



115-летию со дня рождения Н.Г. Четаева
и памяти академика АН РТ
Т.К. Сиразетдинова
посвящается

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, УСТОЙЧИВОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ

ТРУДЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ
ЧЕТАЕВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

Секция 4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ,
УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ

Казань, 13 – 17 июня 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия наук
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Национальный комитет по автоматическому управлению
Академия наук Республики Татарстан
Научный совет РАН по теории управляемых процессов и автоматизации
Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова
Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

*115-летию со дня рождения Н.Г. Четаева
и памяти академика АН РТ
Т.К. Сиразетдинова посвящается*

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, УСТОЙЧИВОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ

ТРУДЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ
ЧЕТАЕВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

Секция 4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ,
ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ

13 – 17 июня 2017 г.



Казань 2017

УДК 531.01 (063) + 531.391.5 (063) + 004 (063)

ББК 22.211 + 22.236.37 + 32.97

Ан 64

Ан 64 **Аналитическая механика, устойчивость и управление:**
труды XI Международной Четаевской конференции. Т. 4. Секция 4.
Компьютерные технологии в науке, образовании, управлении производством. Казань, 13 – 17 июня 2017 г. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2017.
348 с.

ISBN 978-5-7579-2234-8 (т. 4)

ISBN 978-5-7579-2227-0

Излагаются оригинальные методы компьютерного моделирования сложных динамических систем с приложениями в области образования, науки и производственных систем.

Доклады представляют интерес для научных работников, аспирантов и инженеров, специализирующихся в области компьютерных технологий.

УДК 531.01 (063) + 531.391.5 (063) + 004 (063)

ББК 22.211 + 22.236.37 + 32.97

Редакционная коллегия:

Васильев С.Н., академик РАН

Козлов В.В., академик РАН

Дегтярёв Г.Л., академик АН РТ, д.т.н., профессор

Емалетдинова Л.Ю., д.т.н., профессор

Сиразетдинов Р.Т., д.т.н., профессор

Ответственные секретари:

Хасанов А.Ю., к.т.н., доцент

Петрув И.В.

ISBN 978-5-7579-2234-8 (т. 4)

ISBN 978-5-7579-2227-0

© Авторы, перечисленные в содержании, 2017

© Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017

БЫСТРАЯ ОЦЕНКА ДЛИНЫ МАРШРУТА ПО МАТРИЦЕ ПРОХОДИМОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Р.А. Авхадиев (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: psilon@inbox.ru

QUICK ASSESSMENT OF THE LENGTH OF THE ROUTE IN THE GRAPH

R.A. Avkhadiev (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: logistics, shortest path search

Введение. В задачах логистического планирования в производстве часто встает вопрос выбора источника и получателя каких-либо ресурсов. Для этого необходимо знать длину маршрута между источником и получателем с учетом проходимости местности. Имеется достаточно много алгоритмов поиска кратчайшего маршрута в графе, однако они все имеют существенный недостаток: экспоненциальный рост времени работы при увеличении количества вершин графа и длины пути. Необходим алгоритм, который за короткое время позволит оценить длину маршрута.

Постановка задачи. Введем двухмерную систему координат (X, Y) с началом координат в точке с минимальными значениями географической широты и долготы рассматриваемой производственной площади.

Интересующая нас область пространства - это прямоугольник, ограниченный началом координат и точкой с максимальными значениями географической широты и долготы рассматриваемой производственной площади.

Для крупного машиностроительного предприятия, получится прямоугольник со сторонами в несколько километров

Разобьем рассматриваемый прямоугольник на ячейки размером 10 метров на 10 метров.

Присвоим каждой ячейке целочисленные координаты $[X, Y]$. Ячейка в начале координат будет иметь координаты $[0, 0]$, остальные ячейки будут иметь координаты [дистанция до начальной ячейки по оси X / 10 метров, дистанция до начальной ячейки по оси Y / 10 метров].

Каждая ячейка может иметь следующие метки:

1. Проходимая (по ней можно проехать в любое время без ограничений)
2. Непроходимая (по ней нельзя проехать никогда)

Требуется сформировать маршрут из ячейки A в ячейку B по проходимым ячейкам. При этом, чем короче будет маршрут - тем лучше.

Решение задачи.

Построение прямого маршрута.

Построим прямой маршрут из ячейки A в ячейку B , игнорируя препятствия. Алгоритм:

1. Определим текущую ячейку $C = A$
2. Рассчитаем угол α между векторами (C_x, C_y) (C_x, B_y) и (C_x, C_y) (B_x, B_y) . Это можно сделать через $\arctg(|B_x - C_x| / |B_y - C_y|)$, либо через псевдоскалярное произведение векторов (C_x, C_y) (C_x, B_y) и (C_x, C_y) (B_x, B_y) . В любом случае, эти вычисления займут значительное процессорное время, поэтому лучше сделать вычисления заранее и кешировать в двумерный массив. Размер массива будет составлять: $\max |B_x - A_x| * \max |B_y - A_y|$.

3. Зная угол α можно узнать ячейку C_N , в которую нужно сделать следующий “шаг” (в одну из 8 ячеек, смежных с C) в направлении B . Если $\alpha \in [22.5, 67.5]$, то смещение следующего шага относительно C будет составлять $(1,1)$, если $\alpha \in [67.5, 112.5]$ - то $(1,0)$, если $\alpha \in [112.5, 157.5]$ - то $(1,-1)$ и т.д.

4. Если $C_N = B$ - завершить алгоритм, в противном случае присвоить $C = C_N$ и перейти на Этап 2.

В результате получится прямой маршрут, представленный в виде списка ячеек. Если при построении этого маршрута не встретилось ни одного препятствия - наилучший маршрут найден. Если встретились - для дальнейшего построения маршрута нужно выполнить обход препятствий.

Обход препятствий.

При встрече с препятствием, построенный прямой маршрут нужно скорректировать для обхода данного препятствия. Требуется заменить “шаги” прямого маршрута, которые идут сквозь препятствие “шагами” в обход. Для этого используем следующий алгоритм:

1. Определим стартовую проходимую ячейку S , которая предшествовала столкновению с препятствием в построенном прямом маршруте. Если

такой ячейки нет (столкновение произошло на первом же шаге построения прямого маршрута) - используем в качестве стартовой ячейку А. Обозначим ячейку столкновения с препятствием - О.

2. Вычислим “угол столкновения” α . Это будет угол между векторами (S_x, S_y) (S_x, O_y) и (S_x, S_y) (O_x, O_y) . Вычисления произведем аналогично этапу 2 алгоритма 3.1.

3. Вычтем 45° из α . По полученному углу α определим смежную с S ячейку (аналогично этапу 2 алгоритма 3.1). Если эта ячейка проходима - делаем следующий “шаг” в нее. Если нет - снова вычитаем 45° из α и проверяем соответствующую смежную ячейку. И так до нахождения проходимой ячейки. Если α совершил полный оборот, но проходимая ячейка так и не найдена - маршрут построить невозможно - завершаем алгоритм.

4. Заменяем S на найденную на этапе 3 проходимую ячейку, запишем эту ячейку в скорректированный маршрут. Если выполнено условие необходимости “отрыва” от препятствия (рассмотрено ниже) - завершаем алгоритм. Если S приняло стартовое значение (то же, что на этапе 1), значит произошло закливание, обход препятствия невозможен, завершаем алгоритм.

5. Скорректируем угол α таким образом, чтобы “шаг” в его направлении снова вызывал столкновение с препятствием (это необходимо для избежания случайного “отрыва” от препятствия). Для этого прибавим 90° к α и проверим смежную с S ячейку в направлении α на проходимость. Если эта ячейка принадлежит препятствию, переходим к этапу 3. Если нет - снова прибавим 45° к α , и так до тех пор, пока ячейка препятствия не будет найдена (она будет найдена обязательно). После этого переходим к этапу 3.

В результате будет найден обход препятствия “с левой стороны”. Аналогично необходимо найти обход “с правой стороны”. Для этого нужно инвертировать знак операций с углом α (на этапе 3 - прибавлять, а на этапе 4 - вычитать). Из найденных обходов нужно выбрать кратчайший.

Если текущий “шаг” обхода совпадает с одной из ячеек прямого маршрута - завершить обход.

Оптимизация построенного маршрута.

Построенный маршрут будет иметь следующий недостаток: сначала он будет упираться в препятствие, а затем обходить его.

Лучше, если обход препятствия будет начинаться заранее.

Для такого улучшения построенного маршрута применим следующий алгоритм:

1. Определим стартовую ячейку С, равную первой ячейке построенного маршрута, а также проверяемую ячейку D, равную предпоследней ячейке построенного маршрута

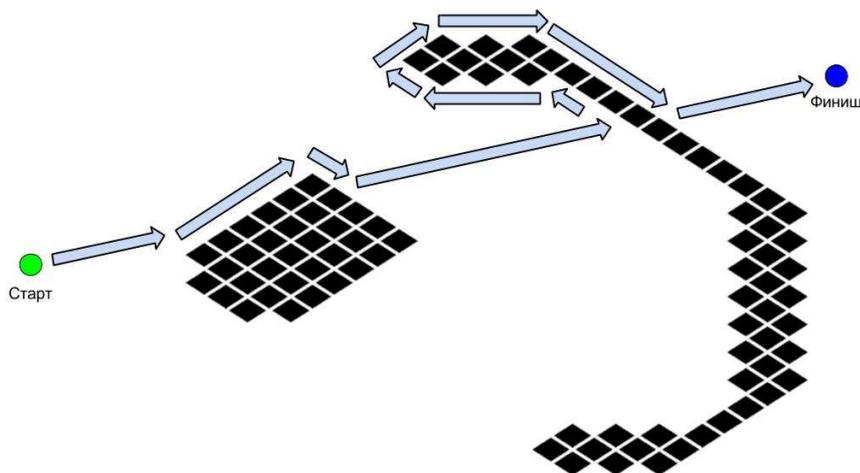


Рис 1. Построенный маршрут без постобработки (оптимизации)

2. Построим прямой маршрут от С до D

3. Если при построении маршрута не встретилось препятствий, то заменим часть построенного маршрута (от С до D) на прямой маршрут. Приравняем $C = D$, $D =$ предпоследняя ячейка построенного маршрута. Если $C = D$, завершим алгоритм, иначе перейдем к этапу 2

4. Приравняем $D =$ предшествующая ей ячейка маршрута (с индексом, меньше на 1). Если $C = D$, то приравняем $C =$ следующая ячейка маршрута (с индексом больше на 1). Если $C =$ предпоследняя ячейка маршрута, то завершим алгоритм.

5. Перейдем к этапу 2

Этот алгоритм позволяет “срезать углы” в построенном маршруте. В результате, получится маршрут вида:

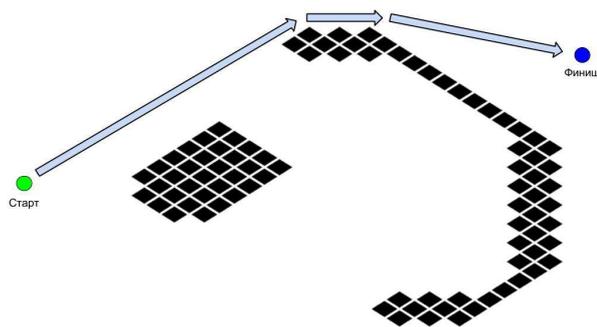


Рис 2. Оптимизированный маршрут

Данный алгоритм потребляет достаточно много процессорного времени (в среднем, 90% - 95% всего времени работы по построению итогового маршрута), поэтому его следует использовать с осторожностью. Возможные ускорения данного алгоритма:

– Проверять не все ячейки маршрута, а с некоторым шагом (на этапе 4 изменять индексы не на 1, а на некоторую целую величину >1)

– Анализировать не весь построенный маршрут, а только маршрут обхода одного текущего препятствия (сразу после построения обхода)

Эти изменения немного ухудшат построенный маршрут, но дадут существенный прирост производительности.

Сравнение алгоритмов

Для оценки эффективности и целесообразности использования нашего алгоритма последовательного обхода препятствий, сравним его с уже известными алгоритмами. Для сравнения возьмем самые популярные и эффективные в большинстве случаев алгоритмы:

- Алгоритм A star;
- Алгоритм Дейкстры;
- Алгоритм Левита.

Результаты для маршрутов 500-1000 метров

№	Алгоритм	Суммарная длина всех маршрутов (км)	Отставание от лидера по длине	Время работы (с)	Отставание от лидера по времени
	Последовательный обход	11 557	9%	0.28	0%
	AStar	10 732	1%	20	7 043%
	Дейкстра	10 586	0%	38	13 471%
	Левит	10 586	0%	46	16 328%

Заключение.

Рассмотренный алгоритм построение маршрута путем последовательного обхода препятствий позволяет за короткое время (в среднем, в 100 раз быстрее, чем у классических алгоритмов) построить маршрут достаточно хорошего качества (на 3% - 16% длиннее идеального).

Алгоритм быстрее и качественнее работает на коротких дистанциях (т.к. много маршрутов строятся вообще без встречи с препятствиями). На средних дистанциях эффективность алгоритма падает, т.к. задействуются механизмы обхода препятствий и последующего улучшения маршрута. На больших дистанциях сравнительная эффективность алгоритма повышается, т.к. сложность у классических алгоритмов растет экспоненциально от количества обработанных вершин, а у рассмотренного алгоритма сложность растет линейно. Таким образом, его можно использовать для построения маршрутов на практически неограниченные расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рассел С. Дж., Норвиг, П. Искусственный интеллект: современный подход/ Пер. с англ. и ред. К. А. Птицына. – 2-е изд.. – М.: Вильямс, 2006.
2. Левитин А. В. Глава 9. Жадные методы: Алгоритм Дейкстры // Алгоритмы. Введение в разработку и анализ – М.: Вильямс, 2006.
3. Hart P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4. – 1968. – № 2.
4. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ, 2006.
5. Б. Ю. Левит. Алгоритмы поиска кратчайших путей на графе. Труды института гидродинамики СО АН СССР. Сб. «Моделирование процессов управления». Вып. 4. Новосибирск. 1971.
6. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // Numer. Math – Springer Science+Business Media
7. Reynolds, C. W. (1999) Steering Behaviors For Autonomous Characters

ВЛИЯНИЕ ПРОСЛОЙКИ НА ХАРАКТЕР НАГРУЗКИ НА СТЕНКЕ ПРИ УДАРЕ СТРУИ

А.А. Аганин, Т.С. Гусева (ФГБУН Институт механики и машино-
строения КНЦ РАН, 420111, Казань, Лобачевского, 2/31)

E-mail: ts.guseva@mail.ru

INFLUENCE OF A LAYER ON A WALL ON THE CHARACTER OF LOADING AT THE JET IMPACT

A.A. Aganin, T.S. Guseva (Institute of Mechanics and Engineering, Kazan
Science Center, Russian Academy of Sciences, 420111, Kazan,
Lobachevsky str., 2/31)

Keywords: high-speed jet impact, wetted rigid wall, CIP-CUP method.

