C_o = C_a + C_y$ — затраты на ремонт в случае отказа, включающие стоимость C_a восстановления отказавших элементов, а также экономические потери C_y от возможного нарушения технологического процесса; $H(T_{\pi})$ — функция восстановления (математическое ожидание числа отказов элемента) на интервале T_{π} периодичности плановых ремонтов.

Для рассматриваемых видов ремонта значение $H(T_{\pi})$ получено из выражения, приведенного в [1]:

$$H(T_{\pi}) = \int_0^{T_{\pi}} \lambda(t) dt, \quad (2)$$

где $\lambda(t)$ — интенсивность отказов.

Анализ предметной области [2,3] показал, что элементы СС и РТО относятся к классу элементов с возрастающей функцией интенсивности отказов, на практике зависимость интенсивности отказов от времени удобно аппроксимировать линейной функцией времени:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \kappa t, \quad (3)$$

где λ_0 — начальное значение интенсивности отказов элементов; κ — коэффициент, определяющий темпы старения элементов.

Оценки значений λ_0 и κ могут быть получены как на основе известных законов распределения наработки элементов на отказ, так и путем непосредственной обработки

ограниченного объема статистических цензурированных данных об отказах элементов без определения законов распределения наработки на отказ элементов, требующих больших объемов статистических данных [2].

Для оптимизации сроков ТР рекомендуется [3—4] пользоваться удельными затратами c_1 , приходящимися на единицу времени:

$$c_1 = C_1 / T_{\Pi} . \quad (4)$$

С учетом выражений (1)—(4) формула для определения удельных затрат на ТР примет вид:

$$c_1 = [C_{\Pi} + C_0(\lambda_0 T_{\Pi} + \kappa T_{\Pi}^2 / 2)] / T_{\Pi} . \quad (5)$$

Минимизация удельных затрат по времени (вычисление T_{Π} из уравнения $dc_x/dT_{\Pi} = 0$) позволяет получить выражение для определения оптимальной периодичности $T_{\Pi opt}$ плановых ремонтов:

$$T_{\Pi opt} = \sqrt{2/c\kappa} , \quad (6)$$

где $c = C_0 + C_{\Pi}$ — отношение затрат при поиске неисправности элементов СТС (с учетом экономических потерь из-за нарушений технологического процесса) и плановом ремонте элемента рассматриваемой системы.

Применение выражения (6) наиболее обоснованно для нахождения оптимальных сроков плановых текущих ремонтов $T_{\Pi opt}$ радиотехнических систем. Из анализа выражения (6) следует, что оптимальная периодичность ТР не зависит от начального значения интенсивности отказов элементов, а определяется темпом старения и соотношением затрат на поиск неисправностей и плановый текущий ремонт элементов СТС. Если наработка на отказ элементов подчиняется экспоненциальному закону $\lambda(t) = \lambda_0, \kappa = 0$, то согласно формуле (6) $T_{\Pi opt} = \infty$. Тогда в данном случае нет необходимости в выполнении ТР.

Выражение (6) можно применять и для предварительной оценки оптимальной периодичности КР и замены элементов СТС (с учетом значений стоимости соответствующих ТР и замен). Однако по мере увеличения рассматриваемых интервалов времени предположение о монотонности возрастания интенсивности отказов элементов становится менее обоснованным — проведение ТР приводит к ее снижению. Изменение интенсивности отказа элемента системы показано на рис. 1.

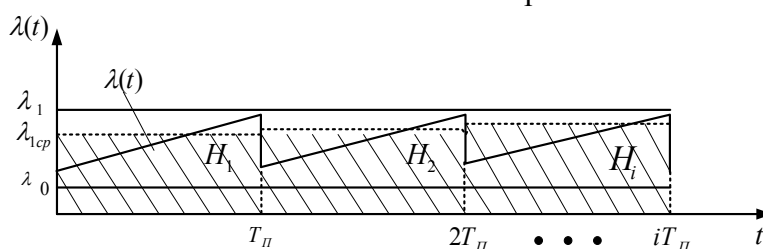


Рис.1. Интенсивность отказа элемента

Планирование КР и замены элементов СТС целесообразно проводить с использованием модели с частичным восстановлением ресурса элементов в процессе проводимых ремонтов [5].

Для модели частичного восстановления ресурса затраты на проведение ТР и КР, а также на покрытие экономических потерь из-за отказов оборудования за период iT_{TP} могут быть определены из выражения:

$$C_1 = C_{KP} + C_{TP}(i-1) + C_0(\lambda_0 T_{TP} + \kappa T_{TP}^2/2)(1 + \gamma + \dots + \gamma^{(i-1)}), \quad (7)$$

где C_{KP} , C_{TP} — затраты на капитальный и текущий ремонты оборудования; γ — коэффициент «деградации», характеризующий неполноту восстановления значения интенсивности отказов после ТР.

В этом выражении учтено, что математическое ожидание числа отказов растет с каждым шагом и на i -м интервале

$$H_i = \gamma_i H_1, \quad (8)$$

где $\gamma_i = \gamma^{(i-1)}$ — значение коэффициента «деградации» после i -го интервала ТР; $H_1 = \lambda_0 T_{TP} + \kappa T_{TP}^2/2$ — математическое ожидание числа отказов на первом интервале эксплуатации оборудования.

В [5], исходя из удобства определения значений коэффициента γ в процессе наблюдений за отказами оборудования, предложено вычислять его значение по формуле:

$$\gamma = e^\alpha, \quad (9)$$

где $\alpha > 0$ — параметр, получаемый в процессе наблюдений.

Соответствующие удельные затраты на текущий ремонт на единицу времени составят:

$$c_1 = C_1 / iT_{TP}. \quad (10)$$

Дифференцируя целевую функцию (10) по i и приравнявая полученное выражение к нулю, с учетом формулы (9) получаем уравнение вида:

$$e^{i\alpha}(i\alpha - 1) = \frac{2(C_{KP} - C_{TP})(e^\alpha - 1)}{C_0 T_{TP}(\kappa T_{TP} + 2\lambda_0)} - 1. \quad (11)$$

Уравнение не имеет явного аналитического решения, однако при подстановке в него исходных данных можно найти оптимальное число текущих ремонтов i_{optTP} , определяющее оптимальные сроки капитальных ремонтов $T_{KPopl} = i_{optTP} T_{TP}$ для данной системы.

Модель частичного восстановления ресурса элементов, определяемая выражениями (7—11), может быть использована и для вычисления оптимальных сроков замен элементов СТС. В этом случае справедливо предположить, что и после КР ресурс оборудования полностью не восстанавливается. Качественное изменение интенсивности отказов также видно из рис. 1, если за интервалы принять периоды между капитальными ремонтами (т. е. T_{KP} вместо T_{TP}).

Затраты на ТР, КР и замену элементов СТС, а также на покрытие экономических потерь из-за их отказов за период iT_{KP} составят:

$$C_1 = C_{ЗАМ} + (C_{KP} + jC_{TP})(i-1) + C_0(\lambda_0 T_{TP} + \kappa T_{TP}^2/2)(1 + \gamma + \dots + \gamma^{(i-1)}), \quad (12)$$

где $C_{ЗАМ}$, C_{KP} , jC_{TP} — затраты соответственно на замену элементов и плановые (капитальный и j текущих) на интервале T_{KP} ремонты оборудования $j = i_{optTP} - 1$.

Перейдя к удельным затратам на ремонт и замену элементов СТС и определив их минимум, получим уравнение, подобное уравнению (11), только в данном случае:

$$z = 2(C_{ЗАМ} + jC_{TP} - C_{KP})(e^\alpha - 1) / C_0 T_{TP}(\kappa T_{TP} + 2\lambda_0).$$

Решение этого уравнения позволяет получить оптимальную кратность i_{optKP} капитальных ремонтов, определяющую оптимальные сроки замены $T_{\text{замот}} = i_{\text{optKP}} T_{\text{ТР}}$ элементов системы.

С развитием средств диагностики элементов все более перспективной становится стратегия ремонта СТС по техническому состоянию, однако ее эффективность зависит от уровня полноты и достоверности диагностирования систем. При сочетании стратегии стандартного ремонта с ремонтом по состоянию и предположении, что часть неисправностей обнаруживается во время эксплуатации СТС и устраняется при ближайшем ТР, справедлива следующая формула для определения удельных затрат:

$$c_{1-3} = [C_{\text{II}} + C_0 (\lambda_0 T_{\text{II}} + \kappa T_{\text{II}}^2 / 2) (1 - q)] / T_{\text{II}}, \quad (13)$$

где q — вероятность обнаружения неисправности средствами диагностики; $1 - q$ — вероятность отказа из-за неисправности, не обнаруженной средствами диагностики.

Минимизировав функцию удельных затрат по времени, получим следующее выражение:

$$T_{\text{Порт}}^* = \sqrt{2 / [c \kappa (1 - q)]}, \quad (14)$$

где $T_{\text{Порт}}^*$ — оптимальная периодичность ТР.

В качестве примера рассмотрим стратегию планирования ремонтов и замен элементов для радиолокационной системы посадки РСП-10МН1, являющейся одной из наиболее важных подсистем СС и РТО.

В таблице приведены результаты оптимизации сроков ТР для некоторых элементов рассматриваемой системы и сравнения оптимальных значений с рекомендуемыми в техническом описании. Относительные значения оптимальных сроков ТР приведены к соответствующим заданным значениям в техническом описании: $i_{\text{opt}} = T_{\text{ТРopt}} / T_{\text{ТР}}$. Значения коэффициентов k, c в расчетах определялись на основе данных о законах распределения наработки элементов, полученных экспериментальным путем.

№ п/п	Наименование элемента	$T_{\text{ТР}}, \text{ч}$	c , отн.ед.	k , год ⁻²	$i_{\text{opt ТР}}$, отн. ед.
1	ПРД (ДРЛ)	3400	75	0,01	1,11
2	Пеленгатор	1500	15	0,01	3,65
3	ПРМ (ДРЛ)	3600	46	0,03	1,21
4	ИКО (ПРЛ)	4500	32	0,1	2,5
5	ИКО (ДРЛ)	2500	18	0,1	1,05
6	Р/ст-862	1400	15	0,01	4,47

Для выбранных элементов были рассчитаны оптимальные сроки КР РСП — 10МН1. На рис. 2 показан для некоторых видов оборудования характер определяемых по выражению (10) кривых зависимости удельных затрат от изменения сроков КР, кратных числу ТР i . Номера кривых соответствуют номерам элементов в таблице.

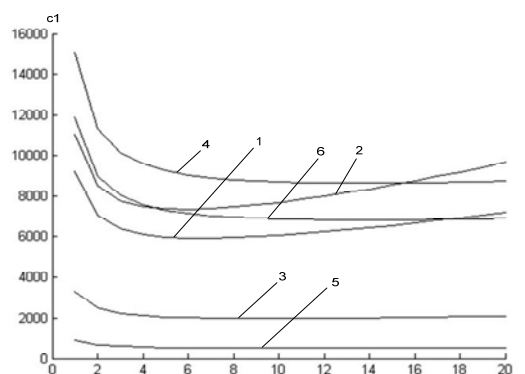


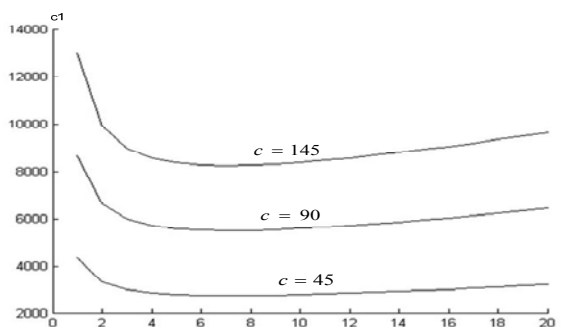
Рис. 2. Зависимость удельных затрат от изменения сроков КР, кратных числу ТР i

Анализ результатов оптимизации сроков КР позволил сделать вывод о возможности их увеличения. Для некоторых видов оборудования оптимальные периоды ТР на порядок превышают плановые значения (установленные в техническом описании), а периоды КР близки к их срокам службы. Для таких элементов можно отказаться от ТР и КР, ограничившись техническим обслуживанием и заменами в оптимальные сроки.

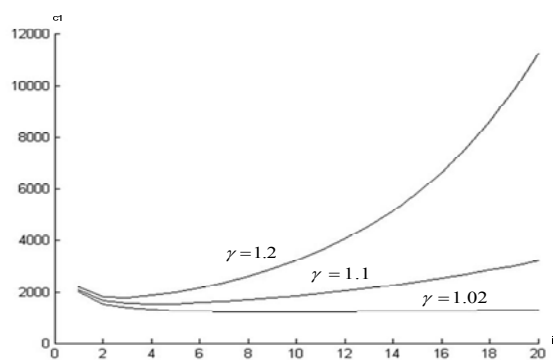
На рис. 3 (а—в), показаны некоторые результаты исследования влияния исходных данных на оптимальную периодичность КР. Как видно, по мере увеличения соотношения затрат c при отказах и ТР, коэффициента «деградации» γ и начальной интенсивности отказов оборудования λ_0 межремонтный период КР сокращается.

На рис. 4 приведены результаты расчета удельных затрат в зависимости от периодичности замен элементов. Номера на рисунке соответствуют номерам элементов в таблице. Полученные результаты характеризуют средний срок службы элементов, указанный в техническом описании. Для наиболее ответственных элементов оптимальные сроки замен несколько меньше рекомендуемых, а для большей части элементов — превышают их.

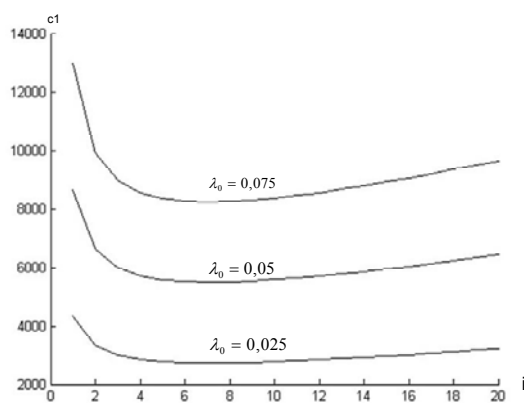
На рис. 5 приведена зависимость ($i = T^*_{\text{Попт}} / T_{\text{Попт}}$) относительного (по сравнению с периодичностью ТР, полученной по стратегии стандартных ремонтов) увеличения сроков проведения ремонтов в зависимости от вероятности q обнаружения неисправности средствами диагностики. На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что средства диагностики способствуют увеличению периодичности ТР более чем в 2 раза при вероятности обнаружения неисправности выше 0,75.



а



б



в

Рис. 3. Зависимости затрат c при отказах и ТР, коэффициента «деградации» γ и начальной интенсивности отказов оборудования λ_0

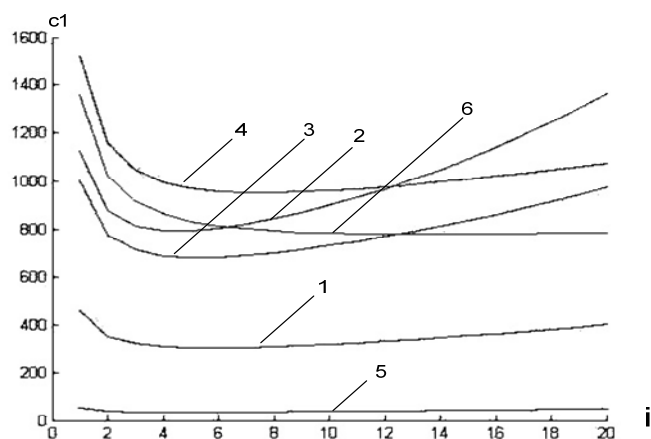


Рис. 4. Результаты удельных затрат в зависимости от периодичности замен оборудования

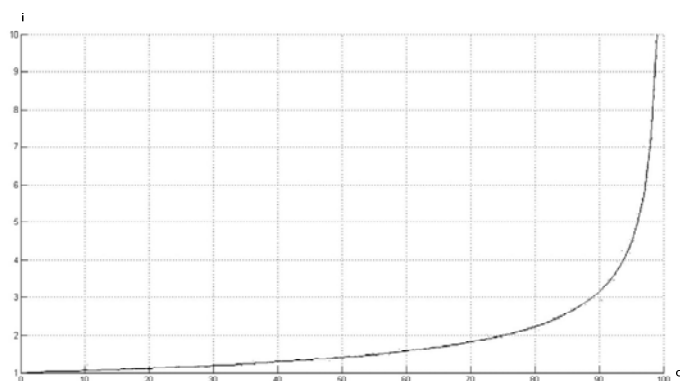


Рис. 5. Зависимость числа текущих ремонтов от вероятности обнаружения неисправности средствами диагностики

Таким образом, рассмотренные математические модели стандартного ремонта и частичного восстановления ресурса, адаптированные к условиям стратегии стандартных ремонтов и замен, позволяют учитывать вероятность обнаружения неисправности элементов СТС средствами диагностики в процессе эксплуатации. По сравнению с известными модели требуют меньше исходных данных и могут быть положены в основу методики планирования оптимальной периодичности ремонтов и замен элементов СТС. Установлена возможность существенного увеличения периодичности ТР и периодичности замен значительной части элементов СТС при применении модели частичного восстановления ресурса элементов системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gertsbakh I. Reliability Theory. With Application to Preventive Maintenance. — Springer, 2004.
2. Скрипник В.М., Назин А.Е. Оценка надежности технических систем по цензурированным выборкам. — Минск: Наука и техника, 1981. — 285 с.
3. Надежность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев [и др.]; под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.
4. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. — М.: Радио и связь, 1988.
5. Ершов М. С., Модели планирования ремонтов и замен промышленного электрооборудования — М.: Радио и связь, 1995. — 65с.
6. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем.— М.: Мир, 1980.— 604 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Алексеев Владимир Витальевич. Начальник 112 кафедры. Доктор технических наук, профессор.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 27. Тел. 8-919-183-16-48 .

Хоменко Игорь Васильевич. Доцент 112 кафедры. Кандидат технических наук, доцент.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 27. Тел. 8-920-427-04-66.

Прохорский Руслан Александрович. Адъюнкт 112 кафедры.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

E-mail: ruslan20064@rambler.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 27. Тел. 8-908-140-27-04.

Alekseev Vladimir Vitalyevich. The chief of chair 112.

Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, of Old Bolsheviks Str., 27. Tel. 8-919-183-16-48.

Homenko Igor Vasilevich. The senior lecturer of chair 112.

Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 27. Tel. 8-920-427-04-66.

Prohorsky Ruslan Alexandrovich. The graduated in a military academy of chair 112.

Military aviation engineering university (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, of Old Bolsheviks Str., 27. Tel. 8-908-140-27-04.

Ключевые слова к статье: техническое обеспечение и ремонт; стратегия ремонта; удельные затраты; модель с частичным восстановлением ресурса элементов.

Key words: technical maintenance and repair; the strategy of repair; the unit cost; model with partial restoration of the resource elements.

УДК 621.396



О.М. Булгаков,
доктор технических наук, профессор



М.В. Таравков

К РАСЧЕТУ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

TO CALCULATION OF THERMAL FIELDS OF SEMICONDUCTOR DEVICES

Рассмотрены способы приближенного расчета тепловых полей полупроводниковых приборов с источниками тепла сложной геометрической конфигурации. Проведен расчет распределения температур по поверхности активных областей приборов. Показана корректность использования источников отрицательной тепловой мощности в методе суперпозиции тепловых полей парциальных источников.

Ways of an approximate calculation of thermal fields of semiconductor devices with heat sources of a difficult geometrical configuration are observed. Calculation of distribution of temperatures on a surface of active regions of devices is carried out. Reasonableness of use of sources of a negative heat power in a method of superposition of thermal fields partial sources is shown.

Перспективным направлением развития твердотельной электроники является увеличение максимальной рассеиваемой мощности прибора $P_{\max}$. Повышение $P_{\max}$ возможно за счет увеличения протяженности периметра р-п перехода, а также габаритов и эффективной площади теплоотвода, изменения формы и взаимного расположения активных областей, применения материалов с большим коэффициентом теплопроводности. Все вышеперечисленные способы приводят к усложнению технологического процесса, росту материальных и временных затрат. Например, для изготовления мощного транзистора методом планарной технологии требуется 8-10 фотошаблонов [3], а экономические затраты на изготовление одного транзистора сопоставимы со стоимостью микропроцессора. Перегрев прибора может привести его в негодность в достаточно короткий промежуток времени, поэтому необходимо проведение предварительного теплового расчета, обосновывающего выбор конфигурации р-п перехода и типа корпуса с

теплоотводом с целью прогнозирования последствий эксплуатации и исключения перегрева и отказа прибора.

Основным параметром для всех режимов работы является предельно допустимая температура $T_{\text{доп}}$ [2]. Для некоторых приборов эта температура колеблется в диапазоне от 350 до 430 К. При превышении максимальной температуры разогрева прибора T_{max} , величины $T_{\text{доп}}$ снижается надежность прибора, ухудшаются электрические характеристики: снижается пробивное напряжение, увеличиваются обратные токи р-п переходов, уменьшается предельная частота и коэффициент усиления транзисторов, возрастают их собственные шумы. В случае дальнейшего увеличения T_{max} могут возникнуть необратимые процессы, связанные с потерей термической устойчивости (возникновением вторичного пробоя, дополнительным вплавлением и диффузией). Другими параметрами теплового расчета являются тепловое сопротивление и переходная тепловая характеристика, которые являются производными по отношению к расчетам температуры.

Исходя из того, что результаты теплового расчета могут использоваться для предварительной оценки параметров и прогнозирования результатов и могут проводиться неоднократно для одного и того же прибора, такие методы должны обладать приемлемыми точностью, трудоемкостью и временем вычислений. Существует несколько методов расчета температур и тепловых полей, однако ни один из них не является универсальным и приемлемым по точности и трудоемкости для всех форм источников тепла. Так, например, в [2] описана методика расчета тепловых параметров полупроводниковых приборов методом эквивалентов, которая по своей сути изначально вносит определенную погрешность расчетов ввиду того, что эквиваленты как пространственно ограниченные образования неточно описывают реальные геометрически сложные топологии р- и n-областей транзисторов. Кроме того, затруднительно применение этой методики для расчета источников сложной конфигурации. Однако по замыслу авторов эта методика разрабатывалась для предварительного приближенного расчета для источников простой формы, поэтому результаты, полученные с ее использованием, вполне приемлемы для таких целей. Для источников сложной конфигурации возможно применение метода суперпозиции, основанного на принципе аддитивности тепловых полей. В таком случае, зная распределение температуры для одного элементарного источника простой формы, можно найти температуру для источника сложной формы, представленного совокупностью простых.

На практике могут возникнуть такие ситуации, когда удобнее рассматривать сложный источник не как совокупность простых, а как один сплошной источник за вычетом площадей элементарных источников. Например, как в случае источника прямоугольной формы с прямоугольным отверстием в середине, изображенного на рис. 1,а. Очевидно, что в этом случае расчет температуры также возможен по принципу аддитивности, однако, исходя из способа получения рассматриваемого источника, разумно предположить, что мощность для источника, обозначенного цифрой 2, необходимо брать с отрицательным знаком. Для доказательства этого предположения рассмотрим двухслойную модель тела с поверхностным источником тепла, изображенную на рис.1,б.

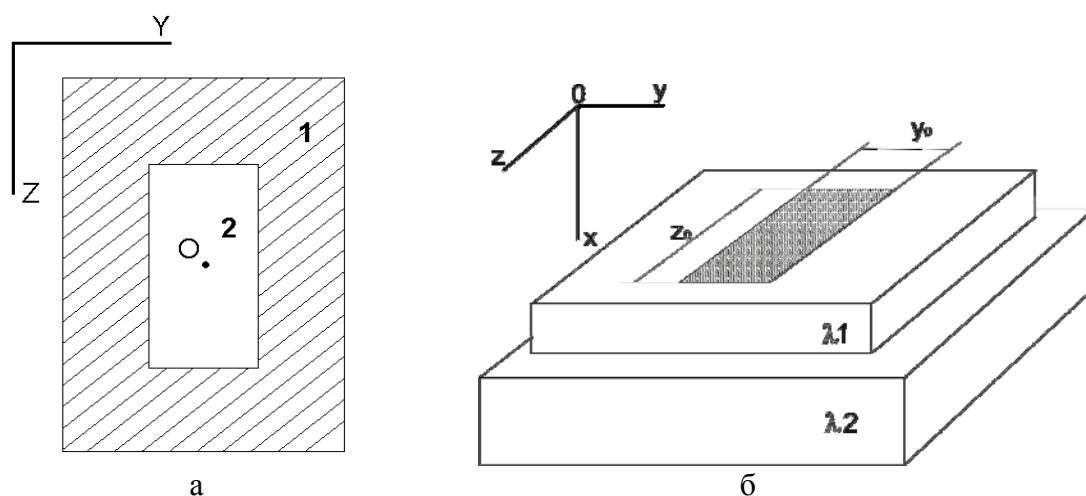


Рис. 1. Источник прямоугольной формы с прямоугольным отверстием в центре (а) и двухслойная модель тела с поверхностным источником тепла (б)

Описание модели представлено в [3, с. 63]. В первом случае представим источник как совокупность 12 квадратных источников одинакового размера (рис. 2), т.е. температура в некоторой точке поверхности активной области с координатами $(x'; y')$

$$T_+(x', y') = \sum_{i=1}^{12} T_i(P_i; x'; y'; S_i; k_i), \quad (1)$$

во втором — как взаимодействие источника 1 с источником отрицательной мощности 2 (рис. 1, а), т.е.

$$T_{\pm}(x'; y') = T^*(P^*; x'; y'; S^*; k^*) - T^{**}(P^{**}; x'; y'; S^{**}; k^{**}). \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2):

P_i , P^* , P^{**} — мощности соответственно элементарных квадратных, первого и второго источников; S_i , S^* , S^{**} — площади источников; k_i , k^* , k^{**} — параметры, определяемые геометрией источника.

При равной плотности потока мощности всех рассматриваемых источников выражения (1) и (2) приводятся к виду:

$$T_+(x'; y') = \sum_{i=1}^{12} T_i(q; k; x'; y'); \quad (1a)$$

$$T_{\pm}(x'; y') = T^*(q; k^*; x'; y') - T^{**}(q; k^{**}; x'; y'); \quad (2a)$$

$$q = \frac{P_i}{S_i} = \frac{P^*}{S^*} = \frac{P^{**}}{S^{**}}.$$

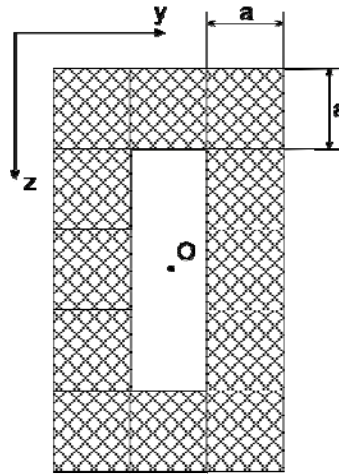


Рис. 2. Групповой источник, представленный совокупностью 12 элементарных

Согласно [3] распределение температуры вдоль верхней плоскости ($x=0$) под влиянием точечного источника с мощностью P_0 , расположенного в точке $(x', y', z') = 0$, описывается выражением:

$$T(x, y, z) - T_c = \frac{P_0}{2\pi\lambda_1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2}} - 2K \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K^{k-1}(-1)^{k-1}}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2 + 4d_1^2 k^2}} \right\}, \quad (3)$$

где $K = \frac{1-\lambda_1/\lambda_2}{1+\lambda_1/\lambda_2}$; d_1 — толщина слоя с теплопроводностью λ_1

В качестве мощности точечного источника может быть использована величина:

$$P_0 = j_{\text{ксп}} U_{k(p-n)} dy' dz' = \left(\frac{P_k}{y_0 z_0} \right) dy' dz', \quad (4)$$

где $j_{\text{ксп}}$ — истинная плотность тока коллектора под каждым узким эмиттером;

$P_k = I_k U_{k(p-n)}$ — полная мощность, рассеиваемая в коллекторном p-n переходе под эмиттерной секцией, через которую протекает ток $I_k = \alpha_N^{-1} I_k$, $\alpha_N = 0,95—0,99$ — статистический коэффициент передачи тока в схеме с общей базой.

Распределение температуры вдоль поверхности тела под воздействием прямоугольного источника находится путем интегрирования выражения (3) в пределах размеров источника и определяется выражением

$$T(0, y, z) - T_c = \frac{P}{2\pi\lambda_1 y_0 z_0} \left[J_1(y, z) - 2K \sum_{k=1}^{\infty} K^{k-1}(-1)^{k-1} J_{2k}(y, z) \right], \quad (5)$$

где y_0, z_0 — размеры поверхностного источника; P — мощность источника; λ_1, λ_2 — теплопроводность первого и второго слоя соответственно; T_c — температура среды.

$$J_1(y, z) = \int_{-0.5y_0}^{0.5y_0} \int_{-0.5z_0}^{0.5z_0} \frac{dy' dz'}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2}} = (y+0.5y_0) \ln \frac{z+0.5z_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z+0.5z_0)^2}}{z-0.5z_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z-0.5z_0)^2}} - \\ - (y-0.5y_0) \ln \frac{z+0.5z_0 + \sqrt{(y-0.5y_0)^2 + (z+0.5z_0)^2}}{z-0.5z_0 + \sqrt{(y-0.5y_0)^2 + (z-0.5z_0)^2}} + (z+0.5z_0) \ln \frac{y+0.5y_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z+0.5z_0)^2}}{y-0.5y_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z+0.5z_0)^2}} - \\ - (z-0.5z_0) \ln \frac{y+0.5y_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z-0.5z_0)^2}}{y-0.5y_0 + \sqrt{(y+0.5y_0)^2 + (z-0.5z_0)^2}} \quad (5.1)$$

$$J_{2k}(y, z) = \int_{-0.5y_0}^{0.5y_0} \int_{-0.5z_0}^{0.5z_0} \frac{dy' dz'}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2 + 4d_1^2 k^2}} = y_0 \ln \frac{z+0.5z_0 + \sqrt{(z+0.5z_0)^2 + y^2 + 4d_1^2 k^2}}{z-0.5z_0 + \sqrt{(z-0.5z_0)^2 + y^2 + 4d_1^2 k^2}} \quad (5.2)$$

Существуют также полупроводниковые приборы с кольцевыми р-п переходами, например, лавинно-пролетные диоды. Рассмотрим распределение температуры для источника, имеющего форму кольца, полученное аналогично формуле (2а). Интегрирование выражения (3) будем производить в пределах круга радиусом, обеспечивающим равенство плотностей мощности прямоугольного и круглого источников. Несмотря на достаточно быструю сходимость знакопеременного ряда в подынтегральном выражении, первые слагаемые существенно влияют на распределение температуры. Однако при десяти и более слагаемых вклад каждого из них становится незначительным, поэтому в расчетах ограничимся 15 слагаемыми:

$$T(y, z) = \int_{-R}^R \int_{-\sqrt{R^2-z'^2}}^{\sqrt{R^2-z'^2}} \frac{P_k}{2\pi\lambda_1} \left(\frac{1}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2}} - 2K \sum_{k=1}^{15} \frac{K^{k-1}(-1)^{k-1}}{\sqrt{(y-y')^2 + (z-z')^2 + 4d_1^2 k^2}} \right) dy' dz' \quad (6)$$

Для получения конкретных результатов зададим начальные условия: мощность элементарного квадратного источника $P_{\text{кв}}=360$ мВт, мощность кольцевого источника $P_{\text{кол}}=4,32$ Вт, размеры $y_0=z_0=a=50$ мкм, $\lambda_1=1$ Вт/(см·К), $\lambda_2=2,4$ Вт/(см·К), $d_1=150$ мкм, внешний радиус кольцевого источника $R=109,2$ мкм, внутренний радиус кольцевого источника $r=48,87$ мкм.

Расчеты показывают, что распределение температуры по поверхности тела в направлениях осей ОУ и ОZ под воздействием источников, представленных на рис. 1, а и рис. 2, совпадает с точностью до погрешности расчетов (рис. 3), так как выражения (5.1) и (5.2), входящие в состав выражения (5), согласно [3] представляются суммой натуральных логарифмов. Очевидно, что распределение температуры для кольцевого источника (рис. 4) имеет тот же характер и является симметричным относительно центра.

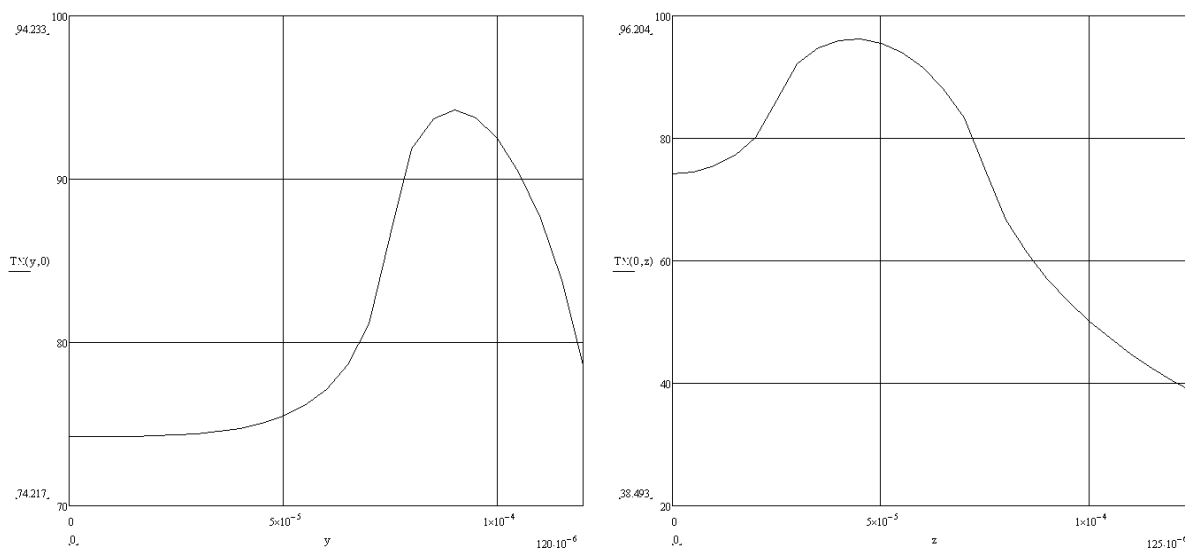


Рис. 3. Распределение температуры по поверхности тела в направлениях осей ОУ и ОZ

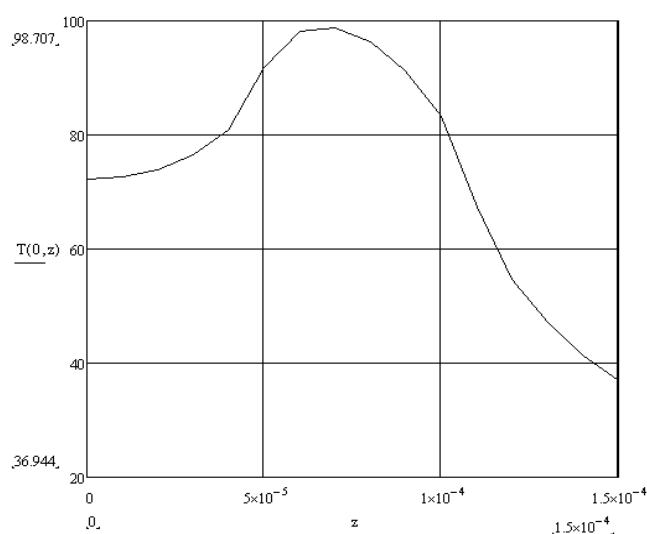


Рис. 4. Поверхностное распределение температуры для кольцевого источника

Проведенные расчеты показали корректность представления источников сложной формы: с отверстиями, выемками и т.п., совокупностью источников простой геометрии с положительной и отрицательной мощностью. Это позволяет комбинировать простые типовые решения для расчетов с приемлемыми для инженерных задач погрешностями тепловых полей и максимальных температур полупроводниковых приборов со сложной геометрией активных областей. Источники отрицательной мощности можно интерпретировать как стоки тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. — М.: Радио и связь, 1990. — 312 с.: ил.
2. Захаров А.Л., Асвадурова Е.И. Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов: Метод эквивалентов. — М.: Радио и связь, 1983. — 184 с.: ил.
3. Проектирование и технология производства мощных СВЧ-транзисторов / В.И. Никишин [и др.]. — М.: Радио и связь, 1989. — 144 с.: ил.
4. Щука А.А. Электроника: учебное пособие / под ред. проф. А. С. Сигова. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.: ил.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. — М.: Наука, 1973 г. — 832 с.: ил.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Булгаков Олег Митрофанович. Заместитель начальника по учебной работе. Доктор технических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

Е-mail: ombfrier@yandex.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2 735-290.

Таравков Михаил Владимирович. Преподаватель кафедры технических систем безопасности.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: berloga_@rambler.ru

Россия, 394065 г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 89204292192.

Bulgakov Oleg Mitrofanovich. The deputy head on study. Doctor of technical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (4732) 735-290.

Taravkov Michael Vladimirovich. Lecturer of the chair of engineering systems of safety.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

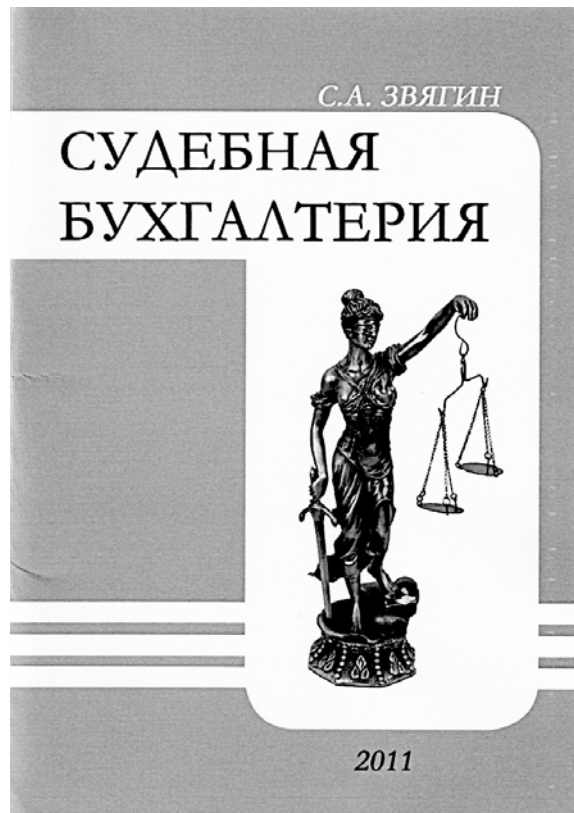
Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 89204292192.

Ключевые слова к статье: температурные поля; метод суперпозиции; элементарный источник; источник с отрицательной мощностью; мощные полупроводниковые приборы.

Key words: temperature fields; superposition method; elementary source; source with negative power; powerful semiconductor devices.

УДК 621.382

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Звягин С.А.

3-45 Судебная бухгалтерия: курс лекций / С.А. Звягин. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 95 с.

В учебном издании рассматриваются теоретические и практические аспекты применения специальных экономических знаний при выявлении, документировании, анализе, расследовании и доказывании криминальных процессов в деятельности хозяйствующих субъектов; приемы, способы и методы выявления экономических и криминалистических несоответствий, получивших отражение в системе экономической информации; приводятся рекомендации и указания для обучающихся по подготовке к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля и тесты по изучаемым темам. Курс лекций предназначен для курсантов, слушателей и студентов юридических вузов, а также сотрудников правоохранительных органов, специализирующихся на работе по борьбе с экономическими и налоговыми преступлениями.



С.К. Романов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
ОАО «Концерн «Созвездие»



А.В. Леньшин,
доктор технических наук,
доцент, Военный
авиационный инженерный
университет, г. Воронеж



Н.М.Тихомиров,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ОАО «Концерн «Созвездие»

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДЕЛЬТА-СИГМА МОДУЛЯТОРА ГЕНЕРАТОРОМ «ЦВЕТНОГО» ШУМА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЕЙ ПОМЕХ ДРОБНОСТИ В СИНТЕЗАТОРАХ ЧАСТОТ

DELTA-SIGMA MODULATOR REPRESENTATION BY THE COLORED-NOISE GENERATOR WHILE DEFINING THE NOISE GRAININESS LEVEL IN FREQUENCY SYNTHESIZERS

Рассмотрен подход к определению уровней помех дробности в выходном сигнале синтезатора частот с системой импульсной фазовой автоподстройки частоты (СЧ-ИФАПЧ), основанный на представлении дельта-сигма модулятора (ДСМ) в составе делителя частоты с дробным переменным коэффициентом деления (ДДПКД) в виде устройства, генерирующего «цветной» шум. Получены соотношения для расчета спектров помех в СЧ-ИФАПЧ с частотно-фазовым детектором с неидентичными токами накачки. На основе полученных соотношений разработана программа для расчета уровня помех дробности. Расчетные значения уровней помех дробности сравниваются с результатами моделирования СЧ-ИФАПЧ с ДДПКД в подсистеме SIMULINK системы MATLAB.

An approach of defining noise graininess levels in the frequency synthesizer output signal with pulse phase-locked loop (FS-PPLL) system based on delta-sigma modulator representation forming part of the frequency demultiplier with fractional variable dividing coefficient as a device generating «colored» noise is discussed. Ratios for noise spectrum computation in PPLL with the frequency-phase detector and nonidentical pump current are acquired. Noise graininess level estimated values are compared with SF-PPLL design results in SIMULINK subsystem of MATLAB.

Из теории синтеза частот известно, что наличие ДДПКД в системе ИФАПЧ приводит к появлению в выходном сигнале СЧ-ИФАПЧ помех дробности (ПД). Для уменьшения уровня ПД в низкочастотной части спектра сигнала синтезатора в составе ДДПКД используется схема дельта-сигма модулятора в разных модификациях. Расчеты ПД в СЧ-ИФАПЧ с ДДПКД и ДСМ по линейной модели [1] показывают высокую эффективность применения ДСМ. Однако система ИФАПЧ имеет ряд нелинейностей, которые ухудшают ослабление спектральных составляющих ПД в полосе пропускания системы ИФАПЧ. Это такие нелинейности, как: пороговый характер работы ДДПКД [2]; неравенство токов накачки при использовании импульсного частотно-фазового детектора с зарядовой накачкой (ЧФД/ЗН) в составе ИФАПЧ.

Целью настоящей работы является нахождение соотношений, позволяющих более точно рассчитывать спектры помех в СЧ-ИФАПЧ с ДДПКД с ДСМ и ЧФД/ЗН, имеющего неодинаковые токи заряда и разряда, поступающие на вход фильтра нижних частот (ФНЧ). Необходимо провести расчет уровней ПД в зависимости от степени неравенства токов накачки в ЧФД/ЗН, результаты расчета сравнить с результатами поведенческого моделирования системы ИФАПЧ с ДДПКД с ДСМ и нелинейным ЧФД/ЗН под воздействием шумов.

Рассмотрим подход к определению уровней помех дробности, основанный на представлении ДСМ в виде устройства, генерирующего «цветной» шум [3]. Для пояснения последующего материала обратимся к схеме на рис. 1, в верхней части которого изображён ДСМ со следующими элементами: ИШ — источник шума, генерирующий белый шум со спектральной плотностью $(2\pi)^2 T_0 / (12 N_0^2)$; Д — дискретизатор, на выходе которого образуется дискретный белый шум; ФФ — формирующий фильтр с передаточной функцией $(1 - Z^{-1})^m$, где $Z^{-1} = \exp(-sT_0)$; И — интегратор и ЭНП — экстраполятор нулевого порядка с передаточными функциями вида $1 / (1 - Z^{-1})$ и $(1 - Z^{-1}) / s$ соответственно.

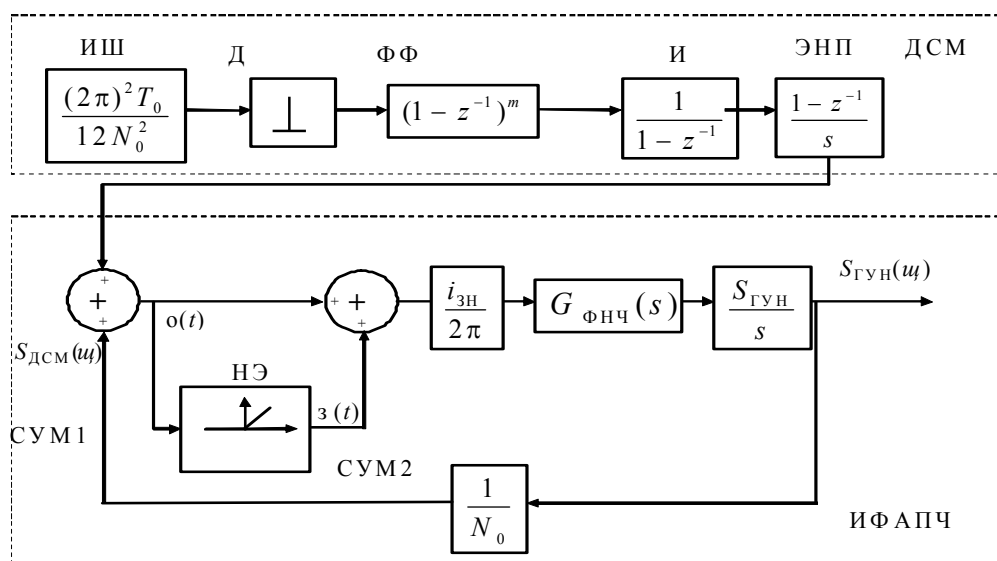


Рис. 1. ДСМ в виде устройства, генерирующего «цветной» шум в системе ИФАПЧ синтезатора частот

Спектральная плотность шумов на выходе этого ДСМ определяется как

$$S_{\text{ДСМ}}(\omega) = \frac{(2\pi)^2 |1 - e^{-j\omega T_0}|^{2P_M}}{12\omega^2 N_0^2 T_0}.$$

Если ввести безразмерную частоту $w = \omega T_0 / 2$, то последнее выражение запишется в виде

$$S_{\text{ДСМ}}(w) = \frac{(2\pi)^2 2^{2(m-1)} T_0 |\sin(w)|^{2P_M}}{12 N_0^2 w^2}. \quad (1)$$

В нижней части рис. 1 показана сведённая к нелинейной непрерывной система ИФАПЧ, в которой сумматоры СУМ1 и СУМ2; НЭ — нелинейный элемент с характеристикой

$$\eta(t) = \begin{cases} (k_n - 1)\xi(t), & \text{при } \xi(t) \geq 0 \\ 0, & \text{при } \xi(t) < 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $\xi(t)$ — входной сигнал НЭ; $\eta(t)$ — выходной сигнал НЭ, и элемент с передаточной функцией $i_{\text{ЗН}} / 2\pi$ — характеризуют ЧФД с неравными токами ЗН. Другие элементы системы ИФАПЧ понятны из схемы на рис. 1.

При решении задачи определения спектральной плотности мощности шумов $S_{\text{ГУН}}(\omega)$ на выходе системы ИФАПЧ для модели шумов на входе (1) примем следующие ограничения:

Ограничение 1 — выполнение условия $|k_n - 1| \ll 1$, (в реальных ЧФД/ЗН величина $|k_n - 1| \ll 0,1$).

Ограничение 2 — система ИФАПЧ эквивалентна фильтру с характеристикой ФНЧ (при воздействии на ее вход) с частотой среза $f_{\text{СР}}$, удовлетворяющей условию $f_{\text{СР}} \ll 1 / 2T_0$.

Ограничение 3 — шум на входе системы ИФАПЧ является нормальным стационарным процессом с нулевым средним значением.

Ограничение 4 — в передаточной функции ФНЧ $G_{\text{ФНЧ}}(s)$ присутствует один нулевой полюс (это приводит к тому, что $m_{1\eta}$ — постоянная составляющая случайного процесса $\eta(t)$ на выходе НЭ — равна среднему значению случайного процесса $m_{1\xi}$ на входе НЭ со знаком «минус», то есть постоянная составляющая на выходе СУМ2 равна нулю).

Используя ограничения 3 и 4, заимствуем из работы [4] выражение для корреляционной функции процесса $\eta(t)$

$$B_{\eta}(\tau) = (k_n - 1)^2 \sigma^2 \sum_{i=0}^{\infty} \frac{R^i(\tau)}{i!} [\varphi^{(i-2)}(\frac{m_{1\xi}}{\sigma})]^2, \quad (3)$$

где σ^2 — дисперсия $\xi(t)$, $R(\tau)$ — нормированная автокорреляционная функция $\xi(t)$;

$\varphi^{(-2)}(\lambda) = \int_{-\infty}^{\lambda} \varphi^{(-1)}(t) dt$, $\varphi^{(-1)}(\frac{m_{1\xi}}{\sigma}) = F(\frac{m_{1\xi}}{\sigma})$, $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}z^2} dz$ — интеграл вероятности; $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$, $\varphi^{(i)}(x)$ — i -я производная от $\varphi(x)$ по dx .

Из (3), учитывая ограничение 4, найдём выражение для $m_{1\xi}$

$$-m_{1\xi} = \sigma(k_n - 1) \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{m_{1\xi}}{\sigma})^2} + 0,5 \frac{m_{1\xi}}{\sigma} + 0,5 \frac{m_{1\xi}}{\sigma} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{m_{1\xi}}{\sigma}\right) \right], \quad (4)$$

где $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Уравнение (4) является трансцендентным относительно $m_{1\xi}$, поэтому, учитывая ограничение 1, разложим правую часть (4) в ряд Тейлора по $m_{1\xi} / \sigma$ и, отбрасывая величины второго порядка малости, получим в итоге

$$\frac{m_{1\xi}}{\sigma} \approx -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{k_n - 1}{1 + 0,5(k_n - 1)}. \quad (5)$$

Используем (5) для определения коэффициентов при $R^i(\tau)$ в ряде (3), ограничившись значением $i = 2$, то есть

$$B_{\eta}(\tau) \approx (m_{1\eta})^2 + (k_n - 1)^2 \sigma^2 \left[F\left(\frac{m_{1\xi}}{\sigma}\right) \right]^2 R(\tau) + (k_n - 1)^2 \sigma^2 \frac{1}{4\pi} e^{-\left(\frac{m_{1\xi}}{\sigma}\right)^2} R^2(\tau). \quad (6)$$

В выражении (6) нас интересует третий член, который характеризует трансформацию высокочастотной части спектра $\xi(t)$ в низкочастотную область

$$B_{2\eta}(\tau) = (k_n - 1)^2 \sigma^2 \frac{1}{4\pi} R^2(\tau), \quad (7)$$

и практически не зависит от значения $m_{1\xi} / \sigma$ ввиду его малости.