Введение. Удар струй, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков вблизи твердых поверхностей (рис. 1), считается одним из основных механизмов кавитационной эрозии [1]. Как известно, это явление сопровождается множеством негативных последствий – повреждением лопастей гидротурбин и винтов судов, деталей гидронасосов, стенок проточных каналов и т.д. С другой стороны, оно имеет широкое практическое применение в технологиях очистки поверхностей. Экспериментальное исследование удара струй кавитационной природы затруднено из-за малости пространственного и временного масштабов явления [2]. В то же время многочисленные теоретические и численные исследования ударного воздействия на стенку высокоскоростных струй и капель также не охватывают всех деталей процесса. В частности, удар струи по слою жидкости на стенке остается пока малоизученным.

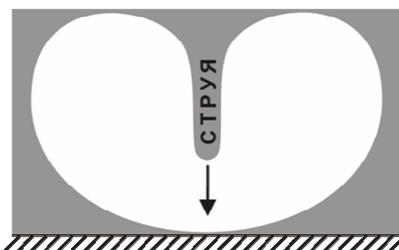


Рис. 1. Схлопывающийся пузырек у стенки

На начальной стадии удара струи непосредственно по стенке (рис. 2а) возникает ударная волна, распространяющаяся вверх по струе. На стенке реализуются нагрузки порядка давления гидроудара (water hammer

pressure) $p_{wh} = \rho_{L0}DV$, где ρ_{L0} – невозмущенная плотность жидкости, D – скорость ударной волны, V – скорость струи. Для воды $D \approx C + 2V$, C – скорость звука в жидкости [3]. При ударе по слою жидкости (рис. 2*b*) формируются две ударных волны, одна из которых движется вверх по струе, а вторая распространяется по слою к стенке. Вторая волна воздействует на стенку, отражаясь от нее. В случае струй кавитационной природы удар по слою осуществляется, если схлопывающийся пузырек несколько удален от стенки. Прослойка жидкости между пузырьком и стенкой амортизирует удар струи, но с уменьшением толщины прослойки этот эффект будет ослабевать. При этом в рамках исследования кавитационного разрушения наибольший интерес представляет случай тонкой прослойки, когда давление на стенке принимает значения, близкие к давлению при ударе по сухой стенке.

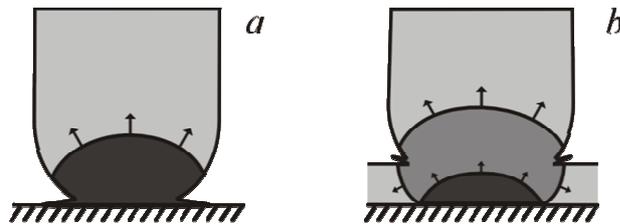


Рис. 2. Схема начальной стадии удара струи по сухой и смоченной стенке

Настоящая работа посвящена численному исследованию влияния толщины прослойки жидкости на стенке на характер импульсной нагрузки на стенке. Основное внимание уделяется диапазону толщин, при которых давление на стенке принимает значения порядка p_{wh} .

Постановка задачи. Рассматривается осесимметричная задача об ударе окруженной воздухом цилиндрической струи жидкости с полусферическим концом по тонкой равномерной прослойке жидкости на плоской жесткой стенке (рис. 2*b*). Заданы радиус струи R , толщина прослойки d . Жидкость в струе и прослойке одна и та же (вода). Давление во всей области однородно и равно 1 бар. Струя ударяет по прослойке ортогонально поверхности стенки со скоростью $V = 250$ м/с. Скорости такого порядка получены в работе [4] для струй, формирующихся при схлопывании кавитационных пузырьков. Соответствующее давление гидроудара p_{wh} для водяной струи при $\rho_{L0} = 10^3$ кг/м³, $C = 1500$ м/с равно 5кбар.

Основные положения метода расчета. В методике расчета применяется подход без явного выделения межфазной границы [5]. Вводится функция-идентификатор ϕ , такая, что в области жидкости $\phi = 1$, в области газа $\phi = 0$, а в малой окрестности их контактной границы ϕ непрерывна и

монотонно меняется от 0 до 1. Контактная граница при этом рассматривается как переходная область, занятая смешанной средой. Изменение идентификатора описывается уравнением переноса

$$\varphi_t + \mathbf{u} \cdot \nabla \varphi = 0. \quad (1)$$

Для сквозного расчета динамики жидкости и газа используется метод SIP-CUP [6]. Он базируется на уравнениях движения сжимаемой среды в неконсервативных переменных (плотность ρ , скорость \mathbf{u} , давление p). Динамика контактирующих жидкости и газа без учета эффектов вязкости и теплопроводности описывается уравнениями, которые в векторном виде можно записать как

$$\mathbf{f}_t + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{f} = \mathbf{G}. \quad (2)$$

Здесь $\mathbf{f} = (\rho, \mathbf{u}, p)^T$, $\mathbf{G} = (-\rho \nabla \cdot \mathbf{u}, -\rho^{-1} \nabla p, -\rho C_S^2 \nabla \cdot \mathbf{u})^T$, где ρ – плотность, \mathbf{u} – скорость, p – давление, $C_S = \varphi C_{S1} + (1 - \varphi) C_{S2}$ – скорость звука, $C_{Si} = [\Gamma_i(p + B_i)/\rho]^{1/2}$, $i = 1$ соответствует жидкости, $i = 2$ – газу, Γ_1, B_1 – константы уравнения состояния жидкости в форме Тэта, Γ_2, B_2 – константы уравнения состояния газа. В данном случае $\Gamma_1 = 7.15$, $B_1 = 3072$ бар, $\gamma = 1.4$.

Численное решение системы (2) разбивается на конвективную и неконвективную стадии

$$\frac{\mathbf{f}^* - \mathbf{f}^n}{\Delta t^n} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{f} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\mathbf{f}^{n+1} - \mathbf{f}^*}{\Delta t^n} = \mathbf{G}. \quad (4)$$

Для расчета группы уравнений переноса (1), (3) применяется полулагранжев метод SIP (Constrained Interpolation Profile). В рамках метода решение уравнения переноса для функции f в узле \mathbf{x} в момент t^{n+1} записывается в виде $f(\mathbf{x} - \mathbf{u} \Delta t^n)$, где аргумент – отправная точка – положение «лагранжевой частицы», которая за время Δt^n переместится в узел \mathbf{x} . Значение f в отправной точке определяется SIP-интерполяцией с использованием известных узловых значений f и ее пространственных производных f_x, f_y, f_{xy} в момент t^n .

Неконвективная часть (4) сводится к уравнению на давление

$$\frac{p^{n+1} - p^*}{\rho^* C_S^{*2} \Delta t^{n2}} = \nabla \cdot \left(\frac{\nabla p^{n+1}}{\rho^*} \right) - \frac{\nabla \cdot \mathbf{u}^*}{\Delta t^n}, \quad (5)$$

которое решается итерационным методом. Затем пересчитываются значения скорости \mathbf{u}^{n+1} и плотности ρ^{n+1} . При решении задач с интенсивными ударными волнами метод SIP-CUP применяется в сочетании с искусственной вязкостью.

Расчеты проводятся с использованием адаптивной soroban-сетки (от японского soroban – счеты) [7]. В двумерном случае сетка представляет собой набор не связанных ячейками узлов, расположенных на параллельных направляющих линиях. На каждом временном шаге строится новая сетка, адаптирующаяся к решению и никак не связанная со старой сеткой. При этом взаимное расположение и количество как направляющих, так и узлов на них может изменяться.

При построении сетки сначала рассчитывается монитор-функция

$$M(x, y, t) = \left(1 + \alpha(f_x^2 + f_y^2)\right)^{1/2} + \beta(|f_{xx}| + |f_{yy}|).$$

Здесь f – какой-либо параметр решения, α , β – положительные константы. Направляющие и узлы сетки сгущаются в зонах с большими значениями монитор-функции и разрежаются там, где ее значения малы. При построении конечно-разностных аппроксимаций производных на soroban-сетке требуемые значения параметров в узлах шаблона схемы определяются SIP-интерполяцией.

Разработанные на основе этой методики алгоритмы и программы были протестированы на задачах с ударными волнами и контактными границами газ-жидкость в одномерной и двумерной постановке [8].

Результаты численного моделирования. На рис. 3 приведен наиболее “опасный” и в данном случае базовый вариант, когда струя бьет непосредственно по стенке ($d = 0$). На начальной стадии удара круговая область контакта струи со стенкой по мере натекания струи радиально расширяется, на ее границе непрерывно генерируются волны сжатия. Фронт ударной волны, распространяющейся вверх по струе, может быть приближенно получен как огибающая этих волн сжатия. Процесс можно разделить на 2 фазы. В первой фазе скорость расширения контакта превышает скорость ударной волны. Ударная волна остается присоединенной к кромке контакта и растекание сжатой жидкости отсутствует (рис. 3а). При этом давление во всей области контакта распределено сначала почти однородно (рис. 3с, кривая 1). Далее его величина в центре области контакта медленно уменьшается, а на периферии быстро возрастает (рис. 3с, кривые 2–4). В узкой кольцевой области на периферии появляется выраженный максимум. Максимальные давления на стенке превышают p_{wh} более чем в 4 раза. Скорость

расширения контакта, постепенно снижаясь из-за выпуклости конца струи, в определенный момент становится ниже скорости ударной волны. Это начало второй фазы, когда ударная волна отрывается от стенки и далее перемещается по границе струи с образованием волны разрежения и тонкой струйки жидкости, растекающейся по стенке (рис. 3*b*). Величина пиков давления на периферии области контакта начинает снижаться (рис. 3*c*, кривые 5–7). При этом распределение давления на стенке вновь приближается к однородному.

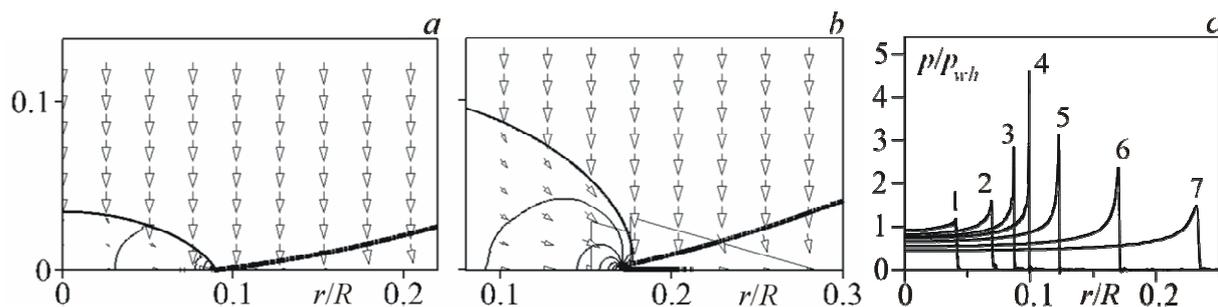


Рис. 3. Удар струи по сухой стенке ($d = 0$)

(*a*, *b*) – межфазная поверхность (жирные кривые), изолинии давления (тонкие кривые), векторы скорости в окрестности конца струи в половине осевого сечения; (*c*) – профили давления на стенке. Профили 3, 6 соответствует рисункам *a*, *b*.

При ударе струи по прослойке схема процесса в окрестности контакта струи и прослойки в целом подобна вышеописанному удару струи по сухой стенке. Основные отличия заключаются в наличии второй ударной волны, движущейся по прослойке к стенке, и в меньшей интенсивности ударных волн. Также в первой фазе процесса края обеих ударных волн совпадают друг с другом и с границей области контакта струи и прослойки. Во второй фазе края этих волн расходятся соответственно по поверхности струи и по поверхности прослойки. Это сопровождается распространением волн разрежения с межфазной границы в сжатую жидкость и боковым растеканием жидкости.

На рис. 4, 5 представлены результаты расчетов удара струи по прослойкам толщиной $0.00625 R$, $0.025 R$, $0.1 R$. На рис. 4 приведены моменты, когда отраженная от стенки ударная волна достигает уровня прослойки. Кривизна фронта и параметры за фронтом падающей ударной волны в момент достижения ею стенки и далее в процессе ее взаимодействия со стенкой определяются изменением давления на расходящейся кромке контакта струи и прослойки, а также прохождением этой ударной волны по прослойке. При малой толщине прослойки определяющее влияние на параметры падающей на стенку ударной волны оказывает изменение давления

на кромке контакта струи и прослойки. Об этом свидетельствует подобие профилей давления на стенке (рис. 5a) профилям при ударе по сухой стенке (рис. 3c). Вначале давление в области отражения распределено почти однородно и примерно равно p_{wh} , в дальнейшем на границе области отражения профили давления имеют растущий максимум, достигающий примерно $1.7 p_{wh}$, и далее снижающийся.