Учитывая ограничения 1 и 2, будем считать, что $\xi(t)$ соответствует процесс со спектральной плотностью (4), дополненный постоянной составляющей $m_{1\xi}$. Тогда, используя известные соотношения Винера-Хинчина для связи между спектральной плотностью мощности шумов и автокорреляционной функцией, получим выражение

$$B_{\xi}(\bar{\tau}) = \sigma_{p_M}^2 R_{p_M}(\bar{\tau}),$$

где $\sigma_{p_M}^2 = \frac{(2\pi)^2}{12N_0^2} 2^{2p_M-1} \frac{1}{k_{p_M}}$, $\bar{\tau} = 2\tau / T_0$, а k_{p_M} — коэффициенты, определяемые с помощью табл. 1

$$R_{p_M}(\bar{\tau}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} k_{p_M} \frac{\sin(w)^{2p_M}}{w^2} \cos(w\bar{\tau}) dw. \quad (7)$$

Таблица 1

p_M	k_{p_M}
2	4
3	16/3
4	32/5

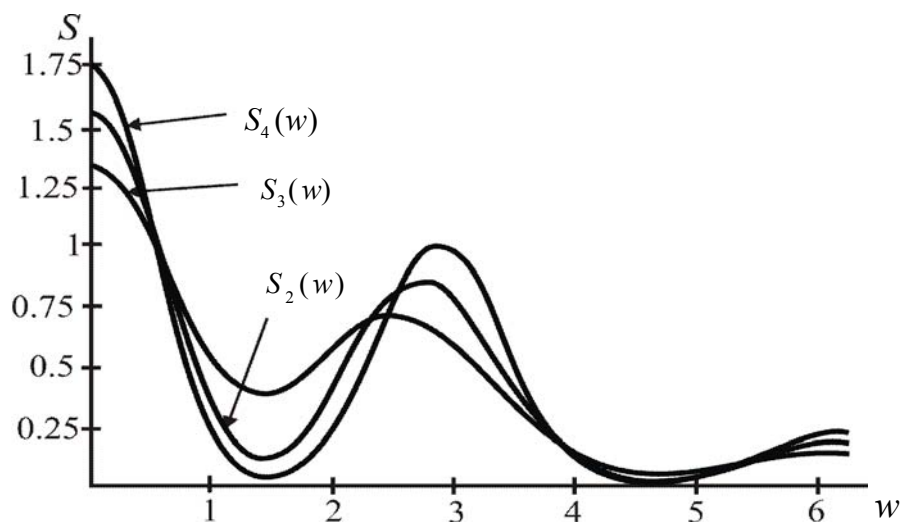
Для различных порядков ДСМ с помощью методов символьной математики системы Mathematica 5.1 из (4) получим

$$\begin{aligned} R_2(\bar{\tau}) &= \frac{1}{8} [4 - 3\bar{\tau} - 4(-2 + \bar{\tau})\text{sign}(2 - \bar{\tau}) + (-4 + \bar{\tau})\text{sign}(4 - \bar{\tau})], \\ R_3(\bar{\tau}) &= \frac{1}{24} [12 - 10\bar{\tau} - 15(-2 + \bar{\tau})\text{sign}(2 - \bar{\tau}) + 6(-4 + \bar{\tau})\text{sign}(4 - \bar{\tau}) + \\ &+ 6\text{sign}(6 - \bar{\tau}) - \bar{\tau}\text{sign}(6 - \bar{\tau})], \\ R_4(\bar{\tau}) &= \frac{1}{80} [40 - 35\bar{\tau} - 56(-2 + \bar{\tau})\text{sign}(2 - \bar{\tau}) + 28(-4 + \bar{\tau})\text{sign}(4 - \bar{\tau}) + \\ &+ 48\text{sign}(6 - \bar{\tau}) - 8\bar{\tau}\text{sign}(6 - \bar{\tau}) - 8\text{sign}(8 - \bar{\tau}) + \bar{\tau}\text{sign}(8 - \bar{\tau})]. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставим (8) в (7) и проведём преобразование Фурье от $B_{2\eta}(\tau)$ с помощью системы Mathematica 5.1. В итоге получим выражения для спектральной плотности шумов $\eta(t)$, соответствующих $B_{2\eta}(\tau)$ для различных порядков ДСМ:

$$\begin{aligned} S_{2p_M}(w) &= (k_n - 1)^2 \frac{\sigma_{p_M}^2}{4\pi} S_{p_M}(w), \\ S_2(w) &= -\frac{12w - 8w\cos(2w) + 8\sin(2w) + \sin(4w)}{4w^3}, \\ S_3(w) &= -\frac{-120w - 120\cos(2w) - 12w\cos(4w) + 75\sin(2w) + 24\sin(4w) + \sin(6w)}{36w^3}, \\ S_4(w) &= \frac{-1}{400w^3} [-1400w - 1680\cos(2w) - 336w\cos(4w) - 16w\cos(6w) + \\ &+ 784\sin(2w) + 392\sin(4w) + 48\sin(6w) + \sin(8w)]. \end{aligned} \quad (9)$$

Результаты расчетов зависимостей $S_2(w)$, $S_3(w)$, $S_4(w)$ приведены на рис. 2.

Рис. 2. Графики зависимостей $S_2(w)$, $S_3(w)$ и $S_4(w)$

Учитывая ограничение 2, аппроксимируем эти зависимости спектральной плотностью белого шума, прошедшего через интегрирующее звено с передаточной функцией $1/(1+sT_{p_m})$. Для этого разложим $S_2(w)$, $S_3(w)$, $S_4(w)$ в ряд Тейлора в системе Mathematica 5.1 и удержим первые два члена. В итоге получим

$$S_{p_m}(w) = K_{p_m} \frac{1}{1 + T_{p_m}^2 w^2}, \quad (10)$$

где K_{p_m} и T_{p_m} в зависимости от p_m приведены в табл. 2

Таблица 2

p_m	K_{p_m}	T_{p_m}
2	1,333	1,41
3	1,555	1,70
4	1,76	1,97

Линеаризуем систему ИФАПЧ с ДСМ в виде устройства, генерирующего «цветной» шум (рис.1). Для этого считаем, что коэффициент передачи от выхода СУМ2 к выходу СУМ1 равен $((1+k_H)/2)$ по отношению к $S_{ДСМ}(\omega)$. Перенесём $S_{2\eta}(\omega)$ к плюсовой точке СУМ1 и посчитаем, что коэффициент передачи системы ИФАПЧ от выхода звена $S_{ГУН}/s$ к плюсовому входу СУМ1 в пределах полосы пропускания системы равен N_0 . На основании этого с учётом (2) и (10) найдём выражение спектральной плотности $S_{ГУН}(\omega)$ в пределах полосы пропускания системы ИФАПЧ

$$S_{\text{ГУН}}(\omega) = [S_{\text{ДСМ}}(\omega) + S_{2\eta}(\omega)] N_0^2 =$$

$$= \frac{\pi^2}{3} T_0 (2\omega)^{2(p_M-1)} + 2^{2(p_M-2)} (k_H - 1)^2 \frac{\pi}{3} T_0 \frac{K_{ap_M}}{K_{p_M}}. \quad (11)$$

Соотношение (11) позволяет найти частоту среза системы, когда $S_{2\eta}(2\pi f_{\text{CP}}) \geq S_{\text{ДСМ}}(2\pi f_{\text{CP}})$ (то есть уточнить ограничение 2). В этом случае справедливы все проведённые выше выкладки:

$$f_{\text{CP}} \leq \frac{1}{\pi T_0} \left[\frac{(k_H - 1)^2 K_{ap_M}}{4\pi K_{p_M}} \right]^{\frac{1}{2(p_M-1)}}. \quad (12)$$

Например, для ДСМ третьего порядка с $p_M = 3$ при неравенстве токов заряда и разряда $k_H = 1,05$ для частоты среза $f_{\text{CP}} \leq 0,0275 / T_0$.

Для сравнения результатов расчетов уровней помех дробности по точной и приближенной моделям найдем дисперсию шумов, вычисленных по формуле (11) с учетом условия (12) в полосе частот $\Delta\omega = 2\pi / p_M k T_0$:

$$\sigma_{\Delta\omega}^2 = (k_H - 1)^2 \frac{\pi K_{ap_M} 2^{2p_M-3}}{3 p_M k K_{p_M}}. \quad (13)$$

Графики на рис. 3 иллюстрируют сравнение расчетов уровней помех дробности по точной и приближенной моделям. На этом рисунке приведены результаты расчетов уровней помех дробности по программе ifar_dsm для различных порядков ДСМ: кривая 2 для $p_M = 2$, кривая 3 для $p_M = 3$, кривая 4 для $p_M = 4$.

Прямые 2а, 3а, 4а рассчитаны для дисперсии шумов $\sigma_{\Delta\omega}^2$ по (13) и соответственно для второго, третьего и четвертого порядков ДСМ. Параметры системы ИФАПЧ выбирались при неравенстве токов накачки $k_H = 1,05$.

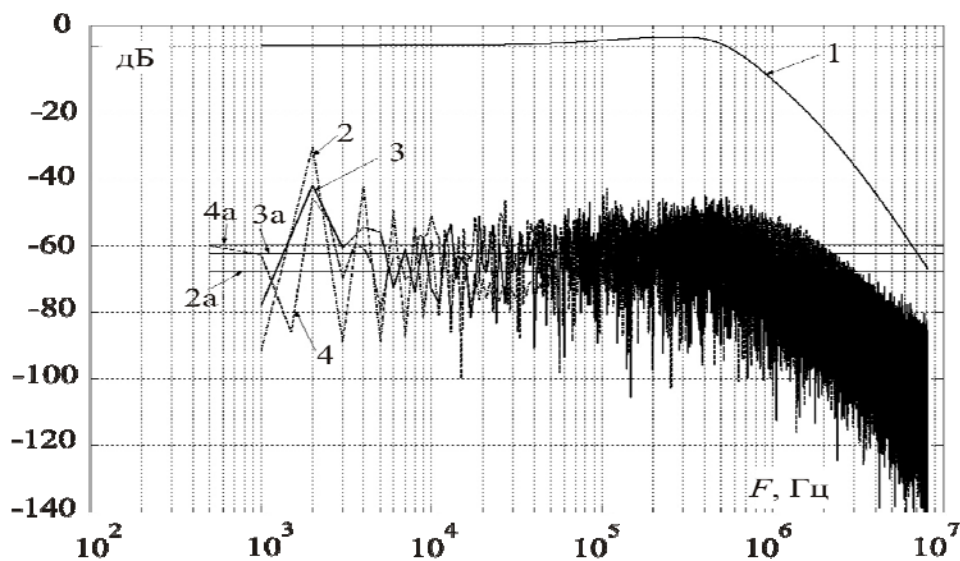


Рис. 3. Уровни помех дробности для различных порядков ДСМ

Из анализа данных, приведенных на рис. 3, можно сделать вывод, что расчёты уровней помех дробности по приближенной модели можно рассматривать как оценочные, особенно велико отклонение уровней дискретных помех дробности от оценочного значения при $p_m = 2$.

Рассмотрим влияние неравенства токов накачки заряда и разряда в ЧФД/ЗН на интегральную оценку качества выходного сигнала системы ИФАПЧ, в качестве которой примем дисперсию фазы σ_φ^2 сигнала ГУН, которая определится как

$$\sigma_\varphi^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\text{ГУН}}(\omega) d\omega \approx \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{\pi^2}{3} T_0^2 \left| 2 \sin\left(\frac{\omega T_0}{2}\right) \right|^{2(p_m-1)} + \right. \\ \left. + \frac{(k_H-1)^2}{12} \pi T_0^2 (\omega T)^{2(p_m-1)} + (k_H-1)^2 \frac{\pi}{3} S_{p_m}(\omega T_0) |F(j\omega)|^2 d\omega, \right. \quad (14)$$

где $G_3(j\omega)$ — частотная передаточная функция замкнутой системы

$$\text{ИФАПЧ } G_3(j\omega) = \frac{G_p(j\omega)}{1 + G_p(j\omega)}, \quad G_p(j\omega) = \frac{i_{3\text{Н}} S_{\text{ГУН}} G_{\text{ФНЧ}}(j\omega)}{2\pi j\omega N_0}.$$

На рис. 4 непрерывными линиями показана зависимость среднеквадратичного отклонения фазы $\varphi = \sqrt{\sigma_\varphi^2} \frac{360}{2\pi}$ в градусах сигнала ГУН от относительной частоты среза $f_{\text{ср}} T_0$ системы ИФАПЧ в логарифмическом масштабе, рассчитанная по формуле (14).

Параметры системы ИФАПЧ задавались следующими:

$$G_p(j\omega) = K_0 \frac{j\omega T_1 + 1}{(j\omega T_2 + 1)(j\omega T_3 + 1)(j\omega T_4 + 1)}, \quad K_0 — \text{постоянный коэффициент, } T_1, \\ T_2, T_3, T_4 — \text{некоторые постоянные времени ФНЧ, определяемые в результате параметрического синтеза по показателю колебательности } M = 1,3 \text{ при } \\ T_0 = 1 / 10,24 \text{ МГц, } N_0 = 10, k_H = 1,05.$$

На рис. 4 точечными линиями показаны результаты расчетов среднеквадратичного отклонения фазы сигнала ГУН в модели, разработанной в Simulink, штриховыми линиями показаны результаты расчетов отклонения фазы в модели, разработанной в Simulink согласно [5], при этом дополнительно задавались емкость НС $m = 2^{10}$ и число $a = 1$.

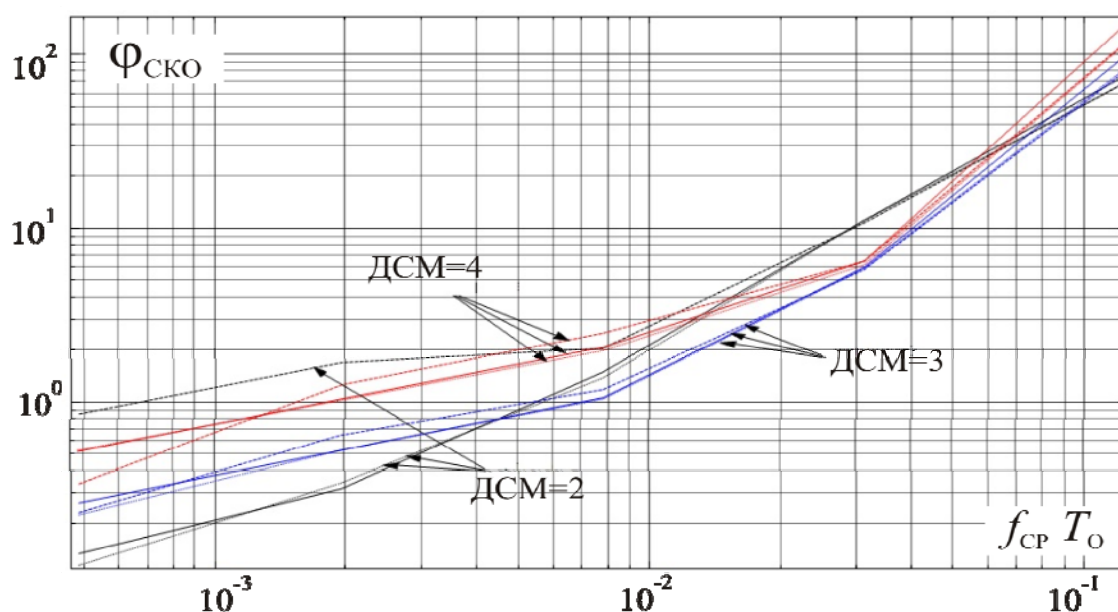


Рис. 4. Графики зависимости среднеквадратичного отклонения фазы сигнала ГУН от относительной частоты среза системы ИФАПЧ

Сравнение полученных данных показывает их близость за исключением случая второго порядка ДСМ $p_m = 2$ в области частот среза, когда $f_{ср} T_0 < 2 \times 10^{-2}$, в этом случае, очевидно, нельзя помехи дробности аппроксимировать «цветным» шумом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов С.К., Марков И.А. Определение помех дробности в синтезаторах частот с системами ФАПЧ, использующие дельта-сигма модуляторы в дробных делителях частоты // Теория и техника радиосвязи. — 2006. — Вып. 1. — С. 97—102.
2. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — 232 с.
3. Scott E. Meninger, Michael H. Perrott. A Fractional-N Frequency Synthesizer Architecture Utilizing a Mismatch Compensated PFD/DAC Structure for Reduced Quantization-Induced Phase Noise // IEEE Transactions on Circuits and Systems II; Analog and Digital Signal Processing. — Vol. 50. — N11. — November, 2003. — P. 839—849.
4. Thomas E. Stichelbout Ph. D. System simulation of a fractional PLL with MatLab // Division of Digital Signal Processing, Alaborg University, 2000. — P. 122—128.
5. Черных И.В. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений / под общ. ред. В.Г. Потемкина. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 496 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Романов Станислав Константинович. Заместитель начальника научно-технического центра. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

ОАО «Концерн «Созвездие».

E-mail: skromanov@rambler.ru

Россия, 394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, 14.

Леньшин Андрей Валентинович. Профессор кафедры. Доктор технических наук, доцент.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 153.

Тихомиров Николай Михайлович. Начальник научно-технического центра. Доктор технических наук, старший научный сотрудник.

ОАО «Концерн «Созвездие».

E-mail: tikhomir@sozvezdie.su

Россия, 394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, 14.

Romanov Stanislav Konstantinovich. The deputy chief of scientific and technical centre. Candidate of technical sciences, high research assistant.

JSC «Concern «Sozvezdie».

Work address: Russia, 394018, Voronezh, Plekhanovskaya Str., 14.

Lenshin Andrei Valentinovich. Professor of chair. Doctor of sciences (technical).

Military Aviation Engineers University (Voronezh).

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 153.

Tikhomirov Nikolay Mikhaylovich. The chief of scientific and technical centre. Doctor of sciences (technical), high research assistant.

JSC «Concern «Sozvezdie».

Work address: Russia, 394018, Voronezh, Plekhanovskaya Str., 14.

Ключевые слова к статье: фазовая автоподстройка частоты; синтезатор частот; дробное деление частоты; дельта-сигма модулятор; помехи дробности.

Key words: phase-locked loop; frequency synthesizer; fractional frequency division; delta-sigma modulator; noise graininess.

УДК 621.396.662



И.В. Лазарев,
кандидат технических наук, доцент

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

STATEMENT OF A PROBLEM OF OPTIMISATION OF DISTINGUISHING SYSTEM IN THE CONDITIONS OF STRUCTURALLY FUNCTIONAL ARCHITECTURE

Предложен новый подход к поиску оптимального решения задачи классификации объектов с учётом выбранного критерия эффективности, позволяющий осуществлять обоснованный выбор структуры устройства классификации.

The new approach to search of the optimum decision of a problem of classification of objects with the account of the chosen criterion of the efficiency is offered. It allows to carry out the proved choice of structure of the device of classification.

В настоящее время в радиоприёмных устройствах, используемых в системах множественного доступа, радионавигации и радиолокации, широкое применение находят распознающие системы, предназначенные для автоматической классификации объектов. Использование распознающих систем в охранных системах позволяет выносить решения о проникновении на закрытую территорию нарушителя, обеспечении допуска автотранспорта на режимные объекты. Подобный подход позволяет при обеспечении безопасности воздушного движения обоснованно осуществлять принятие управленческих команд, а для разработчиков систем ПВО — повышать эффективность алгоритмов целе-распределения, целеуказания и применения активных средств поражения. Особенную актуальность в современных условиях принимает задача внедрения распознающих систем, обеспечивающих повышение эффективности при принятии управленческих команд в связи с ростом интенсивности воздушного движения и возможными угрозами использования воздушных (гражданских) судов в ходе проведения террористических акций.

Решение ряда задач связано с созданием радиотехнических систем специального назначения, в которых наряду с обнаружением применяют системы, предназначенные для автоматической классификации (распознавания) объектов. За последние годы, к примеру, появилось много работ, посвященных вопросам классификации объектов, решаемых на

основе наиболее полного описания их свойств, в частности с применением ряда информативных признаков [1—3].

Исходя из многочисленных публикаций [1—4], для решения задачи классификации объектов целесообразно ввести в рассмотрение некоторое множество, элементы которого характеризуют как условия решения задачи, так и накладываемые ограничения, включая технические, например:

$$\{F\} = (A, X, R, Y, W). \quad (1)$$

Здесь: A — пространство классов; X — пространство признаков; R — пространство решающих правил; Y — пространство устройств классификации объектов; W — интегрированные затраты.

Следует отметить, что интегрированные затраты связаны как с реализацией некоторого решающего правила (метода распознавания), включающего не только затраты при реализации решающего правила (время выполнения, сложность программирования, объем аппаратных затрат и т. д.), но и вероятности правильного и ошибочного распознавания объектов. Поэтому в выражении (1) элемент W может быть представлен, например, в виде вектора J_p [5], включающего в себя показатели, характеризующие эффективности, финансовые и временные затраты.

Тогда множество (1) запишется как

$$\{F\} = (A, X, R, Y, J_p). \quad (2)$$

В выражении (2) могут быть заданы все или отсутствовать один из первых трех элементов, что и определяет тип задачи распознавания объектов, а конкретные подходы к заданию элементов A , X , R определяют модель процесса распознавания объектов. Следовательно, возможно несколько вариантов типовых задач распознавания объектов:

тип задачи № 1. Заданы множество классов A , пространство признаков X . Требуется найти решающее правило R , минимизирующее вектор J_p ;

тип задачи № 2. Заданы множество классов A и тип решающего правила R . Необходимо найти систему признаков X , которая минимизирует вектор J_p ;

тип задачи № 3. Задано пространство признаков X . Требуется найти множество классов A и решающее правило R , с учетом минимизации вектора J_p ;

тип задачи № 4. Заданы множество классов A , пространство признаков X , решающее правило R . Требуется найти устройство классификации, минимизирующее вектор J_p .

В научно-технической литературе широко описаны различные способы систематизации, классификации задач и методов теории распознавания объектов [2, 3, 4, 6, 7]. К настоящему времени подробно рассмотрены подходы применительно к решению задач типа № 1— № 3.

Вместе с тем решение задачи типа № 4 требует существенно отличных от описанных в литературе подходов, связанных в первую очередь с синтезом и анализом устройств классификации объектов, отвечающих векторному критерию эффективности.

Применительно к задаче классификации объектов, в рамках выражения (2) могут быть заданы элементы A, X, R , требуется найти устройство классификации объектов, которое минимизирует вектор J_p , с учетом ограничений, налагаемых на его показатели. При этом решающее правило должно быть адекватно решаемой задаче классификации объектов, т.е. оптимально синтезированное на основе известных подхо-

дов. Вместе с тем система распознавания должна быть построена таким образом, чтобы в условиях неизбежных ограничений результаты её работы обеспечивали возможность системе управления отвечать требуемым критериям эффективности.

При этом центральным устройством системы распознавания является устройство классификации, обеспечивающее отнесение объектов к определенному классу в условиях многоальтернативного распознавания, и обладающее гибкостью при принятии решения. Построение данного типа устройства возможно при использовании структурно-функциональных систем, в частности микропроцессорных устройств классификации объектов (МПУКО) [8].

При реализации структур МПУКО необходимо руководствоваться подходами, приведенными на рис. 1. В этом случае алгоритм синтеза МПУКО включает ряд этапов, а сама процедура определяется согласно следующей последовательности (рис. 2) [8]. На рис. 2 выход К — вариант построения МПУКО удовлетворяет заявленным требованиям (отвечает критерию эффективности).

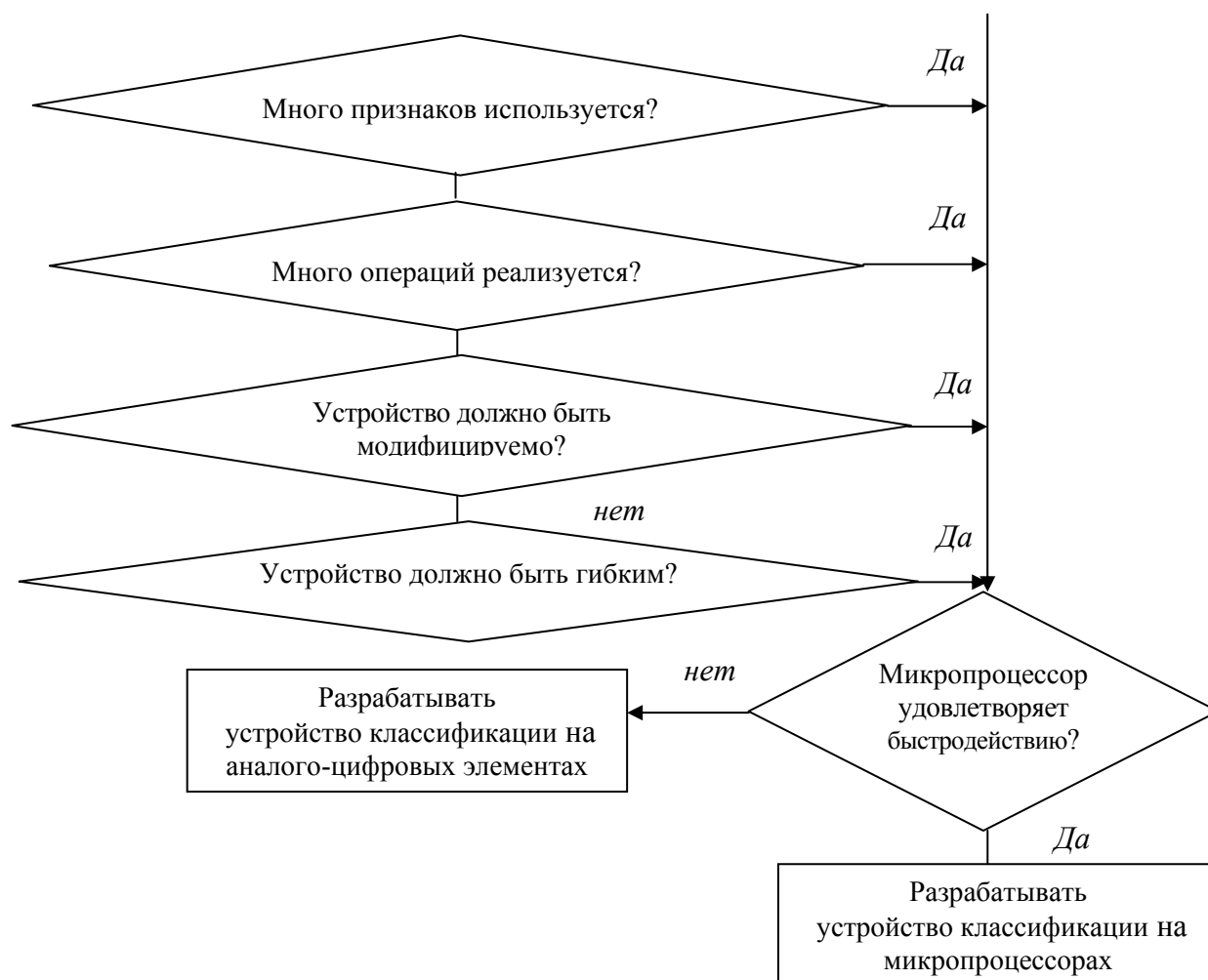


Рис. 1. Алгоритм выбора варианта построения устройства классификации объектов

Алгоритм синтеза МПУКО включает ряд этапов, состоящих из нескольких последовательных шагов:

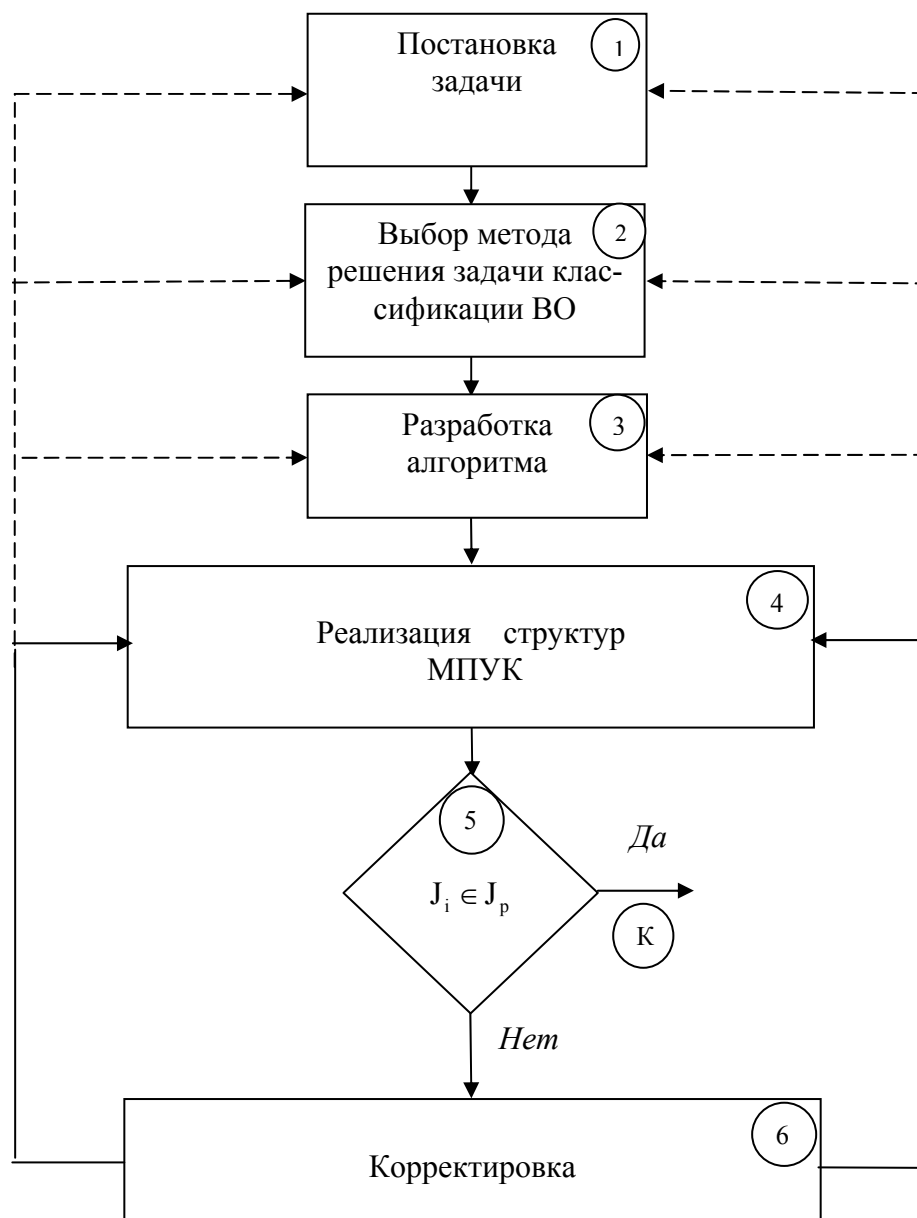


Рис. 2. Обобщённая блок-схема алгоритма синтеза МПУК объектов

1. Производится формулировка задачи. В настоящее время существуют два подхода к распознаванию объектов: первый, когда классы не определены и второй, когда эта задача решена, исходя из каких-либо соображений [1, 7].

2. Из возможных методов решения задачи классификации объектов выбирается наиболее адекватный постановке задачи математический метод и соответствующий ему рабочий словарь признаков, содержащихся в принятой реализации.

3. На основе рабочего словаря признаков синтезируется алгоритм распознавания классов объектов, производится суммарная оценка сложности его реализации.

4. В соответствии с разработанным алгоритмом осуществляется выбор структуры МПУК объектов, построенных на основе однопроцессорных или многопроцессорных систем (МПС). Определяется характер обмена данными с внешними устройствами (датчиками).

Если в процессе реализации МПУК объектов условие блока 5 не выполнено, тогда следует использовать подход, приведенный на рис. 3.

Функционирование алгоритма синтеза МПУКО (рис. 3) начинается с предположения, что реализация комплекса возможна в одноканальном варианте на основе однопроцессорного устройства (если $N < 2$) (блок 8). В результате проверки на соответствие векторному критерию эффективности в блоке 5 процедура синтеза либо завершается (в случае выполнения условий выбранного критерия) либо продолжается, но на новом качественном уровне. При этом требуется усовершенствовать либо аппаратную часть комплекса, включая схемную реализацию (блок 9), либо программную часть микропроцессорного вычислительного устройства (МПВУ), включая разработку программного обеспечения (блок 11). Далее для аппаратного продукта (функционального расширителя) осуществляется проверка на его соответствие выбранному критерию эффективности (блок 10): $K_{\text{иопт}} = \inf_{S \in S_{\text{доп}}} K_{\text{и}}$. Здесь

$S_{\text{доп}}$ — множество допустимых функциональных расширителей (измерителей), а матрица $K_{\text{и}}$ может быть представлена в виде [9]

$$K_{\text{и}} = \left\| y_{\text{и}i}^2 / y_{\text{идоп}}^2, W_{\text{и}\Sigma i} / W_{\text{идоп}}, T_{\text{и}\Sigma i} / T_{\text{идоп}} \right\|, \quad (3)$$

где $y_{\text{и}i}^2, y_{\text{идоп}}^2$ — дисперсия и допустимая дисперсия ошибки информативных признаков; $W_{\text{и}\Sigma i}, W_{\text{идоп}}$ — суммарные затраты на реализацию i -го варианта измерителя информативных признаков и допустимые затраты; $T_{\text{и}\Sigma i}, T_{\text{идоп}}$ — суммарные временные затраты на получение оценок информативных признаков и допустимые временные затраты при реализации i -го варианта измерителя.

Если все условия соблюдены, то процедура синтеза завершается. В противном случае требуется осуществлять корректировку (блок 6), которая заключается либо в усовершенствовании аппаратной или программно-аппаратурной частей, либо в переходе к многопроцессорным структурам (блок 12). Система должна содержать центральный процессор и N независимых идентичных процессоров, а выполнение решающего правила осуществляется по разветвленной архитектуре.

В последнем случае снижение временных затрат осуществляется путем распараллеливания вычислительного процесса (блок 13). Детализируется программная часть, связанная с разработкой специальной программы обработки информации в системе. Производится оценочный расчет объема аппаратных и временных затрат.

125

Процедура синтеза МПУКО завершается на этапе, когда результат проверки (в блоках 5) на соответствие выбранному векторному критерию эффективности оказывается положительным. Для исключения заикливания в блоке 6 возможно осуществлять корректировку постановки задачи, исходных данных, а также критерия эффективности.

При этом функциональное назначение блоков 5, 7, 9, 11 аналогично тем, что приведено в [8].

Рассмотренные подходы показывают, что МПУКО являются составной частью системы распознавания, а их реализация в условиях ограниченных вычислительных возможностей микропроцессорного вычислительного устройства (МПВУ) возможна путем комплексного использования программных и аппаратных средств. Алгоритм выбора МПУКО представляется следующей последовательностью действий:

1. На основании концепции создания канала распознавания и, в частности, МПУКО, определяются частные показатели критерия эффективности, в соответствии с которым формируется множество возможных вариантов устройства.

2. По имеющейся модели функционирования МПУКО отбирается наиболее предпочтительный вариант.

3. Если данный вариант удовлетворяет критерию эффективности, он выбирается для построения МПУКО.

4. Если среди предложенных вариантов не окажется приемлемых, необходимо предусмотреть корректировку алгоритма классификации или метода распознавания, а в исключительных случаях — постановку задачи синтеза, а также исходных данных, тактико-технических требований и, возможно, уточнение критерия эффективности.

Применение предложенного подхода при разработке структурно - функциональных систем призвано обеспечить наиболее полное исследование альтернативных вариантов МПУКО, синтезированных на основе однопроцессорных и многопроцессорных структур, обоснованный выбор предпочтительного варианта устройства классификации в условиях критериального подхода и сокращение временных и материальных затрат при проектировании систем распознавания объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик [и др.]; под ред. А.Л. Горелика. — М.: Радио и связь, 1990.
2. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. — М.: Сов. радио, 1972.
3. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман [и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана. — М.: ЗАО «Маквис», 2007.
4. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978.
5. Булгаков О.М., Лазарев И.В. Метод синтеза структур микропроцессорных устройств классификации воздушных объектов по критерию «эффективность — интегрированные затраты» в условиях параметрической априорной неопределенности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2010. — № 2. — С. 109—114.
6. Вопросы статистической теории распознавания / Ю.Л. Барабаш [и др.]; под ред. Б.В. Варского. — М.: Сов. Радио, 1967.
7. Митрофанов Д.Г., Сафонов А.В., Прохоркин А.Г. Моделирование задачи распознавания целей по их радиолокационным изображениям нейросетевым способом // Радиотехника. — 2007. — № 2. — С.3 — 9.

8. Лазарев И.В. Методологические основы выбора структуры микропроцессорных устройств классификации воздушных объектов многофункциональных РЛС // Вестник Воронежского института МВД России. — 2008.— № 4.— С. 74 — 79.

9. Лазарев И.В. Метод синтеза структур адаптивных измерителей временных параметров импульсов сложной формы по критерию «эффективность — интегрированные затраты» в условиях параметрической априорной неопределенности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2010.— № 1.— С. 144 — 148.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ СТАТЬИ:

Лазарев Иван Владимирович. Начальник кафедры радиотехники. Кандидат технических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: vorhmscl @ comch.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел.(473) 2476-472.

Lazarev Ivan Vladimirovich. The chief of the radio engineering chair. Candidate of technical sciences. Assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2476-472.

Ключевые слова к статье: оптимизационная задача; устройства классификации объектов.

Key words: optimizing problem; devices of classification objects.

УДК 621.396

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



В.В. Меньших,
доктор физико-математических наук,
профессор



А.В. Папонов,
ФКОУ ДПО УЦ УФСИН России
по Воронежской области

ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЙ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ОБЪЕКТЕ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

PROBABILITY-TIME MODEL OF ACTIONS OF OFFICIALS AT ORIGIN OF INCIDENTS ON OBJECT OF PENITENTIARY SYSTEM

В статье разрабатывается вероятностно-временная модель действий должностных лиц на объекте УИС при возникновении чрезвычайного обстоятельства — побега из-под охраны. Приведен численный пример.

Probability-time model of actions of officials on object of penitentiary system is developed at force majeure origin - runaway from under protection. The numerical example is resulted.

Введение. В настоящее время осуществляется реформирование уголовно-исполнительной системы. В связи с этим важное значение имеет получение оценок эффективности форм и методов управления в изменившихся условиях учреждениями и органами, исполняющими наказание [1].

В повседневной деятельности органам управления часто приходится сталкиваться с внештатными ситуациями, требующими принятия нестандартных управленческих решений. Особенностью внештатных ситуаций на объектах ФСИН России является то, что несвоевременные и неправильные действия сотрудников могут привести в дальнейшем к причинению вреда здоровью, гибели людей, излишним материальным затра-

там [2]. Поэтому особую значимость приобретает использование научного подхода к организации и осуществлению управления при возникновении происшествий. В частности, возникает необходимость оценки эффективности принимаемых решений.

Одним из важнейших показателей эффективности управленческих решений является своевременность реализации принятого решения, для оценки которого необходимо оценить вероятность его выполнения за требуемое время. Разработке математической модели получения такой оценки посвящена данная работа.

1. Модель процесса принятия управленческого решения. Процесс принятия каждого управленческого решения можно представить как выполнение совокупности взаимосвязанных действий должностных лиц. Каждое действие характеризуется временем выполнения и исполнителем.

Вследствие этого в качестве модели процесса принятия управленческого решения можно использовать дважды взвешенный ориентированный граф $G = (V, E, P, T)$ [3], где:

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ — множество вершин, соответствующих действиям,

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ — множество дуг, отражающих причинно-следственные отношения между действиями,

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — веса вершин, указывающих на исполнителей действий,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ — веса вершин, равные средним значениям времен выполнения действий.

Для иллюстрации возможности построения данной модели при возникновении внештатных ситуаций на объектах ФСИН рассмотрим решение задачи принятия управленческого решения при возникновении чрезвычайного обстоятельства на объекте УИС — побега из-под охраны.

Решение задачи начинается с определения круга должностных лиц, участвующих в устранении чрезвычайного обстоятельства и выяснения последовательности их действий. В соответствии с должностными инструкциями сотрудников и регламентирующими данное направление деятельности нормативными документами определяются исполнители, а также сотрудники, выполняющие дублирующие функции. Затем осуществляется экспертная оценка интервала продолжительности выполнения той или иной операции. Таблица содержит описание одного из возможных вариантов совокупности действий, выполняемых при возникновении описанного чрезвычайного обстоятельства, исполнителям и их действиям присвоена буквенно-цифровая кодировка.

В таблице использованы следующие обозначения:

- I_1 — оперативный дежурный,
- I_2 — начальник караула,
- I_3 — помощник оперативного дежурного,
- I_4 — помощник начальника караула,
- I_5 — инспектор спецотдела,
- I_6 — РГ №1 дежурной смены,
- I_7 — РГ №2 дежурной смены,
- I_8 — часовой КПП,
- I_9 — начальник учреждения.

Последовательность совокупности действий сотрудников учреждения ФСИН России
по пресечению побега

Код действия	Действие	Исполнитель	Предыдущее действие	Следующее действие	Среднее время, мин	Интервал, мин
d1	Распоряжение на осмотр места происшествия	I ₁	-	d2,d3	7,5	5..10
d2	Осмотр внутренней и внешней запретной зоны с целью обнаружения следов побега	I ₂	d1	d4,d5, d6	17,5	15..20
d3	Осмотр внутренней запретной зоны с целью обнаружения следов побега	I ₆	d1	d6	17,5	15..20
d4	Анализ информации о выходе с объекта транспортных средств.	I ₈	d2	d6	7,5	5..10
d5	Анализ информации о выходе с объекта транспортных средств (дублирование d4)	I ₄	d2	d6	7,5	5..10
d6	Указание на проверку осужденных и выявление и опрос осужденных, знавших лицо, совершившее побег	I ₁	d2,d3, d4,d5,	d7,d8, d9,d10	3,5	2..5
d7	Сбор личного состава по тревоге согласно схеме оповещения.	I ₁	d6	d11	20	15..25
d8	Сбор личного состава по тревоге (дублирование d7)	I ₃	d6	d11	20	15..25
d9	Проверка осужденных и выявление и опрос осужденных, знавших лицо, совершившее побег	I ₆	d6	d11	35	30..40
d10	Тщательная проверка рабочего и спального места, изъятие всех личных вещей и переписки	I ₇	d6	d11	35	30..40
d11	Указание о подготовке установочных данных по личному делу	I ₁	d7,d8, d9,d10	d12	3,5	2..5
d12	Подготовка установочных данных на бежавшего	I ₅	d11	d13	30	25..35
d13	Принятие решения на организацию розыска бежавшего (их); оценка обстановки, выдача распоряжения на сбор и организацию работы группы управления; контроль сбора личного состава и формирования розыскных нарядов; отдавание приказа о переходе учреждения на усиленный вариант несения службы	I ₉	d12	-	-	-

Построим граф последовательности совокупности действий сотрудников учреждения ФСИН России по пресечению побега осужденного (рис.1).

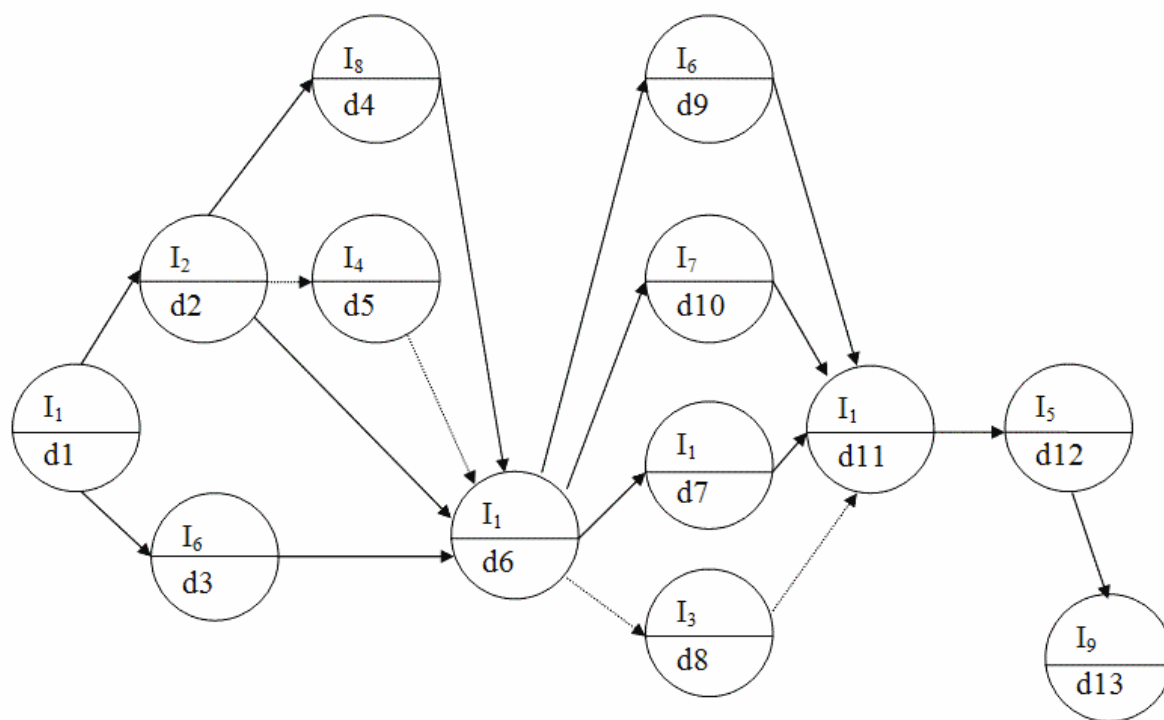


Рис. 1. Граф последовательности выполнения действий сотрудников учреждения ФСИН России по пресечению побега осужденного

2. Получение временных оценок. Разработанная модель может быть использована для принятия управленческого решения, заключающегося в определении последовательности и моментов начала и окончания выполнения действий каждым исполнителем. Для этого могут быть использованы методы теории расписаний [3—6].

Для визуализации результатов решения в теории расписаний используется диаграмма Ганта. Для рассмотренного выше примера она имеет вид, изображенный на рис. 2.

Полученный результат позволяет, в частности, получить оценки длительности выполнения задачи в соответствии с принятым управленческим решением. Анализ приведенной выше диаграммы показывает, что в рассматриваемом примере длительность процесса выполнения операции для средних значений длительности выполнения действий каждым участником составит 114,5 минуты.

3. Получение вероятностно-временных оценок. При решении задачи следует учитывать, что на время выполнения действий влияет целый комплекс факторов, зависящих как от характеристик самого сотрудника (уровень профессиональной подготовки, знание нормативной базы, психофизическое состояние и т.д.), так и от воздействия обстоятельств внешней среды в конкретной складывающейся обстановке. Поэтому длительность выполнения каждого определенного действия сотрудником носит вероятностный характер. Вследствие этого оценка длительности выполнения всей совокупности действий также носит вероятностный характер. Зная закон распределения вероятностей этой оценки, с помощью методов теории вероятностей можно получить оценки вероятности выполнения совокупности действий за заданное время.

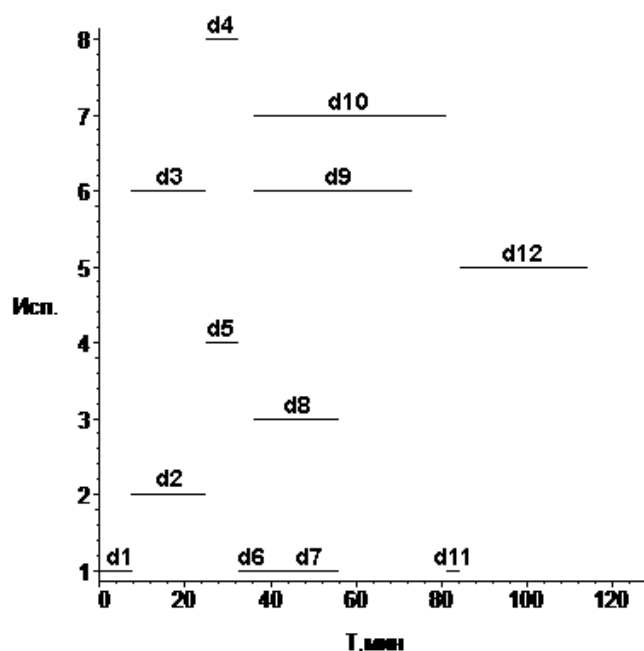


Рис. 2. Диаграмма Ганта последовательности выполнения действий сотрудников учреждения ФСИН России по пресечению побега осужденного

Применение центральной предельной теоремы [7] для определения вида зависимости в данной ситуации не представляется возможным, в связи с тем что длительность выполнения всей совокупности действий не является суммой длительностей отдельных действий, а представляет собой сложную функциональную зависимость [8, 9].

Если случайная величина X задана дифференциальной функцией $f(x)$, то вероятность того, что X примет значение, принадлежащее интервалу (α, β) , равна [7]:

$$P(\alpha < X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx. \quad (1)$$

Проиллюстрируем получение этой оценки для рассматриваемого примера.

Будем считать, что время выполнения каждого действия описывается равномерным законом распределения вероятностей. В среде Maple 14 написана программа для структурно-параметрического моделирования функционирования системы управления при возникновении побега из-под охраны на объекте УИС. Количество итераций выбрано равным 1000. Программа определяет вероятностные характеристики продолжительности всей операции с учетом вероятностного распределения времени выполнения конкретного действия каждым из сотрудников (рис. 3). Минимальное и максимальное время операции составляет соответственно 84 и 125 минут.

В нашем эксперименте полученный результат является следствием взаимодействия целого ряда событий. Была выдвинута гипотеза о нормальности закона распределения вероятности, которая подтверждена в ходе эксперимента с помощью использования критерия χ^2 для уровня значимости $\alpha = 0,05$, и найдены числовые характеристики этого закона: $MX = 102,43$, $DX = 26,60$.

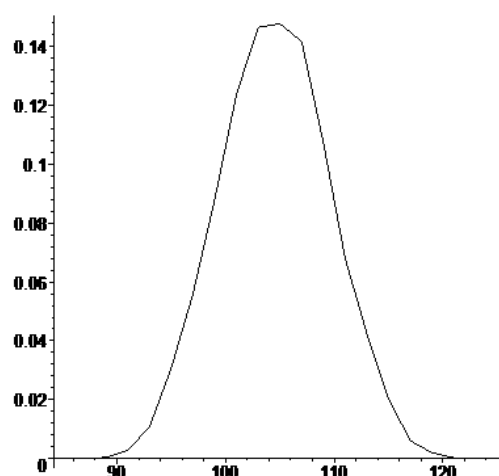


Рис. 3. График эмпирической плотности распределения вероятности продолжительности выполнения действий по пресечению побега осужденного

Время, отводимое для первоначальных мероприятий по задержанию осужденных, бежавших из мест лишения свободы, составляет 120 минут [10]. Рассчитаем вероятностную оценку благоприятного исхода операции по пресечению побега осужденного на первоначальном этапе по формуле (1):

$$P(84 < X < 120) = \frac{1}{5,16\sqrt{2\pi}} \int_{84}^{120} e^{-\frac{(x-102,43)^2}{53,2}} dx = 0,94.$$

Заключение. На основе использования методов теории расписаний и теории вероятностей разработана вероятностно-временная модель оценки своевременности принятия управленческих решений при возникновении чрезвычайных обстоятельств на объектах ФСИН России.

Данная модель может быть использована также для определения последовательности действий должностных лиц органа управления, позволяющей минимизировать длительность принятия управленческого решения.