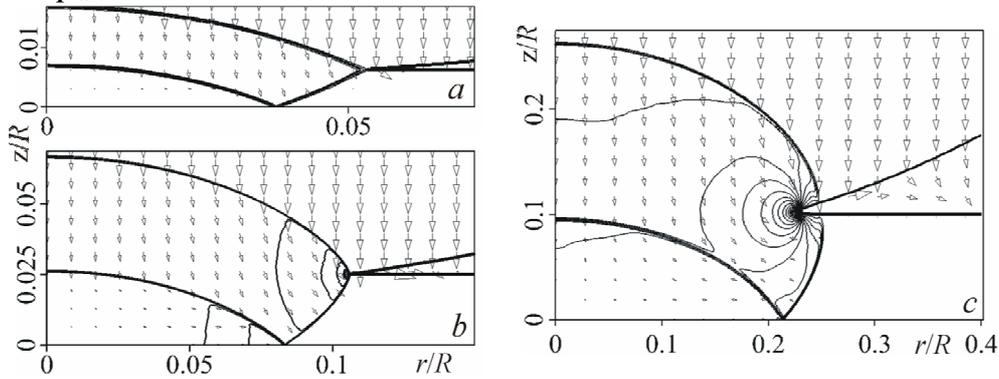


Рис. 4. Удар струи по прослойке толщиной $0.00625 R$ (a), $0.025 R$ (b), $0.1 R$ (c)

Поля давления и векторы скорости в окрестности конца струи в половине осевого сечения.

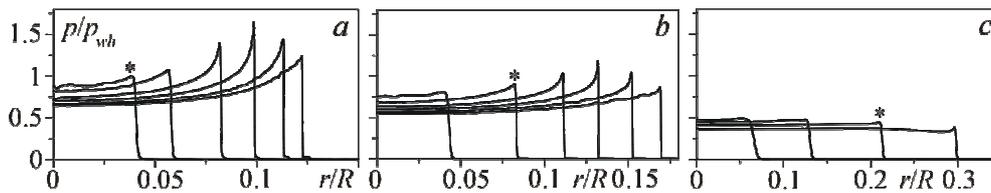


Рис. 5. Радиальные профили давления на стенке при ударе струи по прослойке толщиной $0.00625 R$ (a), $0.025 R$ (b), $0.1 R$ (c)

Символами * отмечены профили, соответствующие моментам на рис. 4. Влияние изменения давления на кромке контакта струи и прослойки на параметры фронта ударной волны, распространяющейся по прослойке к стенке, ослабевает по мере его удаления от места удара. Кроме того, эта ударная волна является расходящейся, и ее интенсивность по мере распространения уменьшается. Так, при увеличении толщины прослойки до $0.025 R$ (рис. 4b) максимум давления на периферии области отражения становится менее выраженным (рис. 5b). При этом средний уровень давления на стенке в начале воздействия снижается до $0.75p_{wh}$, а максимум давления достигает примерно $1.2 p_{wh}$. При увеличении толщины прослойки до $0.1 R$ к моменту, когда отраженная ударная волна достигает уровня прослойки, боковые границы ударных волн в окрестности контакта струи и прослойки уже перемещаются по границам струи и прослойки (рис. 4c). При такой толщине прослойки изменения на кромке контакта струи и прослойки практически не отражаются на характере нагрузки на стенке (рис. 5c).

Максимум давления на стенке, примерно равный $0.5 p_{wh}$, достигается сразу в момент прихода ударной волны. В дальнейшем давление на стенке только снижается, его распределение близко к однородному.

Заключение. Представлены результаты исследования импульсного воздействия струи на жесткую стенку в зависимости от толщины прослойки жидкости на ней. Скорость струи характерна для струй, формирующихся при схлопывании кавитационных пузырьков близи стенки. Установлено, что в таких условиях для тонких прослоек толщиной порядка 0.01 радиуса струи и менее на стенке возникает нагрузка, подобная случаю удара по сухой стенке как по среднему уровню давления – порядка давления гидроудара, так и по профилям давления – с выраженным максимумом на периферии области воздействия. При толщине прослойки, превышающей 0.1 радиуса струи, нагрузка на стенке остается близкой к однородной, уровень давления в начале воздействия не превышает половины давления гидроудара и в процессе воздействия только снижается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-01-00433)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kornfeld M., Suvorov L. On the destructive action of cavitation // J. Appl. Phys. 1944. V. 15. P. 495–506.
2. Bourne N.K. On impacting liquid jets and drops onto polymethylmethacrylate targets // Proc. R. Soc. A. 2005. V. 461. P. 1129–1145.
3. Heymann F.J. High-speed impact between a liquid drop and a solid surface // J. Appl. Phys. 1969. V. 40. No. 13. P. 5113–5122.
4. Воинов О.В., Воинов В.В. О схеме захлопывания кавитационного пузырька у стенки и образовании кумулятивной струйки // Докл. АН СССР. 1976. Т. 227. № 1. С. 63–66.
5. Yabe T., Xiao F. Description of complex and sharp interface with fixed grids in incompressible and compressible fluid // Comput. Math. Appl. 1995. V. 29. P. 15–25.
6. Yabe T., Wang P.Y. Unified numerical procedure for compressible and incompressible fluid // J. Phys. Soc. Japan. 1991. V. 60. No. 7. P. 2105–2108.
7. Takizawa K., Yabe T., Tsugawa Y., Tezduyar T.E., Mizoe H. Computation of free-surface flows and fluid-object interactions with the CIP method based on adaptive meshless Soroban grids // Comput. Mech. 2007. V. 40. P. 167–183.
8. Аганин А.А., Гусева Т.С. Численное моделирование динамики неоднородных сжимаемых сред на основе метода CIP-CUP на адаптивных Soroban-сетках // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки 2014. Т. 156. Кн. 2. С. 55–72.

СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р.Р. Агафонова (КНИТУ-КАИ, 420111, Казань, К.Маркса,10)

E-mail: gipo@telebit.ru

И.М. Габдуллин (КНИТУ-КАИ, 420111, Казань, К.Маркса,10)

E-mail: gipo@telebit.ru

А.В. Мингалев (ОАО «НПО «ГИПО», 420075, Казань, Липатова, 2а)

e-mail: gipo@telebit.ru

THE METHOD OF RECOGNITION OF OBJECTS ON THE WATER

R.R. Agafonova (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,

K.Marx str., 10)

e-mail: gipo@telebit.ru

I.M. Gabdullin (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,

K.Marx str., 10)

e-mail: gipo@telebit.ru

A. V. Mingalev (OJSC “NPO «State Institute of Applied Optics»,

420075, Kazan, Lipatova str., 2a)

e-mail: gipo@telebit.ru

Keywords: image processing, object detection, coordinates of the object, image segmentation.

Введение. В настоящее время необходимость в распознавании объектов на изображениях возникает в самых разных областях – системы наблюдения, системы компьютерного зрения, а также промышленные установки с элементами искусственного интеллекта. Проблема распознавания объектов приобрела крупный масштаб в условиях информационных перегрузок, когда человек не справляется с количеством данных, которые необходимо обрабатывать с высокой скоростью и определенным уровнем качества. Таким образом, проблема распознавания объектов оказалась в поле междисциплинарных исследований – в том числе в связи с работой по созданию искусственного интеллекта, и привлекает к себе всё большее внимание.

На текущий момент универсального подхода к поиску объектов на изображении, а также к их классификации пока нет. При этом инженерами достигнуты существенные успехи в конкретных прикладных задачах. В данной работе речь пойдет о поиске и распознавании объектов на

изображении, с последующей обработкой результатов поиска в режиме реального времени.

Постановка задачи. В рамках участия в одном из открытых конкурсов по распознаванию изображений, перед авторами доклада была поставлена следующая задача:

"Имеется набор аэрофотоснимков, среди которых присутствуют изображения кораблей на водной поверхности, изображения аэродромов и аэропортов с самолетами, а также изображения городской инфраструктуры. Из всего набора аэрофотоснимков необходимо:

1) выбрать те изображения, среди которых присутствуют изображения кораблей на водной поверхности;

2) определить координаты минимально ограничивающих прямоугольников всех кораблей на изображениях".

Решение. Для решения первой подзадачи, а именно для отбора тех изображений, среди которых присутствуют изображения кораблей на водной поверхности были использованы следующие свойства изображений: среднеквадратическое отклонение яркости пикселей изображения; отношение площади самого крупного сегмента на исходном изображении, обработанном методом водораздела (Watershed), к площади всего изображения; среднее значение яркости и коэффициент однородности яркости пикселей внутри этого сегмента.

Для решения второй подзадачи, где необходимо определить координаты минимально ограничивающих прямоугольников всех кораблей на изображениях, был применен способ, основанный на последовательном применении метода Виолы-Джонса и сегментации изображения с использованием метода кластеризации k-means.

Метод Виолы-Джонса (англ. *Viola-Jones object detection*) – это алгоритм, позволяющий обнаруживать объекты на изображениях в реальном времени. ^[1] Его предложили Паул Виола и Майкл Джонс в 2001 году. Хотя алгоритм может распознавать различные классы изображений, основной задачей при его создании было обнаружение лиц. У метода имеется реализация в составе библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

Метод Виолы-Джонса был использован для поиска кораблей на фотоснимках (рис. 1). Для этого была создана обучающая выборка и обучен каскадный классификатор. В результате работы данного классификатора формировался набор координат ограничивающих прямоугольников, в которых были выделены прямоугольные области, содержащие корабли, однако размеры данных областей не являлись размерами минимально ограничивающих прямоугольников объектов. (рис. 2).

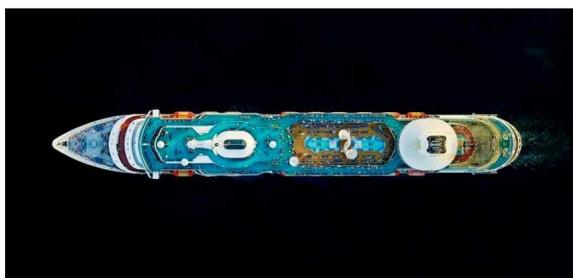


Рис. 1 Фотоснимок,
содержащий корабль

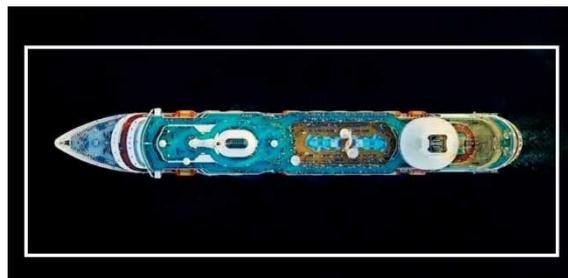


Рис. 2 Результат метода
Виолы-Джонса

В связи с описанным выше требованием к результатам распознавания необходимо уменьшить выделенную зону. Для этого были взяты результаты работы метода Виолы-Джонса, в выделенной зоне произведена сегментация изображения методом кластеризации k-means.

k-means (метод k-средних) – наиболее популярный метод кластеризации. [2] Был изобретён в 1950-х годах математиком Гуго Штейнгаузом и почти одновременно Стюартом Ллойдом. Особую популярность приобрёл после работы Маккуина.

Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2,$$

где k – число кластеров, S_i – полученные кластеры, $i = 1, 2, \dots, k$ и μ_i – центры масс векторов $x_j \in S_i$.

Алгоритм представляет собой версию EM-алгоритма. Он разбивает множество элементов векторного пространства на заранее известное число кластеров k , результат показан на рис. 3.

Основная идея метода k-means заключается в том, что на каждой итерации переычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения центра масс кластеров. Это происходит за конечное число итераций, так как количество возможных разбиений конечного множества конечно, а на каждом шаге суммарное квадратичное отклонение V не увеличивается, поэтому заикливание невозможно.

Результат работы метода кластеризации k-means представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Результат метода кластеризации k-means в выделенной зоне

После того, как произведена сегментация в выделенной зоне, получают крупный сегмент, расположенный вдоль краев рамки – он соответствует воде вокруг корабля. Долю «воды» внутри рамки и нужно уменьшить, для этого ее нужно обрезать и тем самым приблизить границы рамки к кораблю.

Прямоугольную зону уменьшают построчно. Для этого строки сегментированного изображения перебирают по очереди с каждой из четырех сторон. Удаление строки производим по следующему правилу:

«Строку обрезают пока в ней все пиксели одного цвета (строка содержит только воду, не содержит корабль)».

Таким образом область уменьшается и ее границы прилегают к краям корабля. Результат работы метода представлен на рисунке 4, а на рисунке 5 представлен тот же результат, но на исходном изображении.

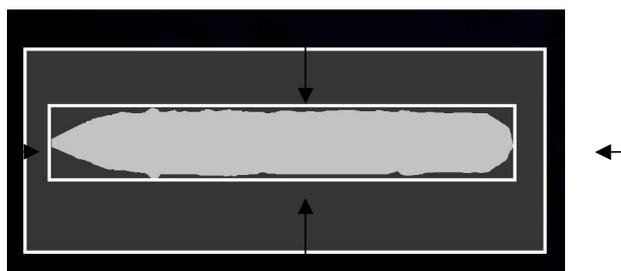


Рис. 4. Результат разработанного метода



Рис. 5. Результат выполнения разработанного метода на исходном изображении

Разработанный алгоритм подходит для использования в системах реального времени. Также алгоритм может быть использован для распознавания других классов объектов, расположенных на поверхности с однородной структурой, которую удастся аналогично сегментировать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viola P., Jones M.J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – Kauai, Hawaii, USA, 2001, - V.1. – P 511-518
2. Steinhaus H. (1956). Sur la division des corps materiels en parties. Bull. Acad. Polon. Sci., C1. III vol IV: 801-804

**МЕТОДЫ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ
ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕЛОКАЛЬНЫМИ
УСЛОВИЯМИ**

К.Р. Айда-заде (Бакинский Государственный Университет, AZ1148, Баку, ул. акад. З. Халилова, 23; Институт Систем Управления НАН Азербайджана, AZ1141, Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9)
E-mail: kamil_aydazade@rambler.ru

В.А. Гашимов (Институт Систем Управления НАН Азербайджана, Азербайджан, AZ 1141, Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9)
E-mail: vugarhashimov@gmail.com

**THE METHODS OF HIGH ORDER OF ACCURACY FOR THE
NUMERICAL SOLUTION OF SYSTEMS OF DIFFERENTIAL
EQUATIONS WITH NON-LOCAL CONDITIONS**

K.R. Aida-zade (Baku State Univeristy, AZ1148, Baku, acad. Z. Khalilov str., 23; Institute of Control Systems of the Azerbaijan National Academy of Sci-ences, AZ1141, Baku, B.Vahabzade str., 9)

V.A. Hashimov (Institute of Control Systems of Azerbaijan NAS, Azerbaijan, AZ 1141, Baku, B.Vahabzade str., 9)

Keywords: ODE, non-local conditions, approximation order, transfer of conditions, k-step discrete equation.