Возможности использования этой модели были проиллюстрированы на примере действий должностных лиц на объекте УИС при возникновении чрезвычайного обстоятельства — побега из-под охраны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция развития уголовно-исполнительной системы Российской Федерации до 2020 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.10.2010г. №1772-р. — М.: ФБУ Объединенная редакция ФСИН России, 2010. — 32 с.
2. Проблемы взаимодействия правоохранительных органов в ходе розыска лиц, совершивших побег из мест лишения свободы и уклоняющихся от отбывания наказаний, не связанных с лишением свободы : материалы межведомственного круглого стола 23 апреля 2007 г. / под общ. ред. В.Б. Бровкина. — СПб.: СПб ИПК работников ФСИН России, 2007. — 84 с.
3. Меньших В.В., Никулина Е.Ю. Синтез алгоритмов оптимизации расписаний выполнения частично упорядоченного множества задач // Системы управления и информационные технологии. — 2008. — №2 (32). — С. 54—56.

4. Теория расписаний и вычислительные машины / под ред. Э.Г. Коффмана. — М.: Наука, 1984. — 334 с.
5. Меньших В.В., Никулина Е.Ю. Оценки длительности выполнения запроса в распределенных системах ОВД методом ветвей и границ // Вестник Воронежского института МВД России.— 2008.— №1.— С. 109—114.
6. Меньших В.В., Никулина Е.Ю. Оценки длительности выполнения запроса в распределенных системах ОВД с помощью генетического алгоритма // Вестник Воронежского института МВД России.— 2008.— №2.— С. 131—140.
7. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975. — 648 с.
8. Меньших В.В., Сысоев В.В. Структурная адаптация систем управления.— М.: Радиотехника, 2002. — 150 с.
9. Меньших В.В. О задаче оптимизации порядка выполнения запросов в вычислительных системах // Автоматика и вычислительная техника.—1993.— № 1.— С. 3—9.
10. Методическое пособие «Основные действия должностных лиц, работа группы управления при возникновении чрезвычайных обстоятельств в учреждениях (объектах) УФСИН России по Удмуртской Республике». — Ижевск: УФСИН России по Удмуртской Республике, 2007. — 78 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Меньших Валерий Владимирович. Начальник кафедры высшей математики. Доктор физико-математических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: menshikh@vmail.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 262-33-97.

Папонов Андрей Владимирович. Начальник цикла специальных дисциплин.

ФКОУ ДПО «Учебный центр УФСИН России по Воронежской области».

E-mail: paponov@mail.ru

Россия, 394044, Воронеж, ул. Землячки, 41. Тел. (473) 227-72-87.

Menshikh Valery Vladimirovich. The chief of the chair of High Mathematics. Doctor of physical and mathematical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 262-33-97.

Paponov Andrey Vladimirovich. The chief of the cycle of special disciplines.

FKOU DPO «Educational centre UFSIN of Russia across the Voronezh region».

Work address: Russia, 394044, Voronezh, Zemljachka Str., 41. Tel. (473) 227-72-87.

Ключевые слова к статье: принятие решений, последовательность выполнения действий должностными лицами, вероятностно-временная модель.

Key words: decision making, sequence of performance of actions by officials, probability-time model.

УДК 681.3



С.В. Бухарин,
*доктор технических наук, профессор,
Воронежская государственная
технологическая академия*



А.В. Мельников,
кандидат технических наук

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ERP-СИСТЕМ С УЧЕТОМ СТОИМОСТНО-ВНЕДРЕНЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Предложена методика многокритериальной экспертной оценки ERP-систем, основанная на методе анализа иерархий. Введено понятие признаков (частных критериев) отрицательного эффекта и обобщено понятие функции цены. Проведен сравнительный анализ систем одного класса.

The technique of multicriteria expert estimation of ERP-systems, based on a method of the analysis of hierarchies, is offered. The concept of signs (private criteria) of negative effect is entered and the concept of function of the price is generalized. The comparative analysis of systems of one class is carried out.

Введение. Эффективным способом решения проблемы выбора наилучшей системы автоматизации бухгалтерского учета является применение экспертных оценок. Как правило, при этом используются основные положения теории нечетких множеств. В работе [1] были введены как детерминированный, так и нечетко-множественный показатели «качество — цена» и предложено разделение признаков объекта на три $\square$ сущепы (кластера): количественные признаки, признаки наличия и качественные признаки. Однако задача выбора проекта (системы автоматизации) является более сложной, чем рассмотренная в работе [1] задача выбора товара, и требует рассмотрения не только функции цены, но и комплекса стоимостно-внедренческих характеристик.

Целью данной работы является разработка методики многокритериального оценивания известных проектов автоматизации бухгалтерского учета. Для достижения этой цели требуется решить следующие задачи: 1) применить для каждого из упомянутых кластеров разновидность метода анализа иерархий Т.Саати; 2) ввести и обосновать понятие признаков отрицательного эффекта (ПОЭ); 3) обобщить понятие функции цены, перейдя к функции стоимостно-внедренческих характеристик; 4) применить разработанную методику к оценке зарубежных и отечественных систем автоматизации бухгалтерского учета одного класса сложности.

В зарубежной литературе системы автоматизации бухгалтерского учета и управления предпринимательской деятельностью известны под термином ERP (Enterprise Resource Planning)-системы. В данной работе мы рассмотрим основные ERP-решения как западных, так и отечественных разработчиков [2], ориентированные на малый и средний бизнес и представленные на российском рынке.

Комплексный показатель «качество — цена». Вначале рассмотрим мультипликативную модель детерминированного комплексного показателя «качество — цена» [1]:

$$J = \left[V_{\text{кол}} \frac{\sum_j V_{j,\text{кол}} x_{j,\text{кол}}}{\sum_j V_{j,\text{кол}}} + V_{\text{нал}} \frac{\sum_i V_{i,\text{нал}} x_{i,\text{нал}}}{\sum_i V_{i,\text{нал}}} + V_{\text{кач.пр.}} \frac{\sum_l V_{l,\text{кач.пр.}} \bar{x}_{l,\text{кач.пр.}}}{\sum_l V_{l,\text{кач.пр.}}} \right] \times \frac{V_{\text{цены}} P}{V_{\text{кол}} + V_{\text{нал}} + V_{\text{кач}}} = J_{\text{кач}} \cdot J_{\text{цены}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{кол}}$, $V_{\text{нал}}$, $V_{\text{кач.пр.}}$ — групповые весовые коэффициенты, определяющие предпочтительность количественных признаков, признаков наличия и качественных признаков, соответственно. Множества $\{V_j, V_i, V_l\}$ определяют относительный вклад отдельных признаков (частных критериев).

В этом показателе выделим два сомножителя, первый из которых дает собственно оценку качества $J_{\text{кач}}$, а второй характеризует функцию цены

$$J_{\text{цены}} = V_{\text{цены}} P \quad (2)$$

и будет в дальнейшем обобщен как стоимостно-внедренческая функция.

Нетрудно убедиться в том, что введенная в (1) нормировка делением на сумму весовых коэффициентов обеспечивает достижение функционалом $J_{\text{кач}}$ значения единицы в том случае, когда все частные критерии будут равны единице. Это осуществляется с помощью нормировки

$$x_j = \frac{x_j}{x_{j,\text{баз}}}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где знаменатель — максимальное значение признака по всем K объектам

$$x_{j,\text{баз}} = \max_k x_j^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (4)$$

Нормированные таким образом значения признаков $x_j \in [0, 1]$, $\forall j$. Соответственно, и значение функционала $J_{\text{кач}} \in [0, 1]$.

Нечетко-множественная мультипликативная модель комплексного показателя «качество — цена» согласно [1] имеет вид

$$J(\mu) = \left[V_{\text{кол}} \frac{\sum_j V_{j,\text{кол}} \mu_{A_{jj}}(x_j) x_j}{\sum_j V_{j,\text{кол}}} + V_{\text{нал}} \frac{\sum_i V_{i,\text{нал}} x_i}{m_{\text{нал}} \sum_i V_{i,\text{нал}}} + V_{\text{кач}} \frac{\sum_l V_{l,\text{кач}} \mu_{A_l}(\bar{x}_l) \bar{x}_l}{\sum_l V_{l,\text{кач}}} \right] \times \frac{\mu_P(P) P}{V_{\text{кол}} + V_{\text{нал}} + V_{\text{кач}}} = J_{\text{кач}}^{(\mu)} J_{\text{цены}}^{(\mu)}, \quad (5)$$

где $\mu_A(x_j), \mu_A(x_i), \mu_A(\bar{x})$ — функции принадлежности множествам допустимых значений количественных признаков, признаков наличия и качественных признаков, соответственно; $m_{\text{нал}}$ — общее число признаков наличия. Нетрудно убедиться, что второе слагаемое формулы (5) характеризует просто относительную величину наблюдения признаков наличия.

Введенная выше нормировка признаков (3) делением на максимальное значение по группе сравниваемых объектов имеет большое методическое значение. При этом все нормированные признаки изменяются в диапазоне $[0, 1]$, и для всех этих признаков может быть выбрана единая функция принадлежности. Для случая односторонней трапецеидальной функции ее форма задается характеристическим Т-множеством $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$. Выберем в нашей задаче единую форму функции принадлежности с характеристическим множеством $T = \{0,2; 0,8; 1,0; 1,0\}$.

Многокритериальная экспертиза на основе матрицы парных сравнений. В основе решения многокритериальных задач лежит ранжирование частных критериев (признаков). Значимость рангов частных критериев определяется на основе их попарного сравнения с помощью шкалы лингвистических оценок. В соответствии с методом анализа иерархий [3,4] лингвистическую шкалу построим состоящей из девяти градаций оценок относительной важности. Считается, что выбранный частный критерий: строго эквивалентен другому — 1; слабо предпочтительнее — 3; несколько предпочтительнее — 5; значительно предпочтительнее — 7; строго предпочтительнее — 9.

Пусть A — матрица парных сравнений, построенная на основе определенных экспертами значений элементов матрицы $a_{ij} = V_i/V_j$. Эти значения (ранги частных критериев), как правило, выбираются из представленной выше девятибалльной шкалы. Тогда должно выполняться соотношение $a_{ji} = 1/a_{ij}$, т.е. матрица A должна быть обратнo-симметрической.

Искомый вектор коэффициентов относительной важности (вектор приоритетов) имеет вид

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_m). \quad (6)$$

В идеальном случае V является собственным вектором матрицы A и может быть найден как решение уравнения

$$AV = \lambda V, \quad (7)$$

где λ — собственное значение матрицы A .

Особую важность имеют матрицы, не только обладающие приведенными выше свойствами, но и являющиеся согласованными, что означает наличие важного соотношения согласованности

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}. \quad (8)$$

На практике в силу субъективности оценок экспертов это условие чаще всего не выполняется.

Информативным критерием достоверности определения рангов является индекс согласованности (ИС) матрицы парных сравнений A , который дает информацию о степени нарушения согласованности. Индекс согласованности для каждой матрицы рассчитывается на основе оценки максимальной величины собственного значения матрицы по формуле

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}, \quad (9)$$

где m — размерность матрицы парных сравнений. Для обратно-симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq m$.

На основе индекса согласованности ИС рассчитывается показатель отношения согласованности $ОС = ИС/СС$, где $СС$ — значение согласованности случайной матрицы того же порядка.

Средние значения согласованности $СС$ для случайных матриц разного порядка $m = 1, 2, \dots, 10$, полученные при случайном выборе рангов из шкалы $1/9, 1/8, 1/7, \dots, 1, 2, \dots, 9$ и образовании обратно-симметричной матрицы, имеют следующий вид [3]:

0,00 0,00 0,58 0,90 1,12 1,24 1,32 1,41 1,45 1,49.

В работах [3,4] на основе обобщения опыта решения большого числа многокритериальных задач утверждается, что, для того, чтобы парные сравнения можно было считать согласованными, величина $ОС$ должна быть менее, чем 10%. Если $ОС$ выходит из этих пределов, то экспертам нужно пересмотреть задачу и проверить свои суждения.

В матрицах больших размеров, начиная с 7-9 элементов, трудно добиться согласованности. Это объясняется психологическими особенностями мышления экспертов — человеку трудно сопоставить между собой слишком большое количество объектов.

Разрабатываемая нами методика позволяет решить эту проблему делением всего множества частных критериев на подмножества количественных признаков, признаков наличия, качественных признаков. В каждой из этих групп собрано сравнительно небольшое число однородных признаков, что существенно облегчает построение соответствующих матриц парных сравнений.

Оценка показателей качества ERP-систем. Для отечественного рынка особое значение имеют стоимостно-внедренческие характеристики: стоимость лицензии, стоимость внедрения, среднее время внедрения, доступность программного обеспечения и т.д. При оценке отношения «качество — цена» бессмысленно сравнивать дорогие ERP-системы с простой и дешевой отечественной «1С: Бухгалтерией». Поэтому сравним между две системы одного класса: «Microsoft Dynamics NAV (Navision)» и отечественную систему «Галактика Business Suite», основываясь на данных, содержащихся в обзоре фирмы «Hansa World» [2] (см. табл.1, табл.2).

Для каждой из этих систем требуется выполнить следующие действия: 1) определить вклад признаков: количественных, наличия и качественных; 2) оценить групповые весовые коэффициенты; 3) ввести стоимостно-внедренческую характеристику — обобщенную функцию цены.

1. *Количественные признаки.* К таким признакам относятся: 1) максимальное количество пользователей; 2) количество известных внедрений; 3) доля на рынке ERP-систем (%).

Построим матрицу парных сравнений, выбрав следующие ранги критериев

	1	2	3
1	1	3	3
2	0,33	1	2
3	0,33	0,5	1

Максимальное собственное число равняется 3,047. Индекс согласованности (ИС) равен 0,023, отношение согласованности (ОС) равно 0,040.

Нормированные весовые коэффициенты

$$V_{\text{кол}} = (0,549; 0,249; 0,157). \quad (10)$$

2. *Признаки наличия.* К таким признакам отнесем наиболее важные характеристики рассматриваемых систем — возможности анализа конкретных хозяйственных процессов. В упомянутом выше обзоре фирмы Hansa World [2] перечислены следующие функциональные возможности: 1) финансы; 2) учет основных средств; 3) расчеты с подотчетными лицами; 4) управление персоналом и оплата труда; 5) закупки; 6) продажи; 7) склад; 8) производство; 9) бухгалтерская отчетность; 10) управление проектами.

Для системы Microsoft Dynamics NAV реализуется 7 таких признаков, а для системы «Галактика ERP» — 9. Считаем эти признаки равнозначными, поэтому для оценки признаков наличия матрица парных сравнений не используется.

3. *Качественные признаки.* К таким признакам относятся признаки 5—11 (табл.1), среди которых наиболее важными представляются: доступность программного обеспечения и страна разработчика. Построим матрицу парных сравнений, выбрав следующие ранги критериев:

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	3	7	3	5	3
2	1	1	5	5	3	5	3
3	0,33	0,2	1	3	1	3	1
4	0,14	0,2	0,33	1	0,33	0,5	0,33
5	0,33	0,2	1	3	1	0,5	1
6	0,2	0,2	0,5	1	2	1	0,5
7	0,33	0,33	1	3	1	2	1

Максимальное собственное число равняется 7,119. Индекс согласованности (ИС) равен 0,002, отношение согласованности (ОС) равно 0,015.

Нормированные весовые коэффициенты

$$V_{\text{кач.пр.}} = (0,299; 0,307; 0,104; 0,038; 0,081; 0,064; 0,106)^T. \quad (11)$$

4. *Групповые весовые коэффициенты* $V_{\text{кол}}, V_{\text{нал}}, V_{\text{кач.пр.}}$. Построим матрицу парных сравнений, изменив порядок их рассмотрения с учетом того, что для данной задачи наиболее важными являются признаки наличия (функциональные возможности) на следующий порядок $V_{\text{нал}}, V_{\text{кол}}, V_{\text{кач.пр.}}$. Выберем следующие ранги критериев:

	1	2	3
1	1	5	3
2	0,2	1	0,33
3	0,33	3	1

Максимальное собственное число равняется 3,038. Индекс согласованности (ИС) равен 0,016, отношение согласованности (ОС) равно 0,028.

Окончательно, групповые весовые коэффициенты

$$V_{\text{кол}} = 0,103; V_{\text{нал}} = 0,605; V_{\text{кач}} = 0,291. \quad (12)$$

В табл.1 представлены значения признаков X_i , нормированных признаков X_i , произведений функций принадлежности и нормированных признаков $\mu_A X_i$ при трапецидальном задании $T = \{0,2; 0,8; 1,0; 1,0\}$ функций принадлежности. Взвешенные суммы признаков и обобщенный показатель качества рассчитаны с учетом найденных весовых коэффициентов (10)—(12).

Таблица 1

Характеристики сравниваемых ERP-систем

Признаки		Microsoft Dynamics NAV			Галактика ERP		
№	Наименование признаков	X_i	X_i	$\mu_A X_i$	X_i	X_i	$\mu_A X_i$
1	Количество пользователей	До 250	0,758	0,706	До 330	1,000	1,000
2	Количество внедрений	55 000	1,0	1,000	>6000	0,109	0,000
3	Доля на рынке ERP-систем, %	7	1,0	1,000	5	0,714	0,613
	Взвешенная сумма количественных признаков		0,861	0,831		0,721	0,642
4	Функциональные возможности (наличие)	7	0,7	0,584	9	0,900	0,900
	Взвешенная сумма признаков наличия		0,7	0,584		0,900	0,900
5	Доступность программного обеспечения	Труднодоступное	0,4	0,134	Легкодоступное	1,0	1,000
6	Разработчик	Microsoft (США)	1,0	1,000	Галактика (Россия)	0,6	0,401
7	Локализация	Для каждой страны	1,0	1,000	Русский	0,8	0,800
8	Требования к системе	Windows СУБД: SQL, Oracle	1,0	1,000	Windows СУБД: SQL, Oracle	1,0	1,000

9	Возможность удаленного использования	Дополнительный WEB-интерфейс	1,0	1,000	Терминальный доступ, обмен данными	0,6	0,401
10	Гибкость	Программирование	1,0	1,000	Параметризация	0,6	0,401
11	Электронная почта (e-mail)	Есть	1,0	1,000	Нет	0,4	0,134
	Взвешенная сумма качественных признаков		0,82	0,74		0,734	0,673
	Обобщенный показатель качества	—	Детерминированный 0,747	Нечётко-множественный 0,649	—	Детерминированный 0,838	Нечётко-множественный 0,814

Стоимостно-внедренческая функция. Обобщим функцию цены $J_{\text{цены}}$ комплексного показателя «качество — цена» (1) на основе введения еще одной группы признаков — признаков отрицательного эффекта (ПОЭ). Для данной задачи ПОЭ — стоимость лицензии $P_{\text{лиц}}$, стоимость внедрения $P_{\text{внед}}$, длительность срока внедрения (мес.) $T_{\text{внед}}$.

Вместо использованной ранее нормировки признаков (3), (4) введем «обратную» нормировку

$$x_{\text{лиц}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{P}_{\text{лиц}}}{P_{\text{лиц}}^{(k)}}; \quad x_{\text{внед}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{P}_{\text{внед}}}{P_{\text{внед}}^{(k)}}; \quad x_{\text{срок}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{T}_{\text{внед}}}{T_{\text{внед}}^{(k)}}. \quad (13)$$

где верхним символом « $\circ$ » обозначены максимальные значения по группе сравниваемых объектов ($k = 1, 2$):

$$\overset{\circ}{P}_{\text{лиц}} = \max_k P_{\text{лиц}}^{(k)}; \quad \overset{\circ}{P}_{\text{внед}} = \max_k P_{\text{внед}}^{(k)}; \quad \overset{\circ}{T}_{\text{внед}} = \max_k T_{\text{внед}}^{(k)}.$$

При такой нормировке, как и ранее, нормированные признаки принимают значения из отрезка $[0, 1]$, а для нечетко-множественного показателя может использоваться функция принадлежности трапецеидальной формы с множеством характеристических чисел $T = \{0, 2; 0, 8; 1, 0; 1, 0\}$.

Обобщенная функция цены с учетом стоимостно-внедренческих характеристик примет вид

$$J_{\text{цены}} = \frac{V_{\text{лиц}} x_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} x_{\text{внед}} + V_{\text{срок}} x_{\text{срок}}}{V_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} + V_{\text{срок}}}, \quad (14)$$

где весовые коэффициенты $V_{\text{лиц}}$, $V_{\text{внед}}$, $V_{\text{срок}}$ определяются на основе матрицы парных сравнений

	1	2	3
1	1	5	5
2	0,2	1	2
3	0,2	0,5	1

Максимальное собственное число равняется 3,054. Индекс согласованности (ИС) равен 0,027, отношение согласованности (ОС) равно 0,047.

Окончательно, стоимостно-внедренческие весовые коэффициенты

$$V_{\text{ст-внед}} = \{V_{\text{лиц}}, V_{\text{внед}}, V_{\text{срок}}\} = \{0,709; 0,179; 0,112\}. \quad (15)$$

Значения нормированных признаков, обобщенная функция цены с учетом стоимостно-внедренческих показателей и комплексные показатели «качество — обобщенная цена» приведены в табл.2.

Таблица 2

Стоимостно-внедренческие признаки ERP-систем

Признаки		Microsoft Dynamics NAV			Галактика ERP		
№	Наименование	X_i	X_i	$\mu_A X_i$	X_i	X_i	$\mu_A X_i$
1	Стоимость лицензий за рабочее место, Евро	1500	0,333	0,073	500	1,0	1,0
2	Стоимость внедрения (от стоимости лицензий)	>100%	0,5	0,251	>50%	1,0	1,0
3	Срок внедрения (месяц)	4	1,0	1,000	8	0,5	0,251
Обобщенная функция цены		—	0,438	0,209	—	0,944	0,916
Комплексные показатели $J, J^{(\mu)}$		—	$J = 0,327$	$J^{(\mu)} = 0,136$	—	$J = 0,791$	$J^{(\mu)} = 0,745$

Как видно из табл. 2, по величине обобщенных показателей «качество — обобщенная цена» $J, J^{(\mu)}$ система «Галактика ERP» значительно превосходит зарубежный вариант «Microsoft Dynamics NAV» того же класса, что объясняется лучшими стоимостно-внедренческими характеристиками. Кроме того, можно сделать вывод о том, что нечетко-множественный показатель (5) оказывается значительно более чувствительным к различию характеристик сравниваемых объектов, чем детерминированный показатель (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин С.В., Мельников А.В. Нечеткие множества качественных признаков объектов экспертизы // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — № 1. — С. 142—149.
2. Обзор и сравнение основных ERP-решений на российском рынке: Review of Hansa World [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://hansa.dm.ru/pages/compare2> (дата обращения 14.04.2011).

3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.

4. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. — М.: Машиностроение – 1, 2004. — 397 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Бухарин Сергей Васильевич. Профессор кафедры информационных технологий моделирования и управления. Доктор технических наук, профессор.

Воронежская государственная технологическая академия.

E-mail: svbuharin@mail.ru

Россия, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19. Тел. (473) 2552-550.

Мельников Александр Владимирович. Старший преподаватель кафедры огневой подготовки. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России

E-mail: meln78@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2623-397.

Bucharin Sergey Vasilievich. Professor of the chair of information technologies of modelling and management.

Voronezh State Technological Academy. Doctor of technical sciences, professor.

Work address: Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

Melnikov Alexander Vladimirovich. Senior lecturer of the chair of range practice. Candidate of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2623-397.

Ключевые слова к статье: нечеткие множества; объект экспертизы; ERP-система; мультипликативная модель «цена — качество».

Key words: fuzzy sets; expert examination object; ERP-system; “price-quality” multiplicative model.

УДК 657



А.Н. Голубинский,
доктор технических наук

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

DETECTION OF AN EMOTIONAL STATE OF A PERSON BY A SPEECH SIGNAL ON THE WAVELET ANALYSIS BASIS

Предложен способ выявления эмоционального состояния человека по речевому сигналу при использовании непрерывного вейвлет-преобразования. Сформулированы практические рекомендации по быстрому вычислению непрерывного вейвлет-преобразования речевого сигнала.

The approach of detection of an emotional person's state by a speech signal with using the continuous wavelet transform is developed. The practical guidelines on fast computation of the continuous wavelet transform of a speech signal are formulated.

В настоящее время оценка эмоционального состояния человека с помощью аппаратно-программных средств является актуальной задачей. Автоматическая и объективная диагностика эмоционального состояния человека по его речи представляет большой практический интерес [1], например, в криминалистике, медицине, системах контроля и управления доступом и др.

Однако оценка эмоционального состояния по параметрам устной речи является весьма сложной задачей, как в плане математической формализации задачи, так и в способах чёткой конкретизации эмоционального состояния — однозначного детектирования эмоции по речевому сигналу.

Эмоции (франц. *émotion* — волнение, от лат. *emoveo* — потрясаю, волную) — реакции человека и животных на воздействие внутренних и внешних раздражителей, имеющие ярко выраженную субъективную окраску и охватывающие все виды чувствительности и переживаний.

Приведём одну из классификаций основных видов эмоциональных состояний человека [2]: удовольствие, гнев (ярость), расслабленность, удивление, презрение, стыд, тревога, отвращение, интерес, недовольство, возбуждение, страдание, радость, страх, спокойствие, вина, напряжение. Наиболее часто на практике пользуются упрощённой классификацией видов эмоций, например [2]: депрессия, тоска, печаль, норма, радость, страх, гнев.

Для конструктивного решения задачи о распознавании эмоций по голосу необходимо количественно охарактеризовать речевой сигнал, и выделить существенные параметры, отвечающие за эмоциональное состояние человека. Как правило, используют следующие численные характеристики для эмоциональной речи [2,3]:

- громкость (интенсивность) речевого сигнала;
- частоты первых трёх формант и их среднеквадратичные отклонения (СКО) (характеристики интегрального спектра);
- частота основного тона (ЧОТ) и его СКО;
- изменение темпа речи (растяжение-сжатие речевого сигнала во времени).

Приведём таблицу, в которой указаны вариации численных характеристик на качественном уровне для ряда эмоциональных состояний [3]. Высокие значения соответствуют «активным» эмоциям — радости, страху, гневу, а низкие значения — «пассивным» эмоциям — депрессии, тоске, печали.

Соответствие между просодическими особенностями речи и эмоциональным состоянием диктора

Категория эмоции	Значения (относительно нормы)			
	Интенсивность	Темп	ЧОТ	СКО ЧОТ
Норма	норма	норма	норма	норма
Депрессия	низкие	низкие	низкие	низкие
Тоска	низкие	низкие	низкие	низкие
Печаль	низкие	низкие	низкие	низкие
Радость	высокие	высокие	высокие	высокие
Страх	высокие	высокие	высокие	высокие
Гнев (ярость)	высокие	высокие	высокие	высокие

Однако, как правило, не принимаются во внимание значения энергетического спектра на формантных частотах. Практически не используется информация о состоянии голоса, заключающаяся в таких характеристиках, как:

- амплитуды гармоник несущего колебания (на частоте основного тона и обертонов);
- модуляция основного тона по частоте (джиттер);
- модуляция основного тона по интенсивности (шиммер);
- модуляция несущего колебания по амплитуде (изменение громкости во времени).

Дополнительные трудности при обработке речи с целью выявления эмоций вызывает отсутствие подходов, основанных на использовании адекватной математической модели речевого сигнала. Данная ситуация, обусловлена, прежде всего, сложностью речевого сигнала, где, например, для вокализованного сегмента, одновременно присутствует сложное несущее колебание, промодулированное по амплитуде и частоте также сложными колебаниями [4,5].

В последнее время предлагается ряд направлений и способов, способствующих решению задачи определения эмоционального состояния по речевому сигналу [2,6,7]. Перспективным математическим аппаратом в этом плане является непрерывный вейвлет-анализ, позволяющий вычислить частотно-временные характеристики речевого сигнала с удовлетворительным разрешением по времени и частоте, выявив существенные особенности в анализируемом сложном нестационарном сигнале.

В некоторых литературных источниках [8,9] приводятся сведения об удовлетворительных результатах работы компьютерного детектора эмоций, основанного на использовании вейвлет-преобразования. Однако, как правило, нигде не указывается такая необходимая для обработки речевого сигнала информация, как:

1. Какой материнский вейвлет использовался (в том числе обоснование выбора вейвлета)?
2. Какие были параметры материнского вейвлета (их сравнительный анализ)?
3. Какой алгоритм применялся для вычисления вейвлет-преобразования (т.к. прямое вычисление интеграла вейвлет-преобразования не позволяет обрабатывать речевой сигнал в реальном масштабе времени)?
4. Какие параметры вейвлет-преобразования следует использовать в качестве существенных, адекватно характеризующих вид эмоционального состояния?
5. Какая мера различимости использовалась для принятия решения о виде эмоционального состояния?
6. Каким образом вычислить порог принятия решения о соответствии конкретному виду эмоционального состояния?

Данная информация, разумеется, является «ноу-хау» разработчиков программно-аппаратных средств, что в итоге, к сожалению, не позволяет оценить потенциальную надёжность и адекватность математических моделей, используемых при разработке заявляемых систем эмоционального детектирования.

Следует отметить, что каждый из приведённых выше вопросов является самостоятельной научной задачей и требует решения и детального анализа.

В связи с этим математическая формализация и решение задач, способствующих выявлению эмоционального состояния говорящего, несомненно, актуальны.

Цель работы — разработка способа выявления эмоционального состояния человека по речевому сигналу при использовании непрерывного вейвлет-анализа.

Информация об эмоциональном состоянии человека заключается в характеристиках, описывающих сложное нестационарное колебание — речевой сигнал. Следовательно, для выявления эмоционального состояния диктора необходимо анализировать динамические характеристики речевого сигнала. Из акустической теории речеобразования известно [10], что речевой сигнал является результатом прохождения сигнала от генератора (голосовых связок) через резонатор сложной формы (речевой тракт) с последующим излучением во внешнее пространство. Таким образом, информация о голосовом источнике (в т.ч. индивидуальных особенностях голоса, эмоциональном состоянии и др.) заключается в изменении во времени:

- амплитуд спектральных составляющих (амплитудного спектра);
- частоты основного тона;
- обертонов.

Основной проблемой при решении задачи о выявлении эмоций по голосу является выделение существенных параметров, адекватно описывающих эмоциональное состояние человека. Решение этой задачи может основываться на регистрации изменений спектра речевого сигнала во времени, т.е. с использованием частотно-временного анализа.

Преимуществом вейвлет-анализа перед кратковременным преобразованием Фурье является переменное значение временного и частотного «окон», что позволяет осуществлять более точный частотно-временной анализ для малых по длительности высокочастотных составляющих и больших по длительности низкочастотных составляющих речевого сигнала.

Таким образом, одним из эффективных альтернативных методов частотно-временного анализа является непрерывное вейвлет-преобразование, позволяющее проводить анализ на произвольно выбираемых частотах с корректировкой размера окна преобразования под каждую анализируемую частоту.

Отметим, что непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) имеет преимущество перед дискретным в виде возможности получения характеристик и параметров в аналитическом виде, что позволяет получать аналитические выражения для практической оценки существенных параметров [11]. Также некоторые материнские вейвлеты непрерывного вейвлет-преобразования в ряде случаев непосредственно соответствуют конкретному физическому процессу, что определяет потенциально более высокую точность описания относительно дискретного вейвлет-анализа. Например, человеческое ухо устроено так, что при обработке звукового сигнала результирующее преобразование сигнала будет с точностью до константы совпадать с вейвлет-преобразованием [8], при этом в качестве материнского вейвлета целесообразно использовать вейвлет Морле, поскольку частотно-временные характеристики данной функции аналогичны характеристикам базилярной мембраны.

К преимуществу вейвлета Морле следует отнести наличие параметров σ (параметр масштаба, влияющий на ширину окна) и ξ (доминантная частота, позволяющая варьировать избирательность базиса), варьируя которые, можно добиться: 1) приемлемой ширины для частотного и временного окон (параметр σ); 2) высокой точности аппроксимации, используя небольшое количество коэффициентов вейвлет-преобразования — вследствие «резонанса» сигнала с вейвлетом (параметр ξ).

Исходя из физической модели процесса речеобразования речевой сигнал представляет собой сложный квазипериодический сигнал, генерируемый голосовыми связками, который прошел через резонатор сложной формы в виде речевого тракта. Поэтому представляет научный интерес рассмотреть такую математическую модель речевого сигнала, где будут учтены вариации частоты основного тона, сложная структура несущего колебания, а также изменение во времени интенсивности звука.

Следует отметить, что наиболее важный вклад в характеристики, описывающие эмоциональное состояние человека, вносят вокализованные сегменты речи [2,3,6]. Таким образом, для выявления эмоционального состояния говорящего рассмотрим следующую математическую модель речевого сигнала:

$$u(t) = \sum_{k=0}^K M_k \cos(2\pi k F_0 t + \Phi_k) \sum_{l=1}^L U_l \cos \left(2\pi l f_0 t + l \cdot \sum_{p=1}^P m_p \sin(2\pi p F_0 t + \psi_p) + \varphi_l \right), \quad (1)$$

где M_k и m_p — соответственно глубина амплитудной модуляции k -й гармоники и индекс частотной модуляции p -й гармоники модулирующих колебаний; F_0 — наименьшая частота модулирующих колебаний; U_l — амплитуда l -й гармоники несущего колебания; f_0 — значение ЧОТ при отсутствии естественных вариаций; Φ_k , ψ_p и φ_l — соответственно начальные фазы модулирующих по амплитуде, модулирующих по частоте и несущих гармоник; $(K+1)$, P и L — количество модулирующих по амплитуде, модулирующих по частоте и несущих гармоник соответственно.

Исследования показали, что частота основного тона в пределах одного вокализованного звука изменяется во времени по квазигармоническому закону (с наличием максимума примерно в середине временного интервала). Таким образом, в первом при-

ближении, будем считать, что вариация ЧОТ в модели с амплитудно-частотной модуляцией (АЧМ) с полигармонической несущей (ПГН) описывается по гармоническому закону. Тогда при $P=1$, модель (1) упростится, принимая вид:

$$u(t) = \sum_{k=0}^K M_k \cos(2\pi k F_0 t + \Phi_k) \sum_{l=1}^L U_l \cos(2\pi l f_0 t + l \cdot m_1 \sin(2\pi F_0 t + \psi_0) + \varphi_l). \quad (2)$$

Для обеспечения условия наличия максимума в середине временного интервала:

$$f_0(t) = \frac{\omega_0(t)}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Psi_1(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_0 t + m_1 \sin(2\pi F_0 t + \psi_0) + \varphi_l] = f_0 + m_1 \cdot F_0 \sin(2\pi F_0 t),$$

следует положить значение $\psi_0 = -\pi/2$, в результате выражение (2) примет вид:

$$u(t) = \sum_{k=0}^K M_k \cos(2\pi k F_0 t + \Phi_k) \sum_{l=1}^L U_l \cos(2\pi l f_0 t - l \cdot m_1 \cos[2\pi F_0 t] + \varphi_l). \quad (3)$$

НВП сигнала $f(t)$ осуществляется путём свёртки [11]:

$$W_u(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot \psi_{a,b}(t) dt = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (4)$$

где a — масштаб (безразмерная величина, обратно пропорциональная частоте); b — координаты сдвига (размерность времени); двухпараметрическая вейвлетная функция:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right), \quad (5)$$

здесь $\psi(t)$ — материнский вейвлет, который должен удовлетворять условиям:

1) временной и частотной локализации;

2) нулевого среднего (для выполнения условия допустимости): $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$;

3) ограниченности: $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty$.

Также для удобства анализа вводят дополнительное условие:

4) единичной нормы: $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \cdot \psi^*(t) dt = 1$.

Вейвлет Морле, в общем случае, задаётся выражением:

$$\psi(t) = \frac{e^{j\xi t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{\xi^2 \sigma^2}{2}} \cdot \frac{t^2}{2\sigma^2}}{\sqrt{\sigma} \sqrt[4]{\pi} \sqrt{1 + e^{-\xi^2 \sigma^2} - 2 \cdot e^{-\frac{3\xi^2 \sigma^2}{4}}}}, \quad (6)$$

однако на практике условие нулевого среднего с высокой точностью (значение которого не превышает 10^{-3}) выполняется при $\xi > 4$, в результате упрощённый материнский вейвлет Морле [12]

$$\psi(t) \approx \frac{1}{\sqrt{\sigma} \sqrt[4]{\pi}} e^{j\xi t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}. \quad (7)$$

С учётом (7) НВП (4) для вейвлета Морле приобретает вид:

$$W_u(a, b) = \frac{1}{\sqrt{\sigma} \sqrt[4]{\pi} \sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot \exp\left(-\frac{(t-b)^2}{2\sigma^2 a^2} - j\xi \frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (8)$$

Для вычисления НВП от математической модели (2) представим её в следующем виде, используя разложение в ряд по функциям Бесселя:

$$u(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^K M_k \sum_{l=1}^L U_l \{ J_0(lm_1) \cdot [\cos(2\pi[l f_0 + k F_0]t + \varphi_l + \Phi_k) + \cos(2\pi[l f_0 - k F_0]t + \varphi_l - \Phi_k)] + \\ + \sum_{r=1}^{\infty} J_r(lm_1) \cdot [\cos(2\pi[l f_0 + (r+k)F_0]t + \varphi_l + r\psi_0 + \Phi_k) + \cos(2\pi[l f_0 + (r-k)F_0]t + \varphi_l + r\psi_0 - \Phi_k) + \\ + (-1)^r \cdot \cos(2\pi[l f_0 - (r-k)F_0]t + \varphi_l - [r\psi_0 + \Phi_k]) + (-1)^r \cdot \cos(2\pi[l f_0 - (r+k)F_0]t + \varphi_l - [r\psi_0 + \Phi_k])] \}. \quad (9)$$

Вычисляя для модели АЧМ ПГН (2) НВП по формуле (8) и используя свойство линейности, получим следующее выражение:

$$W_u(a, b) = \frac{\sqrt[4]{\pi} \sqrt{2\sigma a}}{4} \sum_{k=0}^K M_k \sum_{l=1}^L U_l \{ J_0(lm_1) \cdot [\Lambda(2\pi[l f_0 + k F_0], [\varphi_l + \Phi_k]) + \Lambda(2\pi[l f_0 - k F_0], [\varphi_l - \Phi_k])] + \\ + \sum_{r=1}^R J_r(lm_1) \cdot [\Lambda(2\pi[l f_0 + (r+k)F_0], [\varphi_l + r\psi_0 + \Phi_k]) + \Lambda(2\pi[l f_0 + (r-k)F_0], [\varphi_l + r\psi_0 - \Phi_k]) + \\ + (-1)^r \cdot \Lambda(2\pi[l f_0 - (r-k)F_0], [\varphi_l - (r\psi_0 + \Phi_k)]) + (-1)^r \cdot \Lambda(2\pi[l f_0 - (r+k)F_0], [\varphi_l - (r\psi_0 + \Phi_k)])] \}, \quad (10)$$

где функция

$$\Lambda(\omega, \psi) = \exp\left(-\frac{\sigma^2[\xi + a\omega]^2}{2} - j b \omega - j \psi\right) + \exp\left(-\frac{\sigma^2[\xi - a\omega]^2}{2} + j b \omega + j \psi\right). \quad (11)$$

В области положительных значений a первое слагаемое в (11) пренебрежимо мало, т.е.:

$$\Lambda(\omega, \psi) \approx \exp\left(-\frac{\sigma^2[\xi - a\omega]^2}{2} + j b \omega + j \psi\right). \quad (12)$$

Так как при $r > R$ спектральные составляющие сильно убывают, то в выражении (10) значение R можно оценить:

$$R = \lfloor lm_1 + 1 \rfloor, \quad (13)$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ — целая часть числа.

В качестве примера приведём рис. 1, на котором показан локальный спектр (скалограмма) НВП $E_u(a, b) = |W_u(a, b)|^2$, построенный в логарифмическом масштабе $E_{\text{дБ}u}(a, b) = 10 \cdot \lg(E_u(a, b) / \max[E_u(a, b)])$ для математической модели АЧМ ПГН (2) при параметрах: $f_0 = 100$ Гц; $U_1 = 1$; $U_2 = 1$; $U_3 = 1$; $\varphi_l = 0$; $F_0 = 1$ Гц; $M_0 = 0,734$; $M_1 = 0,1$; $M_2 = -0,1$; $M_3 = -0,1$; $M_4 = -0,1$; $M_1 = 0,9$; $\Phi_k = 0$; $m_1 = 10$; $\psi_0 = -\pi/2$; $\Delta = 1,25 \cdot 10^{-4}$ с. Для расчётов были приняты значения параметров вейвлета Морле: $\sigma = 1$, $\xi = 5$.

Как видно из рис. 1, в спектре присутствуют максимумы (белые области) на масштабах a_0, a_1, a_2 , соответствующих частотам первых трёх гармоник ($f_0; f_1 \approx 2f_0; f_2 \approx 3f_0$).

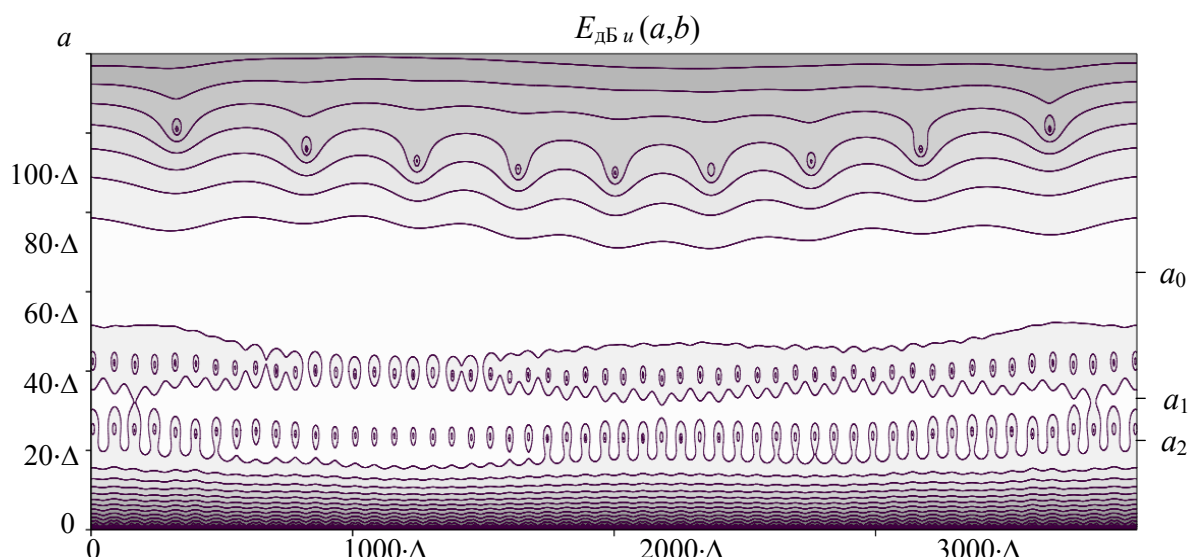


Рис. 1. Локальный спектр НВП математической модели АЧМ ПГН

На практике стоит задача обработки речевого сигнала, заданного набором отсчётов $x_i = x(t_i)$, $i \in \overline{1, N}$, где N — количество отсчётов. Непосредственное вычисление интеграла НВП $W_x(a, b)$ численными методами, помимо проблемы сходимости для малых значений a , требует достаточно больших машинно-временных ресурсов.

Для практической обработки речевого сигнала с целью выявления эмоционального состояния необходимо использовать быстрые алгоритмы, позволяющие проводить вычисления с приемлемой для решаемой задачи скоростью.

В настоящей работе для быстрого вычисления НВП речевого сигнала использовался алгоритм, который основывается на выражении, следующем из равенства Парсеваля [12]:

$$W_x(a, b) = \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \cdot \Psi^*(a \cdot \omega) \cdot e^{j\omega b} d\omega, \quad (14)$$

где $X(\omega)$ и $\Psi(\omega)$ — соответственно преобразование Фурье от $x(t)$ и $\psi(t)$. Выражение (14) для дискретных значений:

$$\begin{aligned} a_m &= a_{\min} + \Delta a \cdot m, & m &= 0, 1, \dots, (N_a - 1); & \Delta a &= (a_{\max} - a_{\min}) / (N_a - 1); \\ b_n &= b_{\min} + \Delta b \cdot n, & n &= 0, 1, \dots, (N_b - 1); & \Delta b &= (b_{\max} - b_{\min}) / (N_b - 1), \end{aligned} \quad (15)$$

принимает вид:

$$W_x(m, n) = \frac{\sqrt{a_m}}{2\pi} \sum_{k=0}^{N-1} \dot{C}_k \cdot \Psi_{\omega}^*(k, m) \cdot e^{\frac{j2\pi \cdot n \cdot k}{N}}, \quad (16)$$

где $\dot{C}_k$ — коэффициенты дискретного преобразования Фурье (ДПФ) для отсчётов x_i , которые можно вычислить на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Выражение (16) определяет алгоритм расчёта НВП, в котором обратное ДПФ от произведения $(\dot{C}_k \cdot \Psi_{\omega}^*(k, m))$ вычисляется с помощью процедуры БПФ.

Для вейвлета Морле (7), преобразование Фурье:

$$\Psi(\omega) = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot \exp\left(-\frac{\sigma^2(\xi - \omega \cdot a)^2}{2}\right); \quad (17)$$

таким образом, функция:

$$\Psi_{\omega}(k, m) = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2} \left(\xi - \frac{2\pi \cdot k \cdot a_m}{N \cdot \Delta}\right)^2\right), \quad (18)$$

где $\Delta=1/f_d$ и f_d — шаг и частота дискретизации соответственно.

На рис. 2 и 3 приведены локальные спектры НВП $E_x(a, b) = |W_x(a, b)|^2$ для речевого сигнала в виде парольной фразы «код» соответственно голосом в эмоциональных состояниях «норма» и «радость». При этом $f_d=8000$ Гц; длительность фразы $\tau_{\text{и}}=0,5$ с ($N=4000$).

Из сравнения графиков на рис. 2 и 3 видно, что при эмоции «радость» ЧОТ и обертона имеют бóльшие значения ($f_0 \approx (\xi + \sqrt{\xi^2 + 2\sigma^{-2}})/(4\pi \cdot a_{\text{max}0})$; из рис. 3: $a_{\text{max}0} \approx 24 \cdot \Delta$; $f_0 \approx 270,5$ Гц) относительно эмоции «норма» (из рис. 2: $a_{\text{max}0} \approx 39 \cdot \Delta$; $f_0 \approx 166,7$ Гц), также наблюдается ускорение темпа произношения.

Для детектирования эмоционального состояния предлагается использовать следующую меру различимости между локальными спектрами НВП:

$$\delta W_{p,q} = \frac{\sum_{m=0}^{N_a-1} \sum_{n=0}^{N_b-1} (E_{\text{дБ}p}(m, n) - E_{\text{дБ}q}(m, n))^2}{\sum_{m=0}^{N_a-1} \sum_{n=0}^{N_b-1} (E_{\text{дБ}0}(m, n))^2} \cdot 100\%, \quad (19)$$

здесь $p = \overline{1, P}$, где P — количество исследуемых реализаций речевого сигнала; $q = \overline{1, Q}$, где Q — количество видов эмоциональных состояний человека (в базе данных); $E_{\text{дБ}0}(m, n)$ — локальный спектр НВП в логарифмическом масштабе для эмоции «норма». Мера различимости (19), является относительно простой в плане вычислений, при этом обладая удовлетворительной точностью различения разных видов эмоционального состояния.

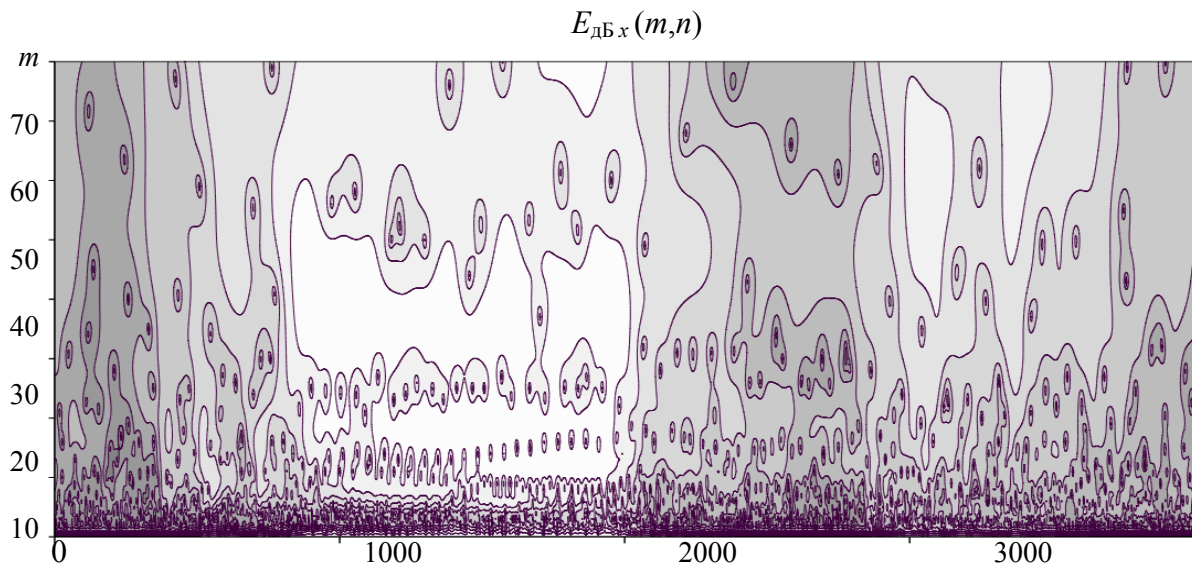


Рис. 2. Локальный спектр НВП речевого сигнала, эмоциональное состояние «норма»

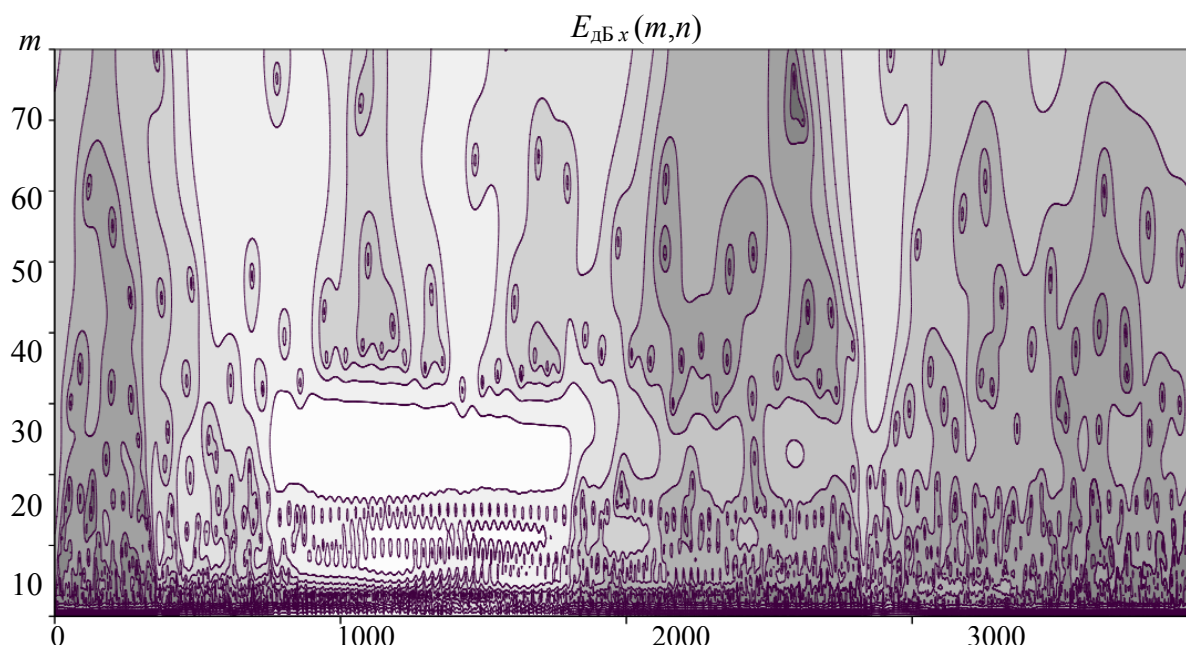


Рис. 3. Локальный спектр НВП речевого сигнала, эмоциональное состояние «радость»

Таким образом, разработан способ детектирования эмоционального состояния человека по речевому сигналу при использовании НВП. Приведена математическая модель речевого сигнала для данной задачи и рассчитано для неё НВП при использовании материнского вейвлета Морле. Даны практические рекомендации по быстрому вычислению НВП речевого сигнала, а также предложена мера различимости для выявления эмоционального состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.speetech.by/press/analytics/1>
2. Галунов В.И. О возможности определения эмоционального состояния по речи // Речевые технологии. — 2008. — № 1. — С. 60—66.
3. Фёдоров В.М., Рублёв Д.П., Юрков П.Ю. Влияние эмоционального состояния диктора на его речь // Проблемы современной схемотехники: сборник трудов Международной научно-технической конференции. — Таганрог, 2008. — С. 87—92.
4. Голубинский А.Н. К вопросу о физической интерпретации модели речевого сигнала в виде импульса АМ-колебания с несколькими несущими частотами // Вестник ВИ МВД России. — 2008. — № 2. — С. 84—90.
5. Булгаков О.М., Голубинский А.Н. Оценка частоты основного тона речевого сигнала методом максимального правдоподобия при известном распределении амплитуд и начальных фаз гармоник сложного несущего колебания // Вестник ВИ МВД России. — 2010. — № 2. — С. 154—162.
6. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Автоматическое определение изменений эмоционального состояния по речевому сигналу // Речевые технологии. — 2009. — № 3. — С. 60—76.