Рассматривается система линейных неавтономных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t), t \in T = [t_0, t_f], \quad (1)$$

с неразделенными условиями относительно $l - 1$ промежуточных состояний:

$$\sum_{i=0}^l C^i x(\bar{t}_i) = d, \quad (2)$$

Здесь $x(t) \in R^n$ – искомая вектор-функция; $A(t)$, C^i – заданные квадратные матрицы размерности n , $i = 0, 1, \dots, l$; $B(t)$, d – заданные n мерные векторы; моменты времени $\bar{t}_i \in T$ и t_0 , t_f – заданы, причем $t_0 = \bar{t}_1 < \bar{t}_2 < \dots < \bar{t}_l = t_f$.

Отметим, что в практических задачах часто большая часть из условий (2) является разделенными или более того, заданы в одном из концов: в правом или в левом.

В данной работе для повышения точности численного решения системы (1) предлагается использовать многоточечные аппроксимации производной от $x(t)$ на заранее определенной сетке:

$$\tilde{T} = \{\tau_i \in T: \tau_i = ih, i = 0, 1, \dots, N\}.$$

В этом случае мы получим дискретную систему линейных многошаговых уравнений, аппроксимирующую систему (1) с точностью, зависящей от числа точек, участвующих в аппроксимации.

Будем предполагать, что моменты времени \bar{t}_i принадлежат построенной сеточной области \tilde{T} , причем

$$\bar{t}_i = \tau_{s_i}, \quad i = 1, 2, \dots, l,$$

где s_i — порядковой номер i —той точки в \tilde{T} . В практических приложениях, учитывая, что l , как правило, не велико, это условие не представляет какой-либо сложности при проведении численных расчетов.

Для первой производной от функции $x(t)$ можно использовать известные k —шаговые формулы аппроксимации [1]:

$$\dot{x}(t)|_{t=\tau_i} = \sum_{q=-k_1}^{k_2} \alpha_q x^{i+q} + O(h^m). \quad (3)$$

Здесь $k_1 + k_2 = k - 1$, $k_1, k_2 \geq 0$, $x^q = x(\tau_q) \in R^n$, порядок точности аппроксимации m определяется схемой аппроксимации (3). Например, в случае $k = 2$, если $k_1 = -k_2 = 1$, $\alpha_{-1} = \alpha_1 = (2h)^{-1}$, $\alpha_0 = 0$, то имеем центральную разностную аппроксимацию с порядком точности $m = 2$:

$$\dot{x}(t)|_{t=\tau_i} = \frac{x^{i+1} - x^{i-1}}{2h} + O(h^2). \quad (4)$$

Такой же порядок точности можно получить для следующих вариантов значений параметров аппроксимации [4]:

$$\begin{aligned} k_1 = 0, \quad k_2 = 2, \quad \alpha_0 = -1.5h^{-1}, \quad \alpha_1 = 2h^{-1}, \quad \alpha_2 = -0.5h^{-1}, \\ k_1 = 2, \quad k_2 = 0, \quad \alpha_{-2} = 0.5h^{-1}, \quad \alpha_0 = 2h^{-1}, \quad \alpha_1 = 1.5h^{-1}. \end{aligned}$$

Увеличивая число точек k , участвующих в аппроксимации производной $\dot{x}(t)$ можно увеличить порядок точности аппроксимации m . Например, при $k = 6$ может быть получена точность аппроксимации порядка $O(h^6)$, т.е. $m = 6$ [1].

Используя какую-либо схему k —шаговой аппроксимации производной $\dot{x}(t)$ порядка точности $O(h^m)$, получим некоторую систему линейных k —шаговых дискретных уравнений:

$$x^j = \sum_{v=-k_{1j}}^{k_{2j}} \alpha_v^j x^{j+v} + \beta^j, \quad (5)$$

с нелокальными неразделенными промежуточными условиями вида:

$$\sum_{i=0}^l C^i x^{s_i} = d. \quad (6)$$

В соотношениях (5) коэффициенты α_v^j определяются коэффициентами дифференциальных уравнений (1) и коэффициентами разностной аппроксимации (3). Значения k_{1j} и k_{2j} , удовлетворяющие условию:

$$k_{1j} + k_{2j} = k - 1, \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

имеют различные значения (т.е. схемы аппроксимации (3)) при $j = 1, 2, \dots, k$, а для $j = k + 1, 2, \dots, N$, т.е. внутренних узловых точек \tilde{T} , как правило, схема не меняется и определяется уравнениями вида:

$$x^j = \sum_{v=1}^k \alpha_v^j x^{j-v} + \beta^j, \quad j = k, \dots, N. \quad (7)$$

Первые k соотношений из (5), состоящих из kn уравнений, учитывая их специфику, можно считать условиями с неразделенными состояниями и объединить их с (6).

Таким образом в (7) имеем $(N - k)n$ уравнений вида (7) с k -диагональной матрицей Якоби.

В соотношениях (5) при $j = 1, 2, \dots, k$ и (6) имеем $(k + 1)n$ уравнений, у которых матрица Якоби имеет слабую, но произвольную заполненность. Общее число уравнений и неизвестных в (5)-(7) равно $(N + 1)n$.

Важно отметить, что (5)-(7) аппроксимируют в целом исходную задачу (1),(6) с точностью $O(h^m)$, где значение m определяется величиной k и схемой аппроксимации (3).

Для решения дискретной системы (5)-(6) предложен следующий подход, использующий идею метода переноса (прогонки) условий [2]. Суть подхода заключается в том, что для каждого условия (5),(6) с неразделенными промежуточными состояниями используется схема, которая сокращает число промежуточных дискретных состояний, участвующих в условии (6) [3],[4].

И так, рассмотрим, например, одно p -ое условие из (6), которое запишем в векторной форме:

$$\sum_{i=0}^l C_p^i x^{s_i} = d_p, \quad (8)$$

где C_p^i – p -тая строка матрицы C^i , $i = 0, 1, \dots, l$; d_p – p -тая компонента вектора d .

Запишем (8) в виде:

$$C_p^0 x^{s_0} + \sum_{i=1}^l C_p^i x^{s_i} = d_p. \quad (9)$$

Будем говорить, что векторы C_p^{0v} и скаляры d_p^v переносят условие (9) вправо, если в сеточных точках $\tau_k \in \tilde{T}$, $k = s_0, \dots, s_1$ для произвольного решения системы (7) выполнено условие:

$$C_p^{0v} x^v + \sum_{i=1}^l C_p^{iv} x^{s_i} = d_p^v, \quad v = s_0, \dots, s_1. \quad (10)$$

Если такие векторы C_p^{0v} и скаляры d_p^v будут определены, тогда из (10) при $v = s_1$ будет получено новое условие:

$$\sum_{i=1}^l \tilde{C}_p^i x^{s_i} = \tilde{d}_p, \quad (11)$$

эквивалентное (8), в котором участвует на одно промежуточное состояние меньше, чем в (8). При этом имеет место

$$\tilde{C}_p^1 = C_p^1 + C_p^{0s_1}, \quad \tilde{d}_p^1 = d_p^1 \quad \text{для } i = 2, \dots, l.$$

Векторы C_p^{0v} и скаляры d_p^v будем называть коэффициентами сдвига условий. Они не единственны. В частности, доказана теорема, определяющая такие коэффициенты.

Теорема. Векторы C_p^{0v} и скаляры d_p^v , полученные из рекуррентных соотношений:

$$C_p^{0v+1} = C_p^{0v} \alpha_j^v, \quad j = 1, \dots, k, \quad (12)$$

$$d_p^{v+1} = d_p^v - C_p^{0v} \beta^v, \quad (13)$$

являются коэффициентами сдвига условий (6) относительно дискретной системы (7).

Соотношения (12), (13) позволяют осуществить последовательное сокращение участия промежуточных состояний во всех неразделенных условиях (6) до тех пор, пока не будут получены условия типа Коши на правом конце по всем дискретным переменным.

Аналогично изложенному выше можно привести схему сдвига условий (6) в левый конец. Выбор варианта сдвига условий вправо или влево зависит от исходных условий (2). А именно, в каком конце больше разделенных(локальных) условий, в тот конец следует сдвигать оставшиеся условия с неразделенными состояниями.

Были приведены численные эксперименты на примере решения непосредственно систем дифференциальных уравнений с обыкновенными производными вида (1) с неразделенными промежуточными условиями. К рассматриваемой задаче с использованием метода прямых было приведено решение параболического уравнения с нелокальными краевыми условиями [5].

Приведено сравнение полученных результатов с применением различных схем аппроксимации (3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. т.2, М., Физматгиз, 1960, с.387-390.
2. Абрамов А.А. Вариант метода прогонки // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1961. т.1 №2. с. 349-351.
3. Айда-заде К.Р. Численный метод решения систем дифференциальных уравнений с нелокальными условиями // Новосибирск. Вычислительные технологии. 2004. №1. с. 11-25.
4. Айда-заде К.Р., Рагимов А.Б. Решение классов коэффициентно-обратных задач и задач с нелокальными условиями для параболических уравнений // Дифференциальные уравнения, М., Т.51, №1, 2015.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.Ю. Александров, И.Н. Урахчинский

(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10) E-mail:
uralex86@mail.ru

HELP DESK OF E-LEARNING MANAGEMENT SYSTEM

A.Y. Alexandrov, I.N. Urakhchinskiy,

(KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: Help Desk, E-learning, learning management system, system administration, groupware.

В настоящее время в учебном процессе в связи с развитием новых информационных технологий и средств связи, все большую роль занимает дистанционное обучение.

Дистанционное обучение привлекательно для людей, желающих получить новую специальность или повысить уровень образования, квалификации без отрыва от основной работы при общем снижении затрат. Оно удобно и для тех, кто желает сохранить мобильность или проживает в удаленных населенных пунктах, или имеет ограничения по состоянию здоровья.

Дистанционное обучение - относительно новая образовательная технология, поэтому разработка программного обеспечения в этой сфере является актуальной.

Принципиальная особенность дистанционного обучения состоит в том, что несмотря на территориальную удаленность, студенты и преподаватели находятся в постоянном взаимодействии, организованном при помощи современных инфокоммуникационных технологий.

В структуре информационно-образовательной среды учебного заведения обязательно должны присутствовать элементы, обеспечивающие как поддержку процесса дистанционного обучения в целом, так и отдельных её пользователей (студентов, преподавателей, администрации).

Данная работа описывает систему автоматизации службы технической поддержки (Help Desk) дистанционного образования, разработанную для одного из высших образовательных учреждений.

Система обеспечивает:

- единую точку обращения к службе поддержки;

- обмен сообщениями между студентами, деканатом и преподавателями;
- регистрацию и учет обращений студентов в деканат и преподавателям;
- контроль сроков рассмотрения обращения студентов;
- публикацию и рассылку студентам образовательных и информационных материалов (объявлений, нормативных документов, расписаний, планов-графиков учебного плана, и т.п.);
- назначение задач (заданий) участникам процесса дистанционного обучения и контроль их исполнения;
- планирование мероприятий;
- назначение приоритетов запросам и задачам;
- хранение базы знаний образовательных и информационных материалов и результатов рассмотрения обращений;
- защиту данных от несанкционированного доступа;
- отчетность по оказанию образовательных услуг;
- работу в территориально-распределенной среде через Интернет.

В качестве платформы для разработки и функционирования было выбрано программное обеспечение IBM Domino/Notes, как совокупность технологий, предназначенных для эксплуатации и разработки систем коллективного пользования. Для обеспечения функционала системы используются следующие взаимосвязанные компоненты IBM Domino/Notes: система управления документоориентированными базами данных; электронная почта; система защиты информации; служба календарного планирования и резервирование ресурсов; интеграция с Интернет.

Система автоматизации службы технической поддержки дистанционного обучения имеет архитектуру клиент-сервер (Рис. 1.). Серверная часть функционирует в среде IBM Domino. В качестве клиентского ПО используются Web – браузеры и клиент IBM Notes. Базы данных (БД) системы и почтовые ящики пользователей хранятся на сервере IBM Domino, который обеспечивает большинство функций системы. Клиентское ПО обеспечивает интерфейс к приложениям системы. Клиентское ПО различно для сотрудников деканата, преподавателей и студентов. В качестве клиентского ПО студентов используются только Web – браузеры (Microsoft Internet Explorer).

Полнофункциональным клиентом сотрудников деканата и преподавателей является IBM Notes, однако, преподаватели могут использовать Web – браузер для работы с почтой и обращениями студентов.

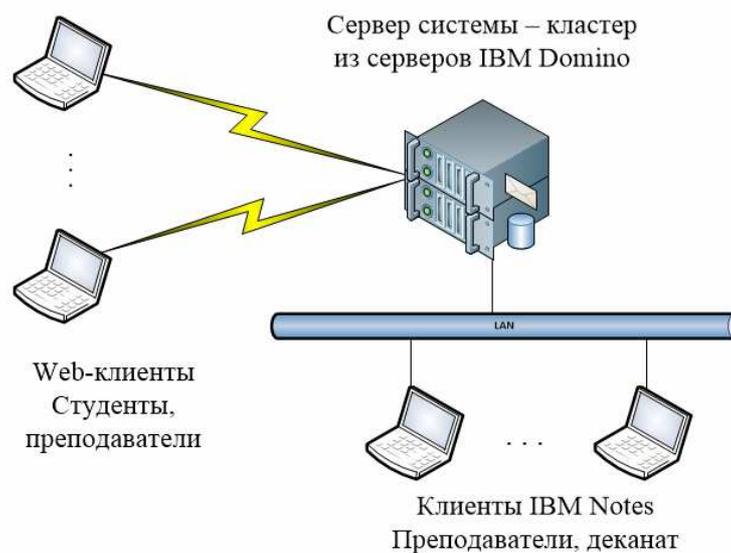


Рис. 1. Основные программно-аппаратные компоненты системы и связи между ними

Для обеспечения постоянной доступности системы и для предотвращения последствий аппаратных сбоев или проблем с программным обеспечением сервер системы службы технической поддержки дистанционного обучения работает в кластере, состоящем из двух серверов IBM Domino. Использование кластера позволяет балансировать рабочую нагрузку между серверами, улучшать их производительность и дает возможность расширения системы.

Система реализована с использованием средств виртуализации [1, 2], что придает ей возможность довольно легкого переноса на другой комплекс технических средств.

Архитектура системы технической поддержки приведена на рис. 2.

Система структурируется на три подсистемы:

1. справочники. Основные компоненты подсистемы: БД «Студенты», «Преподаватели», «Учебные планы», «Настройки»;

2. электронная почта, планирование времени и управление ресурсами. Основные компоненты – почтовые ящики пользователей;

3. БД «Обращения студентов». БД предназначена для выполнения функций:

- регистрации обращений студентов и рассмотрения их сотрудниками деканата и преподавателями;
- сбора и отслеживания данных об обращениях, в том числе о сроках их рассмотрения;
- создания базы знаний.

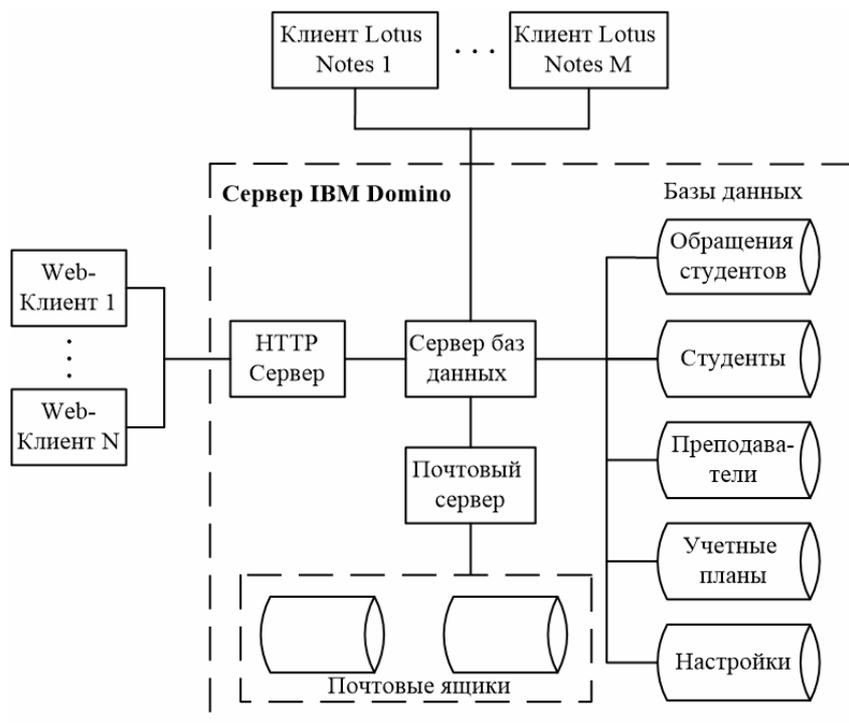


Рис. 2. Архитектура системы технической поддержки

Доступ к БД может осуществляться как посредством Web-браузера, так и из клиента IBM Notes. В процессе рассмотрения обращений возможна отправка документов цепочкам получателей. Для предотвращения заполнения базы данных документами, потерявшими актуальность, а также для уменьшения времени доступа к объектам предусмотрен перенос устаревших документов в архивную базу данных.

Для обмена сообщениями каждому пользователю системы создается почтовая БД (почтовый ящик).

Защита данных в системе обеспечивается встроенными в IBM Domino/Notes средствами безопасности:

- для клиентов Notes – процедура аутентификации и группы запрета доступа к серверу;
- для Web-клиентов - процедура авторизации по имени и паролю и SSL – “рукопожатие” (используется протокол HTTPS);
- для разграничения прав доступа к общим БД системы используются функционал списков управления доступом баз данных IBM Domino/Notes;
- каждый пользователь или группа пользователей могут иметь личные документы;
- сообщения электронной почты могут быть подписаны электронно-цифровой подписью. Эта возможность имеется у каждого пользователя системы;

Предложенная система позволяет решить большинство задач Help Desk и может быть использована в любых образовательных учреждениях, предлагающих дистанционную форму образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.В. Сотников, Урахчинский И.Н. Применение технологий виртуализации для построения операционной и сетевой среды обучающих систем. //Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2012. - V.15. - №4 - ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>.

2. Александров А.Ю., Урахчинский И.Н. К вопросу построения мобильной операционной среды автоматизированных систем дистанционного обучения // Материалы Всероссийской научной конференции "Информационные технологии в науке, образовании и производстве", КГТУ, Казань, 2007. – с.672-674.

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А.М. Ашрафзянов (ICL-КПО ВС, НТЦ СТ, 420029, Казань,
Сибирский тракт, 34)
E-mail: dial89@mail.ru

REAL TIME OBJECT DETECTION IN THE IMAGE

A.M. Ashrafzianov (ICL-KME CS, 420029, Kazan, Sibirsky trakt, 34)

Keywords: image processing, object detection, on-board system

Введение. Результаты, которые на сегодняшний день существуют в области компьютерного зрения, успешно применяются в практической жизнедеятельности, не на бумаге. Типичными примерами можно назвать: системы обеспечения безопасности в аэропортах, техническое зрение роботов на заводах, автопилоты и др. Многие известные компании, такие как Google, Microsoft, Uber, прикладывают большие усилия, чтобы сделать прорыв в данном направлении. К примеру, в Республике Татарстан, компания Cognitiv и Камаз совместно работают над созданием беспилотного грузового транспорта. По данной теме существует множество актуальных статей и научных работ. В связи с этим, можно сделать вывод об актуальности темы и работы в данном направлении.

Основная цель исследования в области обработки и анализа изображения, получение новых качественных и количественных результатов, а именно приближение к возможностям человека. Данные показатели сегодня пытаются достичь либо за счет усовершенствования математических моделей и численных методов, либо за счет применения распараллеливания и выполнения задач на графических процессорах (GPU), либо за счет того и другого. По мнению авторов, наиболее предпочтительнее, когда улучшение показателей достигается за счет усовершенствования математических моделей и/или численных методов, т.к. это позволяет создавать комплексы программ для более широкого круга вычислительного оборудования и как следствие появляется возможно до ускорить работу параллельными вычислениями на GPU.

Первая задача при обработке и анализа изображении, помимо предварительных шагов, таких как нормализация, выравнивание и др., это задача обнаружения объектов интереса. От этого шага зависит дальнейшие результаты системы в целом, поэтому необходимо кардинальное снижение ошибок первого и второго рода.

Одним из направлений области компьютерного зрения является разработка бортовых автомобильных систем, призванных информировать водителя о дорожной обстановке, либо получение информации автопилотом. Характерными особенностями таких систем является необходимость работы в реальном режиме времени. Данный режим работы накладывает ограничение на показатели времени отклика. Существует множество методов анализа и обработки изображения, а также моделей представления объектов на изображении, каждый из которых дает удовлетворительные результаты, но требуют выполнения больших объемов вычисления, что препятствует возможности работы в реальном времени. Таким образом, основная цель исследования, снижение объемов вычислений, без потери качества, за счет математических моделей объектов на изображении и численных методов обработки.

Основная часть. Проблему обнаружения транспортных средств перед автомобилем, наряду с подходом на основе обработки изображений, можно решить на основе датчиков, основанных на отражающих свойствах электромагнитных и ультразвуковых волн. У данного подхода есть следующие недостатки: отсутствие возможности обнаружить несколько объектов интереса и в дальнейшем классифицировать их, низкая помехоустойчивость при плохих погодных условиях. Подход основанный на обработке изображении лишен данных недостатков. Существует возможность обнаружить все присутствующие на изображении объекты интереса. Обнаружив объект, мы можем в дальнейшем классифицировать его, например, для оценки степени его опасности и др. Не требуется специализированное оборудование, т.к. сегодня распространены недорогие мобильные системы видеосъемки. Проблема плохих погодных условий не является техническим ограничением и может быть решена математическими методами.

Сегодня разработано множество методов обнаружения объектов на изображении, полученных с неподвижного датчика изображения [1,2]. Основной недостаток данных методов применительно к данной задаче, сложность построения математической модели фона в условиях его геометрического искажения, т.к. фон меняется с течением времени. Как известно в данных методах необходимо несколько первых кадров изображений, на основании которых строится модель фона. Дальнейшая работа идет с данной моделью фона. В текущей задаче отсутствует априорная информация о фоне. Существуют модификации данных методов, учитывающих периодичность протекающих процессов, например, качающиеся на ветру деревья, применяя механизм обновление информации о фоне [3].

Анализ источников [1,2,3] показал, что методы обработки изображений, используемые для обнаружения объектов, можно объединить в следующие основные классы:

- корреляционные методы;
- методы на основе сегментаций;
- методы, основанные на признаковом описании объектов интереса;
- методы пространственно-временной фильтрации.

В корреляционных методах [1,2] известное заранее изображение объекта (эталон) g , перемещается по наблюдаемому изображению f , и для каждого положения эталона вычисляется некоторая оценка. Далее, положение эталона, при котором достигается максимальная оценка, определяется как положение объекта. Вычисление оценки происходит на основе различных корреляционных функции [1]. Обычно используется евклидово расстояние. Если дано n эталонных изображений $\{g_i\}$, $i = 1, \dots, n$, каждое из которых относится к некоторому классу j , отнесение предъявляемого изображения f к соответствующему классу j может осуществляться на основе метода минимального расстояния до соответствующего эталона. Недостатками данного подхода является неустойчивость к геометрическим искажениям изображения, высокая вычислительная сложность, требования наличия большого количества априорной информации об объекте и базы эталонов. В силу недостаточной устойчивости корреляционных методов к геометрическим искажениям изображения, они не находят применение в задачах обнаружения сложно-структурированных объектов [2].

Методы обнаружения на основе сегментации на первом этапе выделяют области, имеющие некоторые общие характеристики, например, яркость. В дальнейшем данные области нужно классифицировать, выделить фон и объекты интереса. Изображение дорожного участка перед автомобилем имеет неоднородный фон, и сами автомобили имеют существенные перепады яркости. Таким образом после сегментирования изображения требуется дополнительная уточняющая обработка, классификация, что требует дополнительного времени. Эталонный алгоритм сегментации GraphCut [3], который показывает хорошее качества сегментации изображения, требует ввода дополнительной информации от пользователя, что противоречит требованиям автономности бортовых систем.

Наибольшее распространение получили методы, основанные на описании уникальных характерных особенностей объектов (признаков) и методы пространственно-временной фильтрации. Активно развивающимися методами из данного класса являются методы, основанные на особых точ-

ках изображения, метод Виола-Джонса и методы, основанные на вычислении оптического потока.

Метод Виола-Джонса. На сегодняшний день одним из часто используемых методов обнаружения объектов на изображении является метод Виола-Джонса [4]. Данный метод изначально был разработан для обнаружения лиц на изображении, но в дальнейшем был обобщен на случай других объектов (пешеходов, автомобилей). Основное преимущество данного подхода – возможность работы в реальном времени, так заявляют сами авторы. Выигрыш в скорости обработки достигается за счет использования совокупности различных подходов, а именно - интегральное представление изображения [5], использование каскадов классификаторов и алгоритма усиления классификаторов AdaBoost [6]. Данный метод основывается на принципе плавающего окна. В качестве математической модели объектов выступает Хаар подобные признаки.

Изображение дорожного участка, помимо объектов интереса, содержит фон (что можно назвать избыточность изображения). Предполагается что, если сократить время на обработку участков изображения в области фона, можно снизить общее время обнаружения объектов интереса. В некоторой степени задачу быстрого отклонения окна решает механизм каскадов классификаторов. Один из подходов был предложен в [7] и основывается на увеличении шага сканирования на участках, на которых отсутствует объект интереса (на основе уровней каскада). В других работах предлагается использовать линию горизонта. Можно так же встретить работы в которых разрабатывается оптимальный способ сканирования изображения плавающим окном. Подводя итог, можно сказать, что описанные методы повышают скорость обработки изображения либо за счет снижения размерности обрабатываемых данных, либо снижением времени обработки участков изображения, которые относятся к фону, что несомненно является инструментом увеличения скорости работы.

Современные методы обнаружения основываются на принципе сканирующего окна. Результат может быть представлен несколькими способами: центром объекта интереса, его контуром, ограничивающим прямоугольником. В данной работе результат предполагается представлять именно ограничивающим прямоугольником характеризующимся координатами верхнего, нижнего, правого и левого угла (x,y,h,w) . В общем виде, задачу поиска объекта плавающим окном можно описать, используя функцию классификации f следующим образом:

$$S_{car} = \arg \max_{S \in I} f(S)$$

где S подокно которые скользит по всем прямоугольным областям изображения I , S_{car} -прямоугольная область в которой вписан объект интереса. Метод Виола-Джонса работает следующим образом. На этапе обучения на вход падает изображения объектов интереса, из которых извлекаются признаки подобные вейвлетам Хаара. В качестве алгоритма классификатора используется метод SVM, который как известно, разделяет множество на два непересекающихся множества. Таким образом результатом может быть ответ – объект/не объект.

При работе метода, изображение сканируется плавающим окном S . Размер окна S совпадает с размером изображений из обучающей выборки. Объекты, который больше или меньше окна сканирования, обнаруживаются за счет масштабирования изображения (уменьшением, увеличением исходного изображения I) (рис. 1). Для быстрого отклонения подокон, которые относятся к фону, применяется механизм каскадов классификаторов.