7. Давыдов А.Г., Киселёв В.В., Кочетков Д.С. Классификация эмоционального состояния диктора по голосу: Проблемы и решения // Труды международной конференции «Диалог 2011». — М.: РГГУ, 2011. — С. 178—185.

8. Горшков Ю.Г. Новые решения речевых технологий безопасности // Специальная техника. — 2006. — №4. — С. 1—13.

9. Фёдоров В.М., Юрков П.Ю. Распознавание эмоционального состояния человека по акустическим параметрам речи // Анализ разговорной русской речи: сборник трудов Третьего междисциплинарного семинара. — СПб.: СПИИРАН, 2009. — С. 17.

10. Фант Г. Акустическая теория речеобразования. — М.: Наука, 1964. — 284 с.

11. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлет-анализ и его приложения. — М.: Физматлит, 2003. — 176 с.

12. Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов. — М.: МФТИ, 2007. — 138 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ СТАТЬИ:

Голубинский Андрей Николаевич. Профессор кафедры радиотехники. Доктор технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: annikgol@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 247-64-72.

Golubinskiy Andrey Nikolaevich. Professor of the chair of Radio engineering. Doctor of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 247-64-72.

Ключевые слова к статье: речевой сигнал; вейвлет-анализ; непрерывное вейвлет-преобразование; основной тон; амплитуда и начальная фаза гармоник; несущее колебание; математическая модель.

Key words: speech signal; wavelet analysis; continuous wavelet transform; pitch, amplitude and initial phase of harmonic; carrying oscillation; mathematical model.

УДК 519.7:534.78:621.39



В.В. Меньших,
доктор физико-
математических наук,
профессор



О.В. Пьянков,
кандидат технических наук,
доцент



А.Ф. Самороковский,
кандидат технических наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ДЕЙСТВИЯМ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ

USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGY FOR TRAINING TO ACTIONS IN CRISIS SITUATIONS

В статье рассматривается возможность использования современных информационных технологий в процессе обучения курсантов, слушателей и сотрудников ОВД действиям в кризисных ситуациях. Предлагаются подходы к разработке специального программного и математического обеспечения, рассматривается методика проведения занятий.

In article possibility of use of modern information technology in the course cadets, listeners and Law-enforcement bodies employees training to actions in crisis situations is considered. Approaches to working out special program and software are offered, the technique of carrying out of employment is considered.

Введение.

В настоящее время особое значение имеет повышение профессиональной подготовленности сотрудников ОВД к действиям в кризисных ситуациях. Высокие показатели в служебно-боевой подготовке не являются гарантией эффективности действий личного состава подразделений ОВД в кризисных ситуациях, так как эта эффективность во многом обуславливается оптимальностью управленческих решений. Принятие управленческих решений происходит в условиях значительной неопределенности и зависит от большого числа факторов. Все кризисные ситуации уникальны и, следовательно, опыт действий в одной ситуации не может механически переноситься на новые условия.

Недостаток опыта принятия управленческих решений в этих условиях может быть восполнен в ходе проведения практических занятий в форме деловых игр в образовательных учреждениях МВД России (например, при обучении на курсах повышения квалифи-

кации) или командно-штабных учений в подразделениях ОВД с использованием современных информационных технологий. Одним из перспективных направлений использования современных информационных технологий является создание ситуационных центров.

Ситуационные центры представляют собой сложные высокотехнологичные комплексы, включающие в себя развитые системы информационно-аналитической поддержки, средства мультимедийного видеотображения информации и средства коллективной работы в режиме реального времени [1].

Для имитации кризисных ситуаций и действий сотрудников ОВД могут создаваться учебные ситуационные центры, на базе которых осуществляется анализ ситуаций, выбор управленческих решений, разработка планов действий, отработка взаимодействия привлекаемых сил и средств и оценка эффективности действий обучаемых или участников командно-штабных учений и тренировок.

Ситуационные центры, как правило, создаются на базе имеющегося инфокоммуникационного оборудования и настраиваются под решаемые задачи. Поэтому фактически создание учебного ситуационного центра предполагает создание специального математического и программного обеспечения, позволяющего решать задачи подготовки к выработке управленческих решений на основе моделирования кризисных ситуаций.

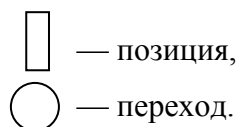
1. Моделирование кризисных ситуаций.

Причинами возникновения кризисных ситуаций могут быть события, происшедшие в социальной, техногенной сферах и природной среде, процессы и явления, существенно влияющие на жизнедеятельность людей, общества и государства и требующие принятия специальных мер по защите среды обитания, жизни, здоровья, прав и свобод граждан, материальных и иных ценностей от уничтожения, повреждения, хищения и по восстановлению нормальной работы различных объектов жизнеобеспечения.

В кризисные ситуации вовлекаются несколько взаимосвязанных элементов (например, правонарушители (преступники), силы и средства ОВД и др.). Обучение действиям при возникновении кризисных ситуаций должно происходить с учетом возможных вариантов развития кризисных ситуаций, определяющих процесс функционирования элементов. В процессе своего функционирования элементы воздействуют друг на друга, что приводит к изменению их состояний (например, отказ от выполнения требования по освобождению заложника и существование угрозы его жизни приводят к переходу группы захвата из состояния готовности в состояние проведения силовых действий по освобождению заложника).

Таким образом, можно считать, что в каждый момент времени каждый элемент, вовлеченный в кризисную ситуацию, находится в одном из возможных состояний. Следовательно, в основу разработки программ специального математического обеспечения, предназначенного для обучения действиям в кризисных ситуациях, следует положить модели, учитывающие смену состояний параллельно развивающихся взаимосвязанных процессов.

Удобным средством построения описанных моделей являются сети Петри [2]. Для иллюстрации используется графическое представление, в соответствии с которым сеть Петри обладает двумя типами узлов, соединенными дугами:



Позиции могут быть маркированными (содержащими фишки). Переход называется разрешенным, если каждая из его входных позиций имеет число фишек, по край-

ней мере, равное числу дуг из позиции в переход. Выполнение действия определяется как срабатывание переходов. Переход может сработать только в том случае, когда он разрешен. На рис. 1 показаны примеры сети Петри без фишек (а); с фишкой в одной входной позиции, при этом переход сработать не может и фишка остается в начальной позиции (б); с фишками в каждой входной позиции, при этом переход является разрешенным (в); после срабатывания разрешенного перехода (г).

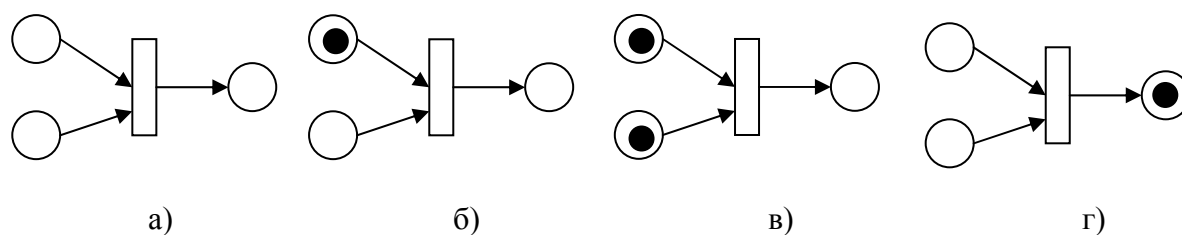


Рис. 1. Графическое представление работы сети Петри

В каждый момент времени, любое подразделение или орган управления находится в каком-либо состоянии, например, группа захвата может находиться в состоянии ожидания, готовности к выполнению задачи, выполнения поставленных задач и т. п. Переход из одного состояния в другое осуществляется в соответствии с приказами, распоряжениями, директивами и т.п. от вышестоящего руководства. После перехода в новое состояние руководитель подразделения докладывает о выполнении поставленной задачи (или невыполнении).

Указанные действия могут моделироваться с помощью сети Петри: состояния подразделений (функциональных групп), документы (приказы, распоряжения, директивы, отчеты о выполнении) соответствуют позициям сети Петри, а процесс смены состояний — переходам сети; наличие фишки в позиции моделирует текущее состояние подразделения (функциональной группы) или наличие документа.

Рассмотрим в качестве примера упрощенную модель действий группы проведения радиоконтрразведывательных и оперативно-технических мероприятий (ГР), созданной для выполнения задач в условиях чрезвычайных обстоятельств (рис. 2).

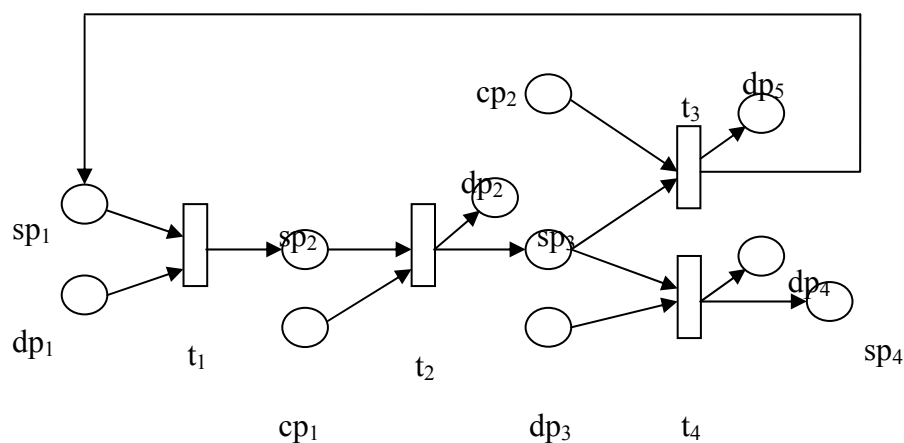


Рис. 2. Модель действий ГР

Описание позиций и переходов модели дано в таблице.

Описание элементов модели действий ГР

№ п.п.	Обозначение	Описание
1	sp_1	ГР ожидает постановку задачи.
2	sp_2	ГР проводит специальные мероприятия.
3	sp_3	ГР осуществляет контроль обстановки.
4	sp_4	ГР завершила работу.
5	cp_1	Установлены преступники и их сообщники.
6	cp_2	Контроль обстановки потерян.
7	dp_1	Задачи ГР.
8	dp_2	Доклад ГР о выполнении задачи.
9	dp_3	Приказ о завершении работы.
10	dp_4	Доклад о завершении работы.
11	dp_5	Доклад о потере контроля обстановки.
12	$t_1 - t_4$	Переходы, описывающие процесс смены состояний.

При имитации ситуации имеется возможность варьирования длительностями выполнения переходов $t_1 - t_4$, моментами изменения обстановки с помощью помещения фишек в позиции cp_1 и cp_2 .

Описанный подход позволяет симитировать работу всех функциональных групп, создаваемых при возникновении кризисной ситуации на основе создания специального математического и программного обеспечения. Рассмотрим, как при этом осуществляется обучение действиям сотрудников ОВД в кризисных ситуациях с использованием современных технологий.

2. Технологическая система обучения действиям в кризисных ситуациях.

При возникновении кризисной ситуации создается оперативный штаб (ОШ), осуществляющий управление привлекаемыми силами и средствами органов внутренних дел. Для обеспечения деятельности ОШ создается рабочий аппарат, состоящий из групп по направлениям деятельности. Основными задачами рабочего аппарата являются постоянный сбор, обобщение, анализ и предварительная оценка информации об обстановке, подготовка предложений в замысел решения руководителя ОШ, оформление решения, подготовка соответствующих проектов распорядительных документов ОШ. Работу ОШ организуют руководитель рабочего аппарата и его заместители, составляющие группу принятия решений.

Обучение действиям в кризисных ситуациях должно содержать отработку навыков действий в типовых ситуациях и развитие способностей принятия решений в нетиповых ситуациях. Поэтому должна обеспечиваться имитация обстановки как для типовых, так и для нетиповых ситуаций на основе использования специального математического и программного обеспечения. Это осуществляется группой «подыгрыша», в которую входят либо преподаватели, проводящие занятие в образовательных учреждениях, либо руководители командно-штабного учения или тренировки.

Таким образом, логическая схема технологической системы обучения действиям в кризисных ситуациях имеет вид, изображенный на рис. 3.

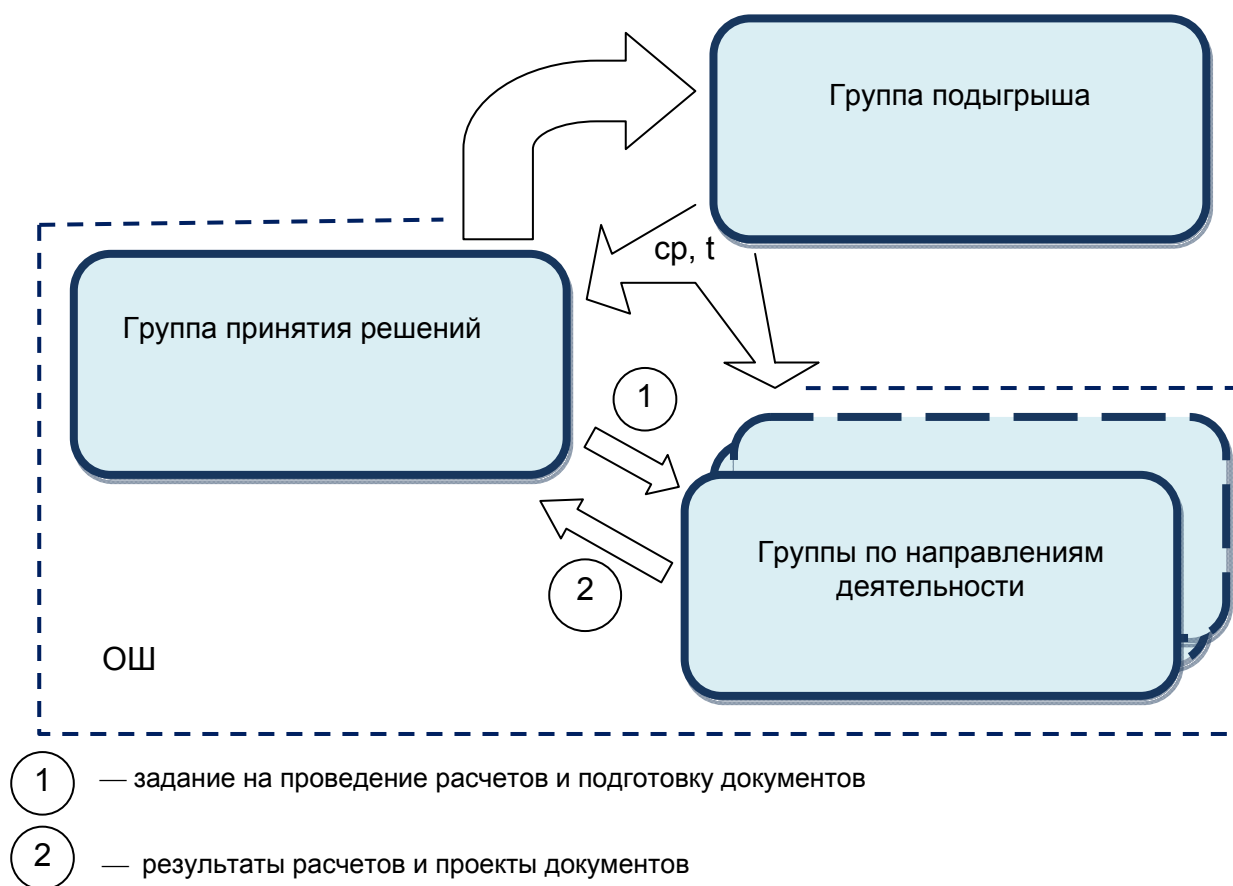


Рис. 3. Логическая схема технологической системы обучения

Из рисунка видно, что группа подыгрыша имитирует действия элементов, вовлеченных в кризисную ситуацию, доводит до оперативного штаба информацию об обстановке и ее последующих изменениях.

Группа принятия решений выдает задания группам по направлениям деятельности на проведение расчетов и подготовку проектов документов, принимает управленческие решения и сообщает о них группе подыгрыша.

Группы по направлениям деятельности осуществляют расчетно-аналитическую работу по подготовке управленческих решений.

В процессе обучения руководитель занятия распределяет роли среди обучаемых, ставит задачи, следит за ходом их выполнения и вносит коррективы в действия обучаемых. Обучаемые решают поставленные задачи, обусловленные их учебными ролями с фиксацией в имитационной среде, используют данные справочной системы и средств визуализации, отображающих текущее состояние решения задач. Следует отметить, что время на принятие решения ограничено, и среда имитации реализует модель решаемой задачи поливариантно на основе принимаемых или непринимавшихся решений. Таким образом, обучаемые действуют в реальном или вне реального масштаба времени.

Рассмотрим возможности использования современного инфокоммуникационного оборудования для реализации описанной технологической системы обучения.

3. Ситуационные центры обучения действиям в кризисных ситуациях.

Современное инфокоммуникационное оборудование и имеющиеся телекоммуникационные системы ОВД, как правило, позволяют осуществлять все виды информационных процессов (сбор, хранение, обработка, передача информации) [3].

Будем считать, что оборудование удовлетворяет следующим требованиям:

- позволяет организовать несколько специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ);
- обеспечивает возможность организации обмена информацией и передачи команд управления между АРМ с использованием различных инфокоммуникационных технологий;
- обеспечивает возможность оперативного доступа к информационным ресурсам;
- содержит коллективные устройства отображения информации.

Размещение специализированных АРМ целесообразно осуществлять в соответствии с описанной выше технологической системой обучения (рис. 4).



Рис. 4. Структура учебного ситуационного центра

Закключение.

Современные информационные технологии позволяют реализовывать динамические модели конкретных кризисных ситуаций, включающих описания элементов, вовлеченных в эти ситуации, реализацию воздействий, приводящих к изменению состояний элементов.

Существующее инфокоммуникационное оборудование позволяет создавать ситуационные центры, включающие автоматизированные рабочие места должностных лиц оперативного штаба, создаваемого при возникновении кризисной ситуации.

На основе использования ситуационного центра возможна организация обучения действиям в кризисной ситуации, при котором описанная выше модель обеспечивает имитацию ситуации в реальном и вне реального масштаба времени.

Описанный ситуационный центр может быть использован в ходе проведения практических занятий в форме деловых игр в образовательных учреждениях МВД России (например, при обучении на курсах повышения квалификации) или командно-штабных учений в подразделениях ОВД.

Это обеспечит более эффективное закрепление знаний, формирование умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности сотрудников органов внутренних дел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньших В.В. , Пьянков О.В., Щербакова И.В. Моделирование информационных систем центров ситуационного управления. — Воронеж: Научная книга, 2010. — 127 с.
2. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
3. Об утверждении новой редакции программы МВД России «Создание единой информационно-телекоммуникационной системы органов внутренних дел». Приказ МВД России от 20 мая 2008 г. № 435.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Меньших Валерий Владимирович. Начальник кафедры высшей математики. Доктор физико-математических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: menshikh@vmail.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 8 9155826446.

Пьянков Олег Викторович. Заместитель начальника кафедры инфокоммуникационных систем и технологий. Кандидат технических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: pyankovov@vimvd.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 8 9042103419.

Самороковский Андрей Федорович. Начальник кафедры тактико-специальной подготовки. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: samorokovskii_an@mail.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 8 9056561634

Menshikh Valery Vladimirovich. The chief of chair of high mathematics. Doctor of physical and mathematical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8 9155826446.

Pyankov Oleg Victorovich. The deputy chief of chair of infocommunication systems and technologies. Candidate of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8-904-210-34-19.

Samorokovskiy Andrey Fedorovich. Chief of the tactics and special training chair. Candidate of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

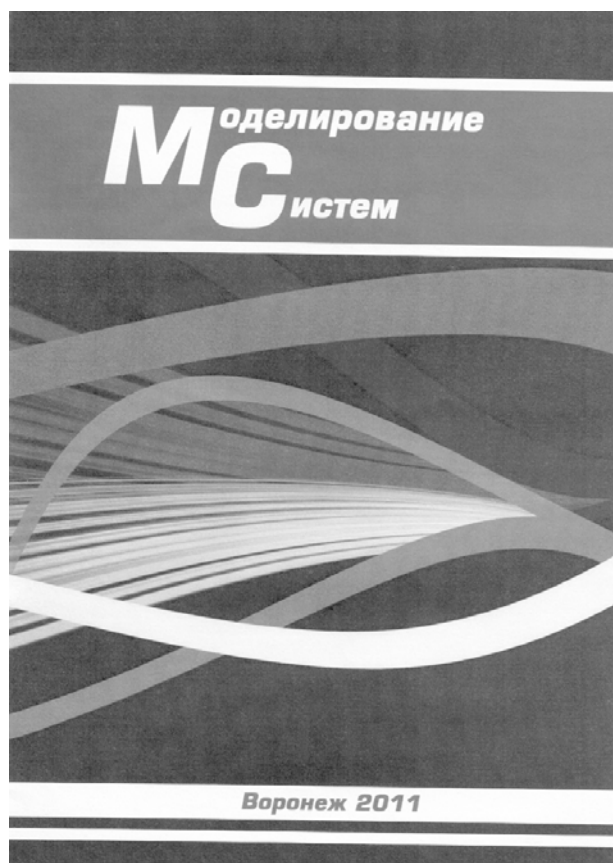
Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8 9056561634.

Ключевые слова к статье: кризисные ситуации; информационные технологии; сети Петри.

Key words: crisis situations; information technology; Petri networks.

УДК 517.9

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Моделирование систем: учебное пособие / В.И. Сумин [и др.]; под ред. В.И. Сумина. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 222 с.

Целью данного учебного пособия является формирование теоретических знаний, практических умений и навыков в области математического моделирования, основных понятий системного подхода как методологии исследования объектов, систем, процессов. Рассматриваются вопросы, связанные с понятием системного подхода в моделировании, основами математического моделирования, получением навыков формализации и алгоритмизации функционирования устройств и систем, освоением возможностей компьютерной техники для создания и реализации моделей, выработки навыков постановки и решения информационных задач, моделирования и анализа информации в служебной деятельности сотрудников ОВД. Предназначено для курсантов и слушателей, обучающихся по специальностям 090106.65 – Информационная безопасность телекоммуникационных систем и 230102.65 – Автоматизированные системы обработки информации и управления.



А.В. Мишин,
кандидат технических наук, доцент,
ЦФГОУВПО «Российская академия
правосудия», г. Воронеж



С.А. Мишин,
кандидат технических наук, доцент

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ЭКСПЕРТНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРАВОНАРУШЕНИЙ

THE CONSTRUCTION OF THE CRIME EXPERT QUALIFICATION PROCEDURE

Предложена процедура экспертной квалификации правонарушений, обеспечивающая сокращение трудоёмкости экспертного опроса за счёт уменьшения количества признаков в локальных теориях правонарушения и использования возможности вынесения заключений по ряду состояний без их непосредственной идентификации экспертом.

The crime expert qualification procedure providing reduction of expert poll laboriousness because of local crime theories indicators quantity reduction and use of possibility of the conclusions for a some situations without their direct expert identification is offered.

Введение. Наиболее часто встречающаяся профессиональная задача в повседневной деятельности сотрудников правоохранительных и правоприменительных органов — квалификация правонарушений. Данное обстоятельство свидетельствует об актуальности разработки и внедрения в процесс обучения, а также практическую деятельность сотрудников программных систем, обеспечивающих роль советчика по квалификации правонарушений. К настоящему времени наилучшие результаты решения подобных задач достигнуты в классе интеллектуальных систем — экспертных системах (ЭС) [1]. Вместе с тем, проблема эффективного извлечения знаний экспертов, несмотря на более чем тридцатилетний опыт создания ЭС, ещё далека от своего решения. В этой связи предлагаются постановка задачи экспертной квалификации правонарушений и общий подход к её решению, ориентированный на сокращение объёма работы с экспертами.