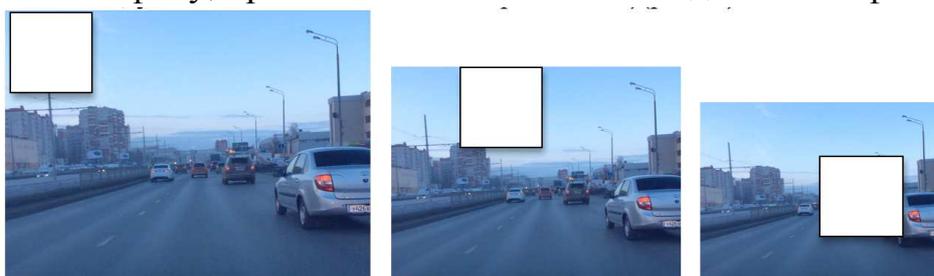


Рис. 1. Сканирование изображения скользящим окном

Метод Виола-Джонса так же имеет практический недостаток, ошибочно детектирую объекты интереса на изображении. На рисунке 2 представлен результат такого ошибочного детектирования. Так же следует заметить, что т.к. алгоритм основан на масштабируемом окне, один и тот же объект может быть обнаружен при разных масштабах сканирующего окна.



Рис. 2. Результат ошибочного детектирования автомобиля (зеленый прямоугольник)

Заключение. Была рассмотрена задача обнаружения транспортных средств на изображениях, полученных с датчика изображения, установленного внутри движущегося автомобиля. Описаны подходы к обнаружению, рассмотрены методы обнаружения на основе обработки изображений. Наиболее перспективный метод обнаружения на основе метода Виола-Джонса показал свою эффективность, что подтверждается рядом работ, при этом присутствует вероятность ошибочного детектирования. Существующие модификация данного метода позволяет ускорить обработку изображения за счет математических подходов, без применения специальных технических средств и параллельный реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатов Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. –М.: Радиотехника, 2008. – 176с. ISBN 978-5-88070-201-5.

2. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекции и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Осоков, А.В. Моржин. –М.: Физматкнига, 2010. -672с. ISBN 978-5-89155-201-2.

3. Шарнин Л.М. Обнаружение и идентификация динамических объектов в системах машинного зрения: Коллективная монография, под ред. профессора Л.М. Шарнина / Шарнин Л.М., Ризаев И.С., Якимов И.М., Мокшин В.В., Шлеймович М.П., Медведев М.В., Сайфудинов И.Р. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2014. -354с. ISBN 978-5-9905685-9-5.

4. Viola P. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features / P. Viola, M. Jones. Accepted Conference On Computer Vision And Pattern Recognition. 2001.

5. Crow F. Summed-area tables for texture mapping. Proceeding of SIGGRAPH, volume 18(3), pages 207-212. 1984.

6. Freund Y. A short Introduction to Boosting / Y. Freund, R.E. Schapire. Journal of Japanese Society for Artificial Intellegence, 14(5):771:780. 1999.

7. Comaschi F. RAWs: a Run-time Adaptive Sliding Windows to Improve Viola-Jones Object Detection / F. Comaschi, S. Stuijk, T. Basten, H. Corporaal. Distributed Smart Cameras (ICDSC). Pages 1-6. 2013.

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ
ОПОВЕЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА**

А.Н. Борисов (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: anb2000@mail.ru

**HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM TO TRANSMIT ALERTS IN
THE ACCESS CONTROL SYSTEM**

A.N. Borisov (KNRTU-KAI, Russia, 420111, Kazan, K. Marks str., 10)

Keywords: microcontroller, alert system, a control program, Python programming language.

Цель представленной разработки – обеспечение безопасности на расстоянии путем рассылки уведомлений. Автоматизация различных функций в жизнедеятельности человека, в эксплуатации помещений в современных условиях – задача актуальная. Это такие функции как функция безопасности, функция освещения, функция кондиционирования, функция отопления и др.

Важной функцией является функция безопасности. Одной из наиболее интересных задач этой функции является использование дверного замка, который позволяет получать оповещения о посетителях даже тогда, когда хозяина нет дома. Данная функция может оказаться полезной не только при эксплуатации жилых помещений дома, но и на малых или средних предприятиях. Ее основное назначение - обеспечение безопасности на расстоянии путем рассылки уведомлений.

Создание аппаратно-программного комплекса для передачи оповещений в системе контроля доступа представляет бюджетную и ограниченную функционально альтернативу системам «Умный дом». Центром системы является персональный компьютер, к которому подключены устройства, за которыми осуществляется наблюдение. В качестве примера системы доступа используется веб-камера и плата с кнопкой, подключенные к USB порту и условно расположенные на входной двери. В качестве устройства, с помощью которого пользователь будет принимать оповещения, планируется использовать смартфон или мобильный телефона, а также может использоваться компьютер.

В качестве дверного звонка в рассматриваемом комплексе используется модуль Arduino Nano [1]. Модуль основан на микроконтроллере ATmega328, который содержит в себе Flash-память на 32Кб.

Для реализации кнопки дверного замка можно использовать один из способов подключения кнопки на ArduinoNano: подключение с использованием внешних стягивающих резисторов и подключение с использованием внутренних стягивающих резисторов. Стягивающий резистор нужен, чтобы гарантировать на логическом входе, с которым соединен проводник, высокий либо низкий уровень. В случае если ни один из резисторов не подключен, кнопка будет срабатывать случайным образом из-за высокого уровня шумов в виде статических, электрических и электромагнитных излучений. Для осуществления первого способа подключения кнопки выбран резистор на 10 Ком.

Модуль Arduino Nano дает возможность компьютеру выйти за пределы виртуального пространства в физическое и взаимодействовать с ним. Устройства на базе Arduino Nano могут получать информацию об окружающей среде с помощью различных датчиков, а также могут осуществлять управление разнообразными исполнительными устройствами.

Оповещения пользователю приходят с помощью SMS и e-mail сообщений, причем пользователь сможет выбирать нужный вариант по своему желанию либо одновременно оба. В качестве операционной системы для управления комплексом используется ОС Windows, так как она привычна для пользователей, удобна в эксплуатации и проста.

Для работы системы компьютер должен быть подключен к сети интернет. Предоставлением данной услуги занимается большое количество интернет провайдеров. Выбор провайдера и тарифа предоставляется пользователю по его предпочтениям. Если пользователю нужен интернет только для данной системы, он может подключить самый дешевый вариант, либо также воспользоваться бесплатным интернетом. Скорости соединения вполне хватит для того, чтобы сообщения доходили без особых задержек.

Центром разрабатываемого комплекса является программа с графическим интерфейсом в виде окна командной строки. Сразу после запуска служба ждет сигнал, поступающий от кнопки с микроконтроллера, подключенного к USB. После того, как сигнал получен, программа считывает конфигурационный файл, в котором указаны все необходимые данные для работы системы, а затем сразу же воспроизводится музыка, указанная пользователем. Затем производится снимок с камеры, и полученная фотография помещается в папку, указанную в конфигурационном файле. После этого пользователю либо приходит сообщение на электронную почту с прикрепленной фотографией, либо SMS сообщение с уведомлением на мобильный телефон, либо и то, и другое одновременно.

Задача управляющей программы – выполнять заданные действия при нажатии кнопки на микроконтроллере Arduino.

Программа для комплекса написана на языке программирования Python [2]. Отправка сообщений по электронной почте производится с помощью библиотеки `smtplib`, которая позволяет выполнять функции почтового клиента.

Отправку сообщений по SMS можно производить с помощью мобильного телефона или с помощью SMS-шлюза (интерфейс, позволяющий отправлять и получать SMS-сообщения без использования мобильного телефона). В случае с телефоном необходимо, чтобы телефон был в зоне обслуживания оператором сотовой связи, батарея заряжена и на балансе было достаточно средств. Отправка через SMS-шлюз производится через интернет, и не зависит от состояния мобильного телефона.

При разработке программного обеспечения комплекса использовались специальные функции языка Python, которые позволяют упаковывать фрагменты программного кода, чтобы его можно было многократно использовать по всей программе и специальные модули, обеспечивающие средство объединения функций в коллекции, чтобы их можно было использовать в разных программах.

Для отправки SMS сообщений используется предоставляемый сервисом модуль `smc_api`. Этот модуль нельзя установить стандартными средствами Python, поэтому его нужно скачать на сайте и сохранить либо в той же папке, где находится проект, либо в папку `Lib`. После скачивания необходимо открыть интегрированную среду разработки, а затем в полях `SMSC_LOGIN` и `SMSC_PASSWORD` соответственно прописать логин и пароль, выбранные при регистрации в сервисе.

Тестирование разработанного комплекса проводилось в лабораторных условиях, где были соблюдены все необходимые условия для запуска прототипа. В ходе тестирования были успешно проверена работа следующих функций:

- редактирование параметров в конфигурационном файле в ходе работы программы;
- захват снимка с веб-камеры [3] и сохранение снимка на компьютере;
- оповещение пользователя при нажатии кнопки звонка с помощью SMS, отправленного через SMS-шлюз;
- оповещение пользователя о нажатии на кнопку звонка и отправка фотографии посетителя по электронной почте;
- Воспроизведение выбранной музыки после нажатия кнопки звонка.

Представленная разработка является лишь одним модулем и может стать основой для создания других модулей с использованием тех же аппаратных и программных средств. Учитывая, что ее использование значительно дешевле и проще по сравнению с известными системами, возможно создание полноценной системы типа «Умный дом», не прибегая к большим затратам, при этом не уменьшая количество самих модулей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ATTEL. Interrupt Vectors in ATmega8. 02/2006. URL: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf
2. Лутц М. Программирование на Python / Пер. с англ. – 4-е изд. – СПб.: Символ-Плюс, 2011, 992с.
3. Борисов А.Н. Управление периферийными устройствами ПК: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014, 176с.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ
ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Д.П. Данилаев, Л.Ю. Емалетдинова, А.М. Усманов
(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: d.danilaev@mail.ru, lilia@stcline.ru, alex.usm@mail.ru

**AUTOMATED EXPERT DECISION SUPPORT SYSTEM
FOR THE ENTERPRISES TECHNICAL SPECIALISTS TRAINING**

D.P.Danilaev, L.Yu.Emaletdinova, A.M.Usmanov
(KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: enterprises personnel support, technical specialists training, in-formation systems of enterprises personnel support.

Задача обеспечения предприятий высококвалифицированными техническими специалистами вышла на первое место и «стала острее проблемы модернизации производства» [1]. По ряду системных проблем в высшем образовании, несмотря на его массовый характер, выпуск молодых специалистов из технических вузов не удовлетворяет все качественные и количественные кадровые потребности промышленности [2]. В результате растут затраты работодателей на подбор, оценку, закрепление, обучение инженерно-технических работников предприятий и их адаптацию на рабочем месте. Все более актуальными является поиск новых форм взаимодействия системы высшего образования и промышленности. Одной из возможных форм является создание информационной среды системного взаимодействия вузов, студентов, выпускников, с работодателями. Это может быть информационный ресурс, преодолевающий локальный характер, и обеспечивающий на отраслевом или региональном уровне процессы отбора, закрепления перспективной молодежи за работодателем, их профильную подготовку и трудоустройство. Ключевой задачей при этом является не просто содержательное его наполнение, но формирование информационной, образовательной и кадровой логистики, т.е. организация и управление потоками профильных для предприятий технических специалистов, а также такими потоками как информация, знание, оборудование, материально-техническое, методическое, кадровое обеспечение для их подготовки. Целью доклада является представление автоматизированной

экспертной системы поддержки принятия решений как механизма реализации этой информационной среды.

Создание виртуальной, информационной площадки взаимодействия вузов, предприятий и студентов представляется необходимым условием для дальнейшего функционирования и развития каждой стороны. Так, внедрение такой площадки является ответом на современные вызовы к системе высшего образования. Например, открытость глобального информационно-образовательного пространства, повсеместная цифровизация учебных курсов, повышение доступности дистанционного, качественного образования, следующее за этим снижение стоимости обучения, изменение образовательной парадигмы под влиянием информационно-коммуникационных технологий – все это ставит под сомнение необходимость большого числа вузов для обеспечения фундаментального образования. Преимуществом отечественных технических вузов была и остается подготовка востребованных промышленностью технических специалистов, а также производство нового знания в соответствующей предметной области. В новых условиях образование может начать приносить больше денег, чем наука, поскольку исследования требуют серьезных вложений [3]. Но организация профильной подготовки сталкивается со сложностью прогнозирования потребностей работодателей, а также с неопределенностью интересов и способностей студентов на младших курсах.

При переходе от плановой системы производства к рыночной экономике количественные потребности каждого предприятия сократились. Однако появились предприятия среднего и малого бизнеса, и общее число предприятий значительно выросло. Качественные потребности работодателей стали разнообразнее. Потребности рынка труда, и соответствующие цели подготовки, обновляются быстрее, чем осуществляется подготовка специалиста в вузе. Это провоцирует текучку кадров на предприятиях. Внутренние кадровые резервы предприятий, а также кадровая подпитка за счет привлечения специалистов с рынка труда (в том числе из других предприятий) – ограничены. При общетехнической подготовке бакалавров в вузах выбор из числа выпускников также не способствует оперативному решению кадровых проблем. С другой стороны, по мнению работодателей, вкладывать в обучение молодых, неопытных выпускников нерентабельно и опасно: «Мы их обучим, а они уйдут» [4]. На рынке труда наметилась опасная тенденция разделения кадрового потока на молодых специалистов и кадров для инноваций, которые формируются из числа людей с опытом работы, и старше 30 лет [2].

Особое место в обозначенном, замкнутом круге проблем занимают сами молодые выпускники (или студенты). Взаимоотношения между предприятиями и выпускниками возникают, если оба интересны друг другу при стремлении к достижению своих целей [5]. Организация раннего взаимодействия и закрепление студентов за предприятием позволяет реализовать опережающую подготовку под конкретное рабочее место с активным участием всех заинтересованных сторон. Тогда целесообразно перенести момент организации взаимодействия студентов и работодателей на завершающий, профильный этап подготовки специалистов в вузах. Одним из инструментов реализации этой задачи может выступать открытая среда прямого, информационного взаимодействия студентов и работодателей, реализованная на платформе порталов вузов. Такой подход позволяет снизить затраты предприятий на посредников – поставщиков трудовых ресурсов, и перераспределить их в пользу обучения студентов старших курсов. В этом случае ключевым направлением трансформации HR-процессов на предприятии является программа по выбору поставщиков трудовых ресурсов – вузов. В данном контексте необходимо рассматривать создание распределенной сети образовательных учреждений, конкурирующих между собой за право профильной подготовки инженерно-технических работников совместно с работодателями.

Для организации взаимодействия заинтересованных участников в рамках новой информационной среды необходима разработка методологических и системотехнических принципов систематизации информации, а также совместного формирования потоков кадров, знаний, информации, и т.д. Реализация информационной среды взаимодействия на платформе порталов вузов позволяет структурировать собранную информацию работодателей в привязке к перечню реализуемых образовательных программ. Качественные требования работодателей можно формализовать в виде перечня трудовых функций и перечисления трудовых действий специалиста по каждой вакансии. Подобный подход использован, например, при разработке профессиональных стандартов из различных сфер деятельности. Экспертный анализ описания компетенций выпускников, востребованных работодателями, позволяет выделить содержательную часть подготовки студентов в форме дисциплин и дидактических единиц. На основе сравнительного анализа требуемого содержания и ФГОС выбирается направление подготовки наиболее близкое к требуемому профилю подготовки, а также разделить основную и дополнительную образовательные программы.

В процессе организации подготовки специалистов проявляется неопределенность информации, необходимой для принятия решений о потоках кадрах, и программах их профильной подготовки. Эта неопределенность связана с отсутствием априорных сведений об участниках взаимодействия, со сложностью взаимоотношений, невозможностью описания системы традиционными методами, преобладанием информации качественного характера, а также с неоднозначностью оценки тех или иных явлений. Предложено применение методов нечеткой логики в алгоритмах структурной адаптации образовательных траекторий. Для поддержки принятия решений при отборе возможных профилей подготовки с учетом предложений работодателей, предложена модель в виде базы нечетких правил. Введены входные лингвистические переменные, соответствующие критериям экспертных оценок:

1. X_1 = «Степень соответствия профиля ФГОС и реализуемой ООП» с универсальным множеством $U(X_1) = [0,1]$. Терм-множество $T(X_1) = \{ \text{“полное”}, \text{“высокая”}, \text{“средняя”}, \text{“низкая”}, \text{“отсутствует”} \}$;

2. X_2 = «Степень обеспечения профиля» с универсальным множеством $U(X_2) = [0,1]$. Терм-множество $T(X_2) = \{ \text{“полное”}, \text{“высокая”}, \text{“средняя”}, \text{“низкая”}, \text{“отсутствует”} \}$;

3. X_3 = «Степень удаленности работодателя» с универсальным множеством $U(X_3) = [0,1]$. Терм-множество $T(X_3) = \{ \text{“близко”}, \text{“удаленный”}, \text{“далеко”} \}$;

4. X_4 = «Размер компенсации дополнительных затрат» с универсальным множеством $U(X_4) = [0,1]$. Терм-множество $T(X_4) = \{ \text{“полная”}, \text{“частичная”}, \text{“отсутствует”} \}$;

5. X_5 = «Реализуемость профиля». Универсальное множество переменной X_5 содержит два значения: 0 и 1. Терм-множество $T(X_5) = \{ \text{“реализуем”}, \text{“нереализуем”} \}$.

Выход нечеткой модели формализуется лингвистической переменной Y = «Показатель целесообразности реализации профиля», с универсальным множеством $U(Y) = [0,1]$. Терм-множество $T(Y) = \{ \text{“полная”}, \text{“высокая”}, \text{“средняя”}, \text{“низкая”}, \text{“отсутствует”} \}$.

Система нечетко-продукционных правил модели формируется на основе обобщения опыта работы экспертного сообщества. В результате получена система, включающая 140 правил нечеткой модели. Например:

1. если $T(X_5) = \text{нереализуем}$, ТО $T(Y) = \text{отсутствует}$;

2. если $T(X_2) = \text{низкая}$ И $T(X_4) = \text{отсутствует}$ И $T(X_5) = \text{реализуем}$, ТО $T(Y) = \text{отсутствует}$;

3. если $T(X_1) = \text{полное}$ И $T(X_2) = \text{полное}$ И $T(X_3) = \text{близко}$ И $T(X_5) = \text{реализуем}$, ТО $T(Y) = \text{полная}$.

...

140. если $T(X_1) = \text{низкая}$ И $T(X_2) = \text{отсутствует}$ И $T(X_3) = \text{далекс}$ И $T(X_4) = \text{полная}$ И $T(X_5) = \text{реализуем}$, ТО $T(Y) = \text{отсутствует}$.

Агрегирование нечетких правил и аккумуляция решения в системе нечеткого вывода осуществляется по алгоритму Мамдани. Численный выходной показатель модели позволяет ограничить список целесообразных профилей основной образовательной программы. Модель может использоваться для любого числа профилей. Предложенный подход обеспечивает создание экспертной системы поддержки принятия совместных решений в структуре взаимодействия.

При выборе целесообразных профилей подготовки значение имеет согласованность мнений экспертов. Мерой согласованности выступает коэффициент конкордации. При сильной и средней корреляции мнений, при расчете нечеткой модели используется среднее арифметическое значение оценок экспертов. При низких значениях коэффициентов конкордации согласованность мнений считается неудовлетворительной. В этом случае выясняется причина отличия мнений, проводится повторный опрос, в том числе других экспертов.

Ограниченный набор основных образовательных программ с профилями подготовки может быть предложен на выбор студентам старших курсов, обучающихся по этой программе. Выбор формализован показателем приоритета этого направления для них, значение которого принадлежит универсальному множеству $[0, 1]$. Одновременно определяется подготовленность студента к данному профилю и сфере профессиональной деятельности. Оценка уровня подготовки осуществляется одновременно по нескольким характеристикам, таким как: наличие знаний, творческий подход в решении задач, практические навыки. Оценка определяется по результатам освоения профильных дисциплин, полученным на предыдущих этапах обучения, и по результатам выполнения входных, контрольных мероприятий (тестов, решения задач и т.п.). Входное тестирование студентов может осуществляться с привлечением разных экспертов: преподавателей вузов и специалистов предприятий.

Распределение студентов по индивидуальным траекториям подготовки осуществляется на конкурсной основе. Выбор студента и оценки уровня

его подготовки в общем случае имеют нечеткий характер. Связано это, например, с тем, что существующие методики оценки уровня подготовки недостаточно полно учитывают личностные качества и характеристики сложного процесса обучения, важные при организации профильной подготовки. Поэтому принятие решений может быть основано на моделировании с использованием теории нечетких множеств. На основе методов нечеткой логики разработана модель определения предпочтительных, индивидуальных траекторий обучения студентов [6]. Модель учитывает выбор студента, его успеваемость по профильным дисциплинам, ограниченное число мест обучения. Расчет численного выходного показателя модели позволяет для каждого студента упорядочить и ограничить список рекомендованных траекторий. Модель легко алгоритмируется и положена в основу экспертной системы поддержки принятия решений.

На основе предложенных алгоритмов реализован программный модуль экспертной оценки и поддержки принятия решений. Применение этого модуля позволяет оперативно оценивать возможность реализации профилей, а также выработать рекомендации по возможным траекториям подготовки. Модуль экспертной оценки профилей подготовки зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ [7].

На основе форм целевой подготовки студентов разработаны формы договоров, регламентирующие порядок совместной деятельности вузов, студентов и работодателей. Комплект двусторонних договоров позволил четко разделить права, обязанности и ответственность каждого участника процесса перед другими субъектами, юридически закрепить студента за работодателем и обеспечить организацию профильной подготовки с участием всех сторон. Регламентированное взаимодействие способствует выбору методов и средств обучения в соответствии с частными целями и обеспечивает необходимую динамику подготовки.

Информационно-образовательная среда образуется централизованным информационным пространством вуза и применением инфокоммуникационных технологий. Формирование единого информационного пространства возможно на основе интеграции различных программных средств на различных уровнях (на уровне доступа, базы данных и т.п.).

Структура информационной системы, интегрированной с автоматизированной системой управления учебным процессом, включает существующие функциональные блоки контроля успеваемости студентов и расчета их рейтинга, организации учебного процесса, а также блоки отчетных форм. Интеграция функциональных подсистем в единую автоматизированную систему основана на ее реализации как совокупности автономных

программно-аппаратных комплексов. Проектирование автономной подсистемы взаимодействия с работодателями позволяет избежать ограничений в выборе технологических платформ и технических решений, а также упрощает задачу администрирования прав доступа пользователей ИС.

В соответствии с функциональным назначением в структуре информационной системы выделяются подсистемы: сбора данных от внешних информационных источников, опроса студентов «вуз – студент», экспертной оценки и поддержки принятия решений, включая модули формирования профиля подготовки, выбора траекторий подготовки, а также подсистему защиты от несанкционированного доступа. Предусмотрено создание, использование и управление справочниками и справочными формами информационной системы, администрирование справочников с целью организации и контроля частичного доступа к интегрированной базе данных. На рисунке 1 представлена обобщенная структура программного обеспечения информационной системы взаимодействия предприятий работодателей, студентов и вуза, и поддержки принятия экспертных решений.

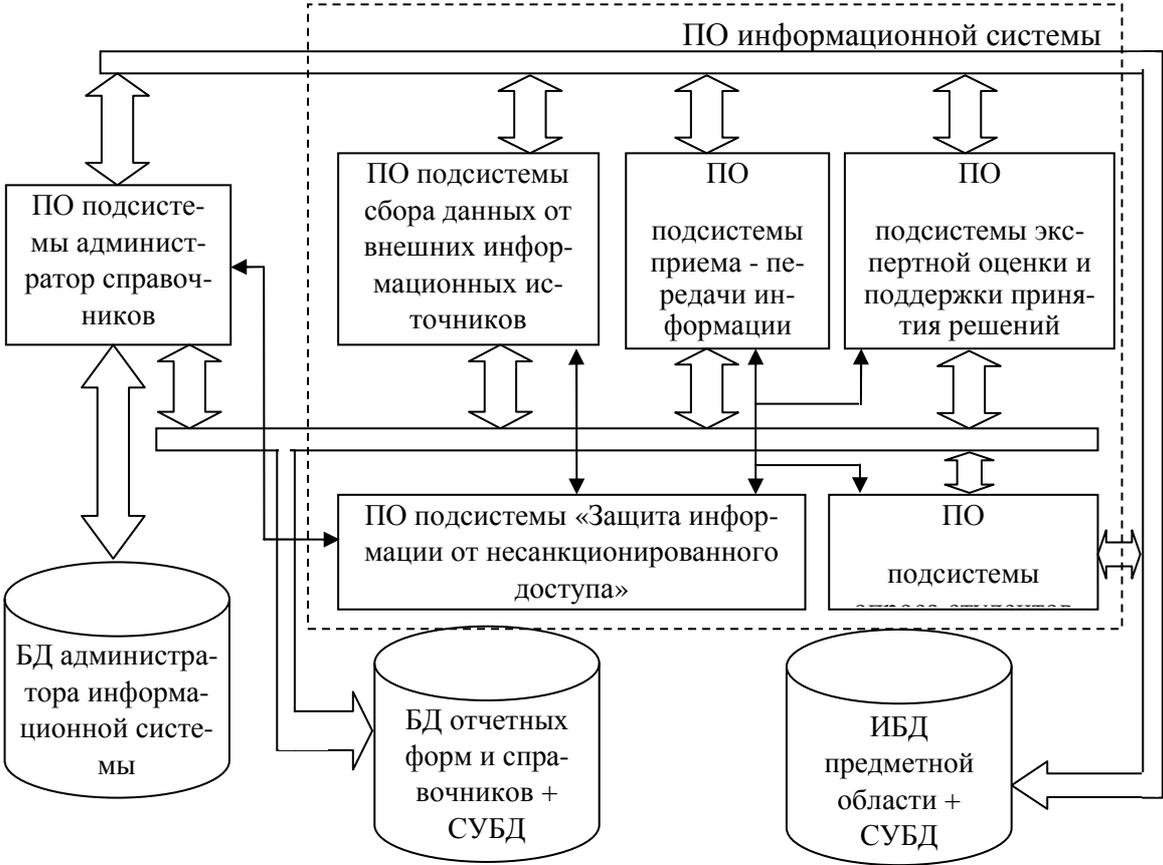


Рис.1. Структура программного обеспечения информационной системы взаимодействия субъектов и поддержки принятия экспертных решений

В состав комплекса технических средств информационной системы взаимодействия и поддержки принятия экспертных решений включены: устройства внешнего хранения и обработки информации, устройства отображения и документирования информации, устройства коммуникации, устройства организации бесперебойного энергоснабжения.

Специальное программное обеспечение представляет собой совокупность программ системы обработки данных и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ. Специальное программное обеспечение реализует технологические алгоритмы, которые описаны разработанными математическими моделями. Всего предусмотрено 4 режима работы системы: работодателя, эксперта, студента, и администратора системы. Вид диалоговых окон в режимах работодатель и эксперт приведен на рисунке 2. Доступ пользователей (работодателей, студентов, экспертов) к системе осуществляется по запросу к администратору системы, с выделением персонального логина и пароля доступа.

Для реализации системы информационного взаимодействия вуза и предприятий применяются Web-технологии, а для решения задачи интеграции с автоматизированной системой организационного управления процессом обучения (АСОУ) – интранет-технологии с использованием ресурсов локальной вычислительной сети.

Сложность структуры производственной сферы по географическому, отраслевому, экономическому признакам приводит к формированию распределенной сети взаимодействия. Архитектура сети (рисунок 3) включает сеть с произвольной топологией, соединяющую узлы (серверы), и локальные вычислительные сети (ЛВС) с регулярной структурой (сеть ВУЗа, сети филиалов ВУЗа), все рабочие станции которых имеют доступ в сеть с произвольной топологией. Кроме того, в архитектуру сети входят персональные компьютеры и мобильные устройства пользователей системы – студентов.