Постановка задачи. Основная задача экспертной квалификации правонарушений может быть сформулирована следующим образом.

Даны:

множество $C = \{c_1, c_2, \dots, c_L\}$ независимых свойств, характеризующих содержание правонарушения;

множество $M = \{m_1, m_2, \dots, m_M\}$ признаков правонарушения;

множество $Q_m = \{q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mn_m}\}$ возможных значений m -го признака, где n_m — число этих значений;

$A = Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_M$ — множество всех гипотетически возможных состояний правонарушения, при этом состояние $a_i \in A$ характеризуется вектором $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iM})$, где $a_{im} \in Q_m$ ($m = \overline{1, M}$).

Требуется: на основе знаний эксперта для каждого состояния из A идентифицировать наличие соответствующих свойств из множества C и тем самым построить классификацию множества $A = \bigcup_{l=0}^L K_l$ такую, что состояние $a_i \in A$ относится к классу K_l

(статье соответствующего кодекса), если субъект правонарушения в этом состоянии обладает (по мнению эксперта) свойством c_l .

К классу K_0 относятся при этом такие состояния, в которых субъект правонарушения не обладает ни одним из рассматриваемых свойств.

В зависимости от содержательных особенностей рассматриваемой задачи её постановки могут быть конкретизированы следующим образом:

1. Если правонарушение в каждом состоянии $a_i \in A$ может обладать несколькими свойствами из c_l , то результатом классификации будет покрытие множества A подмножествами $K_0, K_1, \dots, K_L$.

2. Если правонарушение в каждом состоянии $a_i \in A$ может обладать только одним из свойств множества C , то результатом классификации должно быть разбиение множества A на $L + 1$ класс.

Здесь операции покрытия и разбиения трактуются как традиционные операции над множествами [2].

Анализ задачи и подход к её решению. Заметим, что поставленная задача совпадает с задачей классификации, которая традиционно рассматривается в рамках теории распознавания образов [3—5]: каждый объект описывается совокупностью основных характеристик (признаков, свойств) $X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, где i -я координата вектора X определяет значения i -й характеристики, и дополнительной характеристикой S , которая указывает на принадлежность объекта к некоторому классу (образу). Набор заранее расклассифицированных объектов (у которых известны характеристики X и S) используется для обнаружения закономерных связей между значениями этих характеристик и называется *обучающей выборкой*. Те объекты, у которых характеристика S неизвестна, образуют *контрольную выборку*. Решающая функция, в соответствии с которой по значению контрольной выборки X устанавливается её принадлежность к одному из классов, т. е. указываются «наиболее правдоподобные» значения характеристики S для данного X , выбирается с учётом минимизации потерь, связанных с ошибками распознавания, а также других факторов.

Вместе с тем опыт использования аппарата теории распознавания выявил и его определённую ограниченность. Например, когда имеющийся эмпирический материал (обучающая выборка) явно недостаточен для построения надёжных алгоритмов клас-

сификации. Более того, для многих задач получение больших однородных выборок связано с принципиальными трудностями.

Для сокращения размерности решаемой задачи целесообразно воспользоваться категориальным подходом к построению формальной системы, позволяющей объединить локальные теории отдельных видов правонарушений в глобальную теорию их квалификации [6]. В частности, построив категории, объектами которой являются преступления, рассматриваемые с точки зрения их содержания, т.е. как совокупности свойств или отдельные свойства с точки зрения принятой в законодательстве классификации. Например, использовать принятую в УК классификацию преступлений: против личности (против жизни и здоровья; против свободы чести и достоинства; против половой неприкосновенности и половой свободы личности и т.д.); в сфере экономики (против собственности; в сфере экономической деятельности и т.д.), общественной безопасности и т.д.

Последующее сокращение объема работы с экспертами связано с организацией их опроса при построении локальных теорий отдельных видов правонарушений. Покажем, как можно добиться этого.

Воспользуемся гипотезой о различной степени характерности отдельных значений каждого признака для каждого свойства (класса), предложенной в [7]. Данная гипотеза предполагает, что по каждому признаку эксперт может упорядочить его значения по их характерности для соответствующего класса и этот порядок зависит от значений других признаков.

Формально это можно описать следующим образом. Упорядочение значений признака Q_m по их характерности для свойства c_l позволяет ввести на Q_m транзитивное и антирефлексивное бинарное отношение (линейный порядок) r_m^l , определяемое следующим образом: $(q_{ms}, q_{mt}) \in r_m^l$, если значение q_{ms} более характерно для свойства c_l , чем значение q_{mt} .

На основе этих отношений можно построить бинарные отношения доминирования по характерности для каждого свойства на множестве состояний объекта исследования, которые определяются следующим образом:

$$R_l = \{(a_s, a_t) \in A \times A \mid \forall m (a_{tm}, a_{sm}) \in r_m^l \ \& \ \exists m_0 \ 1 \leq m_0 \leq m, m = \overline{1, M}\}$$

такое, что $(a_{sm_0}, a_{tm_0}) \in r_{m_0}^l$, $l = \overline{1, L}$.

Естественно предположить, что если по некоторому состоянию эксперт определяет наличие у правонарушения какого-то свойства, то и состояние, описываемое набором значений признаков, не менее характерных для этого свойства, также обладает этим свойством, т. е.

$$(a_s \in K_l \ \& \ (a_t, a_s) \in R_l) \rightarrow (a_t \in K_l). \quad (1)$$

Отсюда следует, что если в некотором состоянии правонарушение не обладает каким-то свойством, то этим свойством не обладают и менее характерные для него состояния, т. е.

$$(a_t \notin K_l \ \& \ (a_t, a_s) \in R_l) \rightarrow (a_s \notin K_l). \quad (2)$$

Обозначим через $K = \{0, 1, \dots, L\}$ — множество номеров формируемых классов. Поставим в соответствие каждому состоянию $a_i \in A$ два множества: A_i^+ — множество номеров классов, принадлежащих состоянию a_i , и A_i^- — множество номеров классов, к

которым состояние a_i не может принадлежать (будем называть такие классы невозможными). Состояние будет считаться классифицированным, если

$$A_i^+ \cap A_i^- = \emptyset \text{ и } A_i^+ \cup A_i^- = K. \quad (3)$$

Обозначим через $A^0 \subset A$ подмножество всех классифицированных состояний. До начала экспертного опроса $\forall a_i \in A$ полагаем $A_i^+ = A_i^- = A^0 = \emptyset$. Процедура экспертного опроса заканчивается, когда $A = A^0$.

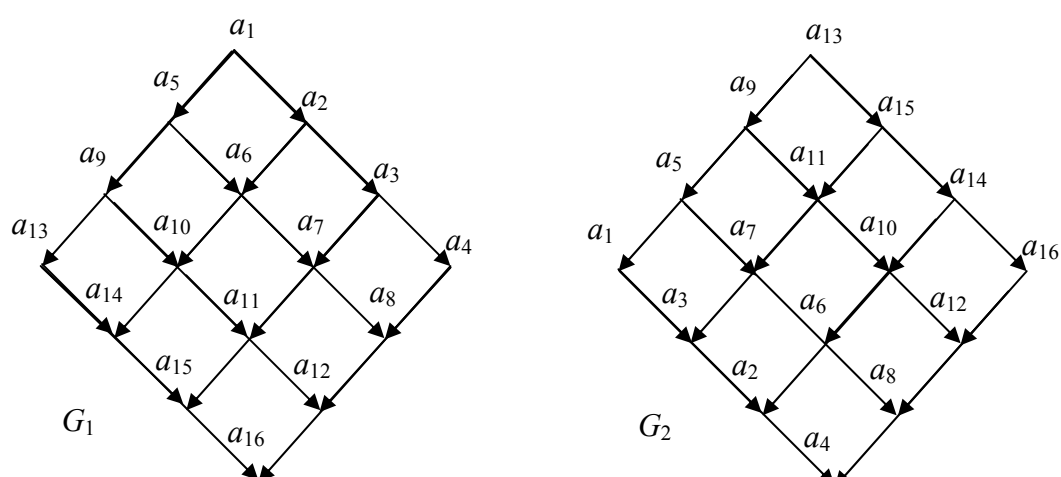
В ходе экспертного опроса выбирается очередное, предъявляемое эксперту состояние $a_i \in A \setminus A^0$. Эксперт выносит по этому состоянию заключение в виде перечня классов принадлежности (свойств правонарушения, находящегося в данном состоянии). Тем самым для данного состояния a_i явным образом определяется множество A_i^+ и неявным — множество $A_i^- = K \setminus A_i^+$. После этого состояние a_i считается классифицированным и $A^0 = A^0 \cup a_i$. Информация, полученная относительно состояния a_i , позволяет уменьшить неопределённость для ряда других состояний.

В задаче построения покрытия для каждого $l \in A_i^+$ определим подмножество $A_{il}^+ = \{a_j \in A \mid (a_j, a_i) \in R^l\}$ и для каждого $a_j \in A_{il}^+$ положим $A_j^+ = A_j^+ \cup l$. Если после этих операций в $A \setminus A^0$ найдутся состояния a_i , удовлетворяющие условию (3), то для всех таких состояний положим $A^0 = A^0 \cup a_i$.

Заметим, что на каждом этапе процедуры для тех состояний a_i , у которых $A_i^+ \neq \emptyset$, в множество A_i^- должен быть включен номер класса K^0 (это следует из определения нулевого класса). Если же существуют состояния, у которых $A_i^- = \{1, 2, \dots, L\}$, то для этих состояний следует положить $A_i^- = \{0\}$ и считать такие состояния классифицированными.

Работа подобной процедуры может быть представлена с помощью L ориентированных графов, соответствующих введённым бинарным отношениям доминирования по характеристности для каждого из диагностируемых свойств. Граф $G_l = \{A, R_l\}$ имеет в качестве вершин состояния из множества A , а дуги соединяют вершины (состояния) R_l и имеют направления от состояний, более характерных для свойства c_l к менее характерным для него состояниям.

На рисунке изображены два орграфа G_1 и G_2 для двух свойств c_1 и c_2 . В этом примере состояния характеризуются значениями двух признаков Q_1 и Q_2 : $a_1 = (q_{11}, q_{21})$, $a_2 = (q_{11}, q_{22})$, $a_3 = (q_{11}, q_{23})$, $a_4 = (q_{11}, q_{24})$, $a_5 = (q_{12}, q_{21})$, $a_6 = (q_{12}, q_{22})$, $a_7 = (q_{12}, q_{23})$, $a_8 = (q_{12}, q_{24})$, $a_9 = (q_{13}, q_{21})$, $a_{10} = (q_{13}, q_{22})$, $a_{11} = (q_{13}, q_{23})$, $a_{12} = (q_{13}, q_{24})$, $a_{13} = (q_{14}, q_{21})$, $a_{14} = (q_{14}, q_{22})$, $a_{15} = (q_{14}, q_{23})$, $a_{16} = (q_{14}, q_{24})$.

Орграфы двух свойств c_1 и c_2

В таблице содержатся номера значений признаков Q_1 и Q_2 в каждом из упорядочений по характеристности для свойств c_1 и c_2 , определяемых отношениями $r_1^1, r_2^1, r_1^2, r_2^2$.

Пусть на очередном шаге эксперту предъявляется состояние a_6 и он определяет, что $A_6^+ = \{1\}$, и, соответственно, $A_6^- = \{0, 2\}$. Сформируем множество состояний $A_{6l}^+ = \{a_j \in A \mid (a_j, a_6) \in R_l\}$. Из рисунка видно, что $A_{61}^+ = \{a_1, a_2, a_5\}$. Из условия (1) следует, что $A_1^+ = A_2^+ = A_5^+ = \{1\}$. Сформируем множество $A_{62}^- = \{a_j \in A \mid (a_6, a_j) \in R^2\} = \{a_2, a_4, a_8\}$. Из условия (2) следует, $A_4^- = A_8^- = \{2\}$, $A_2^- = \{0, 2\}$ и т.д.

Упорядоченные по характеристности для свойств c_1 и c_2 значения признаков Q_1 и Q_2

Значения признака Q_1	Упорядочения по характеристности для свойств		Значения признака Q_2	Упорядочения по характеристности для свойств	
	c_1	c_2		c_1	c_2
q_{11}	1	4	q_{21}	1	1
q_{12}	2	3	q_{22}	2	3
q_{13}	3	2	q_{23}	3	2
q_{14}	4	1	q_{24}	4	4

В задаче разбиения каждое состояние может принадлежать лишь одному классу, поэтому классификация экспертом одного состояния — $a_i \in K_L$ — приводит к классификации всех состояний a_j таких, что $(a_i, a_j) \in R_l$. Тогда из условия (2) следует, что для каждого $a_j \in A_{il}^+$ для всех $a_s \in A_{jt}^-$ ($t \neq l$) надо положить $A_s^- = A_s^- \cup t$.

Процедуру назначения невозможных классов для всех таких состояний можно сделать более эффективной, если для каждого свойства c_i ($i \neq 1$) выделить на подмножестве A_{il}^+ подмножество Парето по отношению R_i (т. е. подмножество π_{il} состояний,

недоминируемых по отношению R_i) и для каждого состояния $a_s \in A$, для которого $\exists a_j \in \pi_{it}$ такое, что $(a_j, a_s) \in R_i$ положить $A_s^- = A_s^- \cup t$.

Пусть в рассмотренном выше примере (рисунок) эксперт при оценке состояния a_6 определил, что $A_6^+ = \{1\}$, и, таким образом, $A_1^+ = A_2^+ = A_5^+ = \{1\}$. В начале разбиения отсюда следует, что $A_1^- = A_2^- = A_5^- = \{0, 2\}$. Сформируем множества A_{12}^- , A_{22}^- , A_{52}^- , A_{62}^- . Для всех состояний $a_j \in A_{12}^- \cup A_{22}^- \cup A_{52}^- \cup A_{62}^-$ из условия (2) следует, что $A_j^- = \{2\}$, т.е. $A_1^- = A_2^- = A_5^- = A_6^- = \{0, 2\}$ и $A_4^- = A_8^- = A_3^- = A_7^- = \{2\}$ и т.д.

Заметим, что в начале разбиения определённые выводы о возможных классах принадлежности ряда состояний могут быть сделаны ещё до начала экспертного опроса. Действительно, из условия $|K_1| \neq \emptyset$ и $|K_2| \neq \emptyset$ следует, что $A_1^+ = \{1\}$ и $A_{13}^+ = \{2\}$. Соответственно, в силу условия (2) для всех состояний $a_j \in A_{12}^-$ необходимо положить $A_j^- = \{2\}$, ($j = 2, 3, 4$), а для всех состояний $a_i \in A_{131}^-$ положить $A_i^- = \{1\}$, т.е. $A_{14}^- = A_{15}^- = A_{16}^- = \{1\}$.

Заключение. Непосредственной организации экспертного опроса должна предшествовать категориальная структуризация предметной области. Это позволит существенно уменьшить количество анализируемых признаков при построении локальных теорий правонарушения. Дополнительный эффект (в ходе экспертного опроса) можно получить за счёт использования возможности вынесения заключений по ряду состояний без их непосредственной идентификации экспертом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мишин А.В. Состояние и возможные направления применения экспертных систем в области права // Общество, право, правосудие: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч.: Ч. 2. — Воронеж: ООО Типография «ЛЮИ», 2010. — С. 405—411.
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. — СПб.: Питер, 2004. — 302 с.
3. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). — М.: Наука, 1974. — 416 с.
4. Фомин Я.А. Распознавание образов. Теория и применение. — М.: ФАЗИС, 2010. — 368 с.
5. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. — 270 с.
6. Мишин А.В. Аксиоматическое представление знаний о сложных предметных областях // Исследования по математическому анализу, математическому моделированию и информатике. — Владикавказ: Владикавказский научный центр РАН и РСО-А, 2007. — С. 287—293.
7. Выявление экспертных знаний (процедуры и реализация) / О.И. Ларичев [и др.]. — М.: Наука, 1989. — 128 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Мишин Александр Владимирович. Заведующий кафедрой правовой информатики, информационного права и естественнонаучных дисциплин. Кандидат технических наук, доцент.

Центральный филиал государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российская академия правосудия» (г. Воронеж).

E-mail: odpvo@mail.ru

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 95. Тел. (473) 2715-415.

Мишин Сергей Александрович. Старший преподаватель кафедры информационно-технического обеспечения ОВД. Кандидат технических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: samishin@bk.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2623-278.

Mishin Alexander Vladimirovich. Chief of the chair of the Legal informatics, information law and natural-science disciplines. Candidate of sciences (technics), assistant professor.

The central branch of the state educational institution of the professional higher education «Russian academy of justice» (Voronezh).

Work address: 394006, Voronezh, 20 Years of October Str., 95. Tel. (473) 2715-415.

Mishin Sergey Alexandrovich. Senior lecturer of the chair of Information-engineering supplying of the Law Enforcement Agencies. Candidate of sciences (technics), assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2623-278.

Ключевые слова к статье: выявление знаний, экспертная система, экспертный опрос, задача классификации.

Key words: revealing of knowledge; expert system; expert poll; classification problem.

УДК 681.3

ИНСТРУКЦИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

И. И. Иванов, П. П. Петров, С.С. Сидоров

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Настоящая инструкция одновременно является примером оформления статьи, подготовленной в «Вестник Воронежского института МВД России». В ней содержатся требования, предъявляемые к форматированию текста, оформлению библиографического описания, а также примеры составления ключевых слов и сведений об авторах¹.

Аннотация на английском языке²

1. Статья представляется в одном экземпляре, заверенном подписью автора(-ов) с обратной стороны первой страницы, отпечатанном на одной стороне листов формата А4 (210х297 мм) на лазерном принтере.

Статья должна быть снабжена аннотациями на русском и английском языках. К статье должна быть приложены сведения об авторах на русском и английском языках с указанием Ф.И.О., места работы (название организации в именительном падеже), занимаемой должности, учёной степени, учёного звания и полного почтового (служебного и домашнего) адреса (*пример см. ниже*), а также **адреса электронной почты**.

Статья должна быть снабжена фотографией автора(-ов) со следующими параметрами: формат — ***.tif**, разрешение не менее **200 dpi** (точек на дюйм), физический размер — **4,5 х 6 см**; иметь в названии файла фамилию автора, *например*: Ivanov.tif.

К статье также прилагается список ключевых слов на русском и английском языках, наиболее полно характеризующий её тематику (*пример см. ниже*). В соответствии с тематикой статьи автором указывается её **УДК**.

Предоставляемая электронная версия статьи в виде файла MS Word в формате ***.doc** должна соответствовать распечатке и включать вышеперечисленные сведения об авторе(-ах) и ключевые слова. Файл должен иметь в названии фамилию автора(-ов), *например*: Ivanov.doc, Ivanov-Petrov.doc.

К статье прилагаются следующие сопроводительные документы:

- 1) выписка из протокола заседания кафедры (при ее наличии по месту работы автора) с рекомендацией к опубликованию;
- 2) экспертное заключение об отсутствии сведений, запрещенных к опубликованию в открытой печати, заверенное гербовой печатью учреждения;
- 3) внешняя (по отношению к месту работы автора) рецензия, подготовленная специалистом, имеющим соответствующую научную квалификацию в данной области, заверенная в установленном порядке.

2. Объем статьи не должен превышать:

¹ Аннотация к статье на русском языке.

² Аннотация на английском языке составляется автором и приводится в обязательном порядке.

- по направлениям «Юриспруденция», «Профессиональная подготовка кадров для органов внутренних дел», «Психология, философия, история органов внутренних дел» — **12 стр.**;

- по направлениям «Радиотехника», «Информационная безопасность» — **9 стр.**

По направлениям «Радиотехника», «Информационные технологии и математическое моделирование» журнал не публикует статей, носящих преимущественно реферативный характер. Статьи обзорного характера могут предоставляться только после предварительного согласования с редакцией.

Статьи по направлениям «Радиотехника», «Информационные технологии и математическое моделирование» должны быть обязательно структурированы, отдельные разделы статей — иметь подзаголовки, в том числе:

- введение, в котором обосновывается актуальность работы (объемом до 1 стр.);
- разделы, в которых описываются полученные результаты и их новизна;
- заключение, содержащее выводы и / или направления дальнейших исследований (объемом до 0,5 страницы).

3. Все поля на страницах должны быть одинаковы и равны **25 мм**. Номера страниц не проставляются.

4. Статья должна быть набрана шрифтом нормальной жирности, прямого начертания гарнитуры Times New Roman и с одинарным межстрочным интерлиньяжем (интервалом). Абзацный отступ должен быть одинаков и равен **1,25 см**.

Кегль (размер) основного шрифта должен быть равен:

- для статей по направлениям «Юридические науки», «Гуманитарные науки», «Психология и педагогика» — **14 пунктов**;

- для статей по направлениям «Радиотехнические науки», «Информационная безопасность» — **12 пунктов** (в т.ч. — в формулах, подготовленных при помощи формульного редактора MS Equation).

5. Рисунки и таблицы (кегль используемого шрифта — **12 пунктов**) должны быть размещены в тексте после абзацев, содержащих ссылки на них.

Таблица 1

Заголовок таблицы

Боковик таблицы	Головка таблицы			
	Текст	Текст	Текст	Текст

Размещение таблиц, рисунков, диаграмм, схем и другого иллюстративного материала на страницах с альбомной (горизонтальной) ориентацией не допускается. **Графики, диаграммы не должны иметь сплошную (в т.ч. цветную) заливку.**

Размеры рисунков должны быть по возможности минимальны, но обеспечивать их дальнейшее качественное полиграфическое воспроизведение.

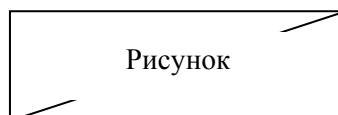


Рис. 1. Название рисунка

Отступ от рисунка до текста сверху и снизу должен быть равен 10 мм. Подрисуночная подпись ставится по центру страницы без абзацного отступа. Рисунки

должны выполняться средствами MS Word, иметь общую группировку всех объектов, входящих в него, быть центрированы относительно полосы набора.

6. Название статьи набирается на русском и английском языках **полужирным шрифтом ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ** без абзачного отступа и центрируется относительно полосы набора.

7. Единицы физических величин должны соответствовать системе единиц СИ. Названия химических элементов в тексте пишутся полностью.

8. Формулы подготавливаются при помощи формульного редактора MS Equation. Нумерация формул осуществляется арабскими цифрами в круглых скобках, выровненными по правому краю текста, *например*:

$$A = B + C : (2K^2 + n_3). \quad (1)$$

9. Нумерация ссылок на литературу осуществляется арабскими цифрами в квадратных скобках, *например*: «Как указано П.П. Петровым [2], данный эффект проявляется при ...».

10. Библиография должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.05.- 2008 «Библиографическая ссылка». Список использованной литературы, на которую ссылается автор, приводится в конце статьи (*см. пример ниже*). **Сноски (как внизу каждой страницы, так и в конце статьи) не допускаются.**

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.И. Физика. — М.: Наука, 1985. — 167 с. (*указывается автор, место издания, издательство, год выпуска, общее количество страниц в книге*).

2. Математика / под ред. П.П. Петрова. — М.: Высшая школа, 1993. — 125 с. (*указывается, под чьей редакцией осуществлён выпуск издания*).

3. Сидоров С.С., Антонов А.А. Проблемы воспитания несовершеннолетних // Милиция. — 1997. — № 2. — С.25—26. (*указываются авторы, название статьи, периодическое издание (журнал или газета), год выпуска и номер издания, номера страниц, где опубликован материал*).

4. Курс общей физики: учеб. пособие для студентов вузов. — 2-е изд., перераб. — Т. 1. Механика / под общ. ред. П.П. Попова. — М.: Наука, 1987. — 345 с. (*указываются вид многотомного издания и название отдельного тома*).

5. Ковалев К.К. Оборудование с пневмовакуумным приводом: дис. ... канд. техн. наук. — М., 1982. — 212 с. (*ссылка на диссертацию*).

6. Все о сжатии [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.compression.ru/> (дата обращения 20.11.09).

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СВЕДЕНИЙ ОБ АВТОРАХ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ(-АХ) СТАТЬИ³:

Иванов Иван Иванович. Профессор кафедры теоретической физики. Доктор физико-математических наук, доцент.

Воронежский государственный педагогический университет.

³ Оформляются на отдельном листе и включаются в состав основного файла. Не входит в объём статьи.

E-mail: aspo@vspu.ac.ru

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. Ленина, 86. Тел. (473) 2208-916.

Петров Петр Петрович. Доцент кафедры гражданского, трудового и финансового права. Кандидат юридических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: vorhmscl@comch.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2312-651.

Сидоров Сергей Сергеевич. Преподаватель кафедры организации деятельности подразделений вневедомственной охраны.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: vorhmscl@comch.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2476-472.

Ivanov Ivan Ivanovich. Professor of the chair of Theoretical Physics. Doctor of sciences (physics and mathematics), assistant professor.

Voronezh State Pedagogical University.

Work address: Russia, 394006, Voronezh, Lenin Str., 86. Tel. (473) 2208-916.

Petrov Pyotr Petrovich. Assistant professor of the chair of Civil, Labor and Financial Law. Candidate of sciences (jurisprudence / law), assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2312-651.

Sidorov Sergey Sergeyevich. Lecturer of the chair of Organization of Activity of Non-department Units.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2315-972.

Ключевые слова к статье: фазоманипулированный сигнал; мешающие сигналы; фазовый детектор; алгоритм обработки.

Key words: phase-manipulated signal; interfering signals; phase detector; processing algorithm.

УДК 517.9 (указывается автором).

Домашний почтовый адрес (полностью)⁴.

Подпись(-и), дата _____ «__» _____ 201__ г.

⁴ Сведения о домашнем адресе в «Вестнике» не публикуются.