Таким образом, разработанная автоматизированная экспертная система поддержки принятия решений при организации подготовки технических специалистов для предприятий имеет широкий спектр применения. Например, она обеспечивает выявление потребностей рынка труда в технических специалистах и способствует формированию актуальных профилей и траекторий подготовки на последних курсах обучения студентов. Кроме того, она позволяет проводить отбор специалистов при приеме на работу, в соответствии с полученным профилем подготовки.

Ваше имя: Алевта

Общая информация

Полное наименование организации: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННО-КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА "БЕТАР"

Сокращенное наименование организации: ПКФ "Бетар", ООО

Юридический адрес: Татарстан-Респ, г.Кистенька, ул.Энгельса, д.129Т, 402981

Фактический адрес: Татарстан-Респ, г.Кистенька, ул.Энгельса, д.129Т, 402981

Организационно-правовая форма: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Телефон: 8 84342 5 69 69

Факс: 8 84342 5 69 69

E-mail: info@betar.ru

Сайт организации: http://www.betar.ru/

Заказные реквизиты

ИНН: 1652005250

ОГРН: 165201001

Наименование банка: Банк ОАО "АКБ Татарстанбанк" г.Казань

Расчетный счет: Р/С 40702610900000012712

Корреспондентский счет: К/С 30101810100000000815

БИК: 049205815

Дополнительная информация

Сфера деятельности: Производство приборов энергочета

Размеры организации: крупная

Основной вид деятельности: Производственный

Вид деятельности: Производственный

ФИО руководителя: Сардеев Ринат Захарович

Сохранить

Уровень	Код образовательной программы	Наименование образовательной программы	Наименование вакансии	Дата ввода	Дата последнего изменения	Наименование профиля	Экспертная оценка целесообразности реализации	Количество мест обучения	Количество студентов на профиле
1	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	25.06.2016	25.06.2016	Высшая радиотехника	4	3
2	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	25.06.2016	25.06.2016	Высшая радиотехника	4	3

а

Уровень	Код образовательной программы	Наименование образовательной программы	Наименование вакансии	Дата ввода	Дата последнего изменения	Наименование профиля	экспертная оценка целесообразности реализации	Количество мест обучения	Количество студентов на профиле
1	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
2	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
3	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
4	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
5	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
6	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
7	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
8	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
9	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
10	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
11	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
12	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
13	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
14	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
15	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
16	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
17	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
18	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
19	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3
20	62	110301	Радио техника бакалавриат	Иванов Сергеевич	15.07.2016	15.07.2016	Высшая радиотехника	4	3

Алгоритм Мамдани

Файл Справка

Переменные

Имя	Лингвистическое имя	Значения
X1	Степень соответств...	отсутствует, низкая, ...
X2	Степень обеспечени...	отсутствует, низкая, ...
X3	Степень удаленност...	близко, удаленный, ...
X4	Размер коллектив...	отсутствует, частич...
X5	Реализуемость про...	нереализуем, реали...
Y	Целесообразность р...	отсутствует, низкая, ...

Правила вывода

Условия	Результат
X5=нереализуем	Y=отсутствует
X1=полное & X2=полное & ...	Y=полное
X1=полное & X2=полное & ...	Y=полное
X1=полное & X2=полное & ...	Y=полное
X1=полное & X2=полное & ...	Y=высокая
X1=полное & X2=полное & ...	Y=высокая

Входные данные (через точку с запятой): 0,8;0,9;0,58;0,75;0,95

Запустить решение

Числовой результат

Лингвистический результат

Редактирование нечеткой переменной

Имя переменной: Y

Лингвистическое имя переменной: Целесообразность реализации про...

Целесообразность реализации про...

Выходная переменная

Значение	a	b	c	d
отсутствует	0	0	0,1	0,2
низкая	0,1	0,2	0,3	0,4
средняя	0,3	0,4	0,6	0,7
высокая	0,6	0,7	0,8	0,9
полное	0,8	0,9	1	1

Добавить значение

Удалить значение

Сохранить переменной

Редактирование значения переменной

Текстовое значение: высокая

a: 0,6 b: 0,7 c: 0,8 d: 0,9

Сохранить

б

Рис. 2. Вид диалоговых окон в режимах: а) Работодатель; б) Эксперт

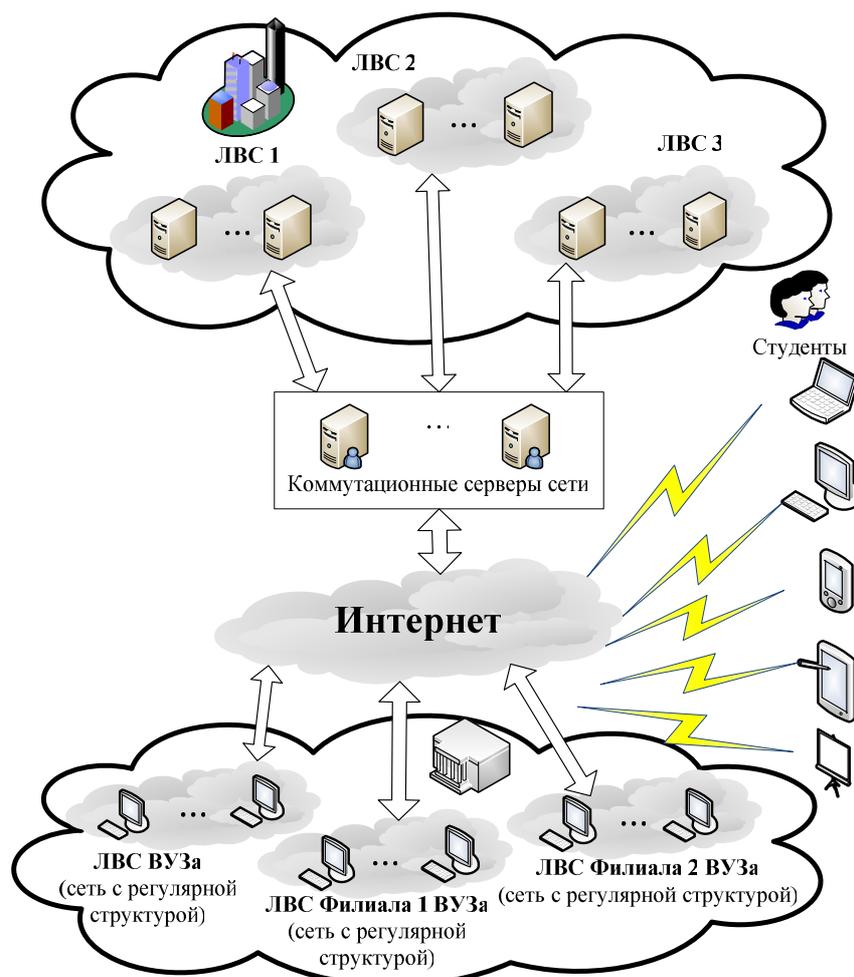


Рис. 3. Сетевая структура

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резолюция 3-го Съезда авиапроизводителей России [электронный ресурс] // Сайт Союза авиапроизводителей России. – 2016. – Режим доступа: <http://www.aviationunion.ru/congress.php?conam=3> (дата обращения: 02.02.2017).

2. Кадры для инноваций: как с ними работать [Электронный ресурс] // Электронный портал «Лифт в будущее». – Режим доступа: <https://lifftothefuture.ru/blog/interesting-facts/personnel-for-innovation-how-to-work-with/> (дата обращения: 15.02.2017).

3. Сумленный, С. Останется десять университетов [электронный ресурс] // Электронное издание Эксперт Online. 02 12 2013 г. Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2013/48/ostanetsya-desyat-universitetov/?24> (Дата обращения: 06.04.2015, доступ свободный).

4. Костицын, Н. Оптимизация издержек на корпоративное обучение [электронный ресурс] // Управление персоналом, 2005, №5. – Режим доступа: <http://www.top-personal.ru/issue.html?329> (дата обращения: 20.01.2017).

5. Данилаев, Д.П. Система высшего технического образования: диалектика согласования интересов ее субъектов / Д.П. Данилаев, Н.Н.Маливанов, Ю.Е.Польский // Высшее образование в России. 2011, № 11. – С.99-104.

6. Данилаев, Д.П. Определение индивидуальных траекторий подготовки студентов в условиях нечеткой информации / Д.П. Данилаев, Л.Ю. Емалетдинова // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2015. – № 3. – С.164-169.

7. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2016660780 Модуль экспертной оценки профилей подготовки / Д.П. Данилаев, А.М.Усманов. М.: РОСПАТЕНТ. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 21.09.2016.

**ПЕРВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ УПРАВЛЕНИЯ НА БОРТУ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА: ОПЕРАТИВНОЕ
ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ**

С.Ю. Желтов, Б.Е. Федун

Федеральный научный центр, ФГУП ГосНИИ авиационных систем

E-mail zhl@gosniias.ru, email boris_fed@gosniias.ru

**FIRST GLOBAL LEVEL OF MANAGEMENT ONBOARD
THE FLYING MACHINE: OPERATIONAL GOAL SETTING**

S.J. Zheltov, B.E. Fedunov

Federal Centre of Science, FGUP GosNII of Aviation Systems

Keywords: a crew circumspection, a crew situational awareness, a crew situational confidence, threats, an expert system, the knowledge base, the recommended current purpose of flight.

Введение. Задача оперативного целеполагания относится к классу плохо формализованных задач. Она постоянно эвристически решается экипажем в процессе выполнения полетного задания (ПЗ), ориентируясь на полученное полетное задания и возникшие угрозы, мешающие его выполнению.

Согласно действующей в РФ концепции интеллектуализации борта летательного аппарата (ЛА) для поддержки процесса решения экипажем так называемых тактических задач необходимо иметь на борту ЛА интеллектуальные системы тактического уровня (БИС-ТУ). При разработке таких систем следует ориентироваться на концептуальную/онтологическую модель ЛА «Этап» [1]. Остановимся на проблеме поддержки БИС-ТУ процесса решения экипажем задачи оперативного целеполагания.

Составляющие процесса решения задачи оперативного целеполагания экипажами летательных аппаратов. Процесс решения экипажем задачи оперативного целеполагания (первый глобальный уровень управления (I-ГЛУУ) на борту ЛА [1]) включает в себя: осмотрительность экипажа, ситуационную осведомленность экипажа, ситуационную уверенность экипажа. Опишем эти составляющие.

А. Осмотрительность экипажа обеспечивается предъявлением ему на информационно управляющем поле (ИУП) кабины ЛА обнаруженные потенциальные угрозы выполнению им полетного задания. Для этого на ИУП создается информационная модель внешней и внутрибортовой об-

становки с представлением в ней потенциальных угроз (ПУГ). Модель реализуется бортовыми БЦВМ-алгоритмами интегральной/комплексной обработки первичной информации, поступающей от бортовых измерительных систем, и БЦВМ-алгоритмами опознавания обнаруженных потенциальных угроз с классификацией их по типу и госпринадлежности. Работа таких БЦВМ-алгоритмов не требует ни диалоговых процедур с экипажем, ни информации от него с ИУП. Назовем совокупность этих БЦВМ-алгоритмов «Система обнаружения потенциальных угроз».

Пример предъявления потенциальных угроз на многофункциональном индикаторе (МФИ) кабины зарубежных самолетов истребителей показан на рис. 1, взятом из [2]

На рис.1 показан информационный кадр на МФИ истребителя F-16МЗ. Для осмотрительности экипажа на кадр выведены самолеты противника, представляющие потенциальную угрозу самолетам группы истребителей F-16МЗ в ситуации, когда эта группа приготовилась атаковать показанную на МФИ цель.

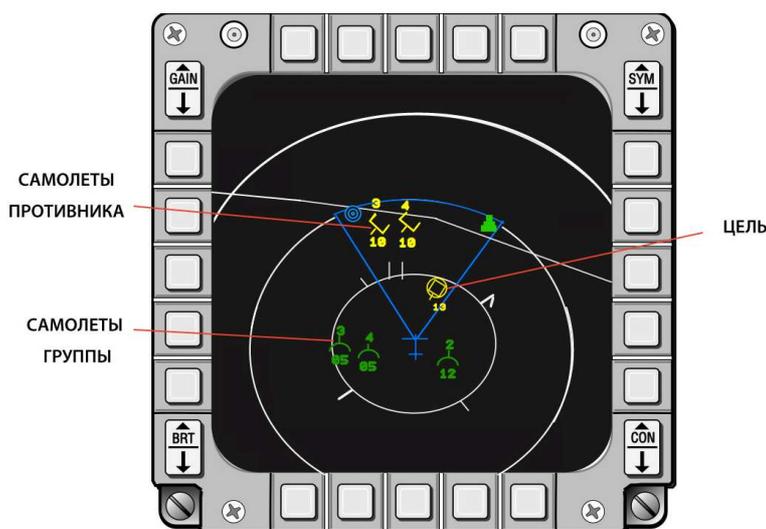


Рис. 1. МФИ: потенциальные воздушные угрозы (самолеты противника)

Б. *Ситуационная осведомленность* экипажа обеспечивается интеллектуальной информационной системой «Ситуационная осведомленность экипажа» (ИИС СОЭ). Эта система среди потенциальных угроз, выделенных в бортовой информационной модели внешней и внутрибортовой обстановки (см. выше п. А), выделяет те, которые непосредственно угрожают выполнению текущего этапа полета ЛА или целостности ЛА. Обозначим их через аббревиатуру НУГ – непосредственные угрозы. Для каждой НУГ определяется ее «точка невозврата».

Обнаруженные НУГ вместе с их «точками невозврата» предъявляются экипажу на индикаторах ИУП кабины. Экипаж использует информацию с ИИС СОЭ для решения задачи оперативного целеполагания в соответствии с выполняемой генеральной задачей вылета (ГЗВ) и рангом ЛА в группе. Работа ИИС СОЭ так же не требует ни диалоговых процедур с экипажем, ни информации от него с ИУП.

Пример предъявления экипажу F-16МЗ на лобовом стекле истребителя НУГ «Атакующая ракета противника класса «воздух – воздух»» - показан на рис. 2. Рисунок взят из [2].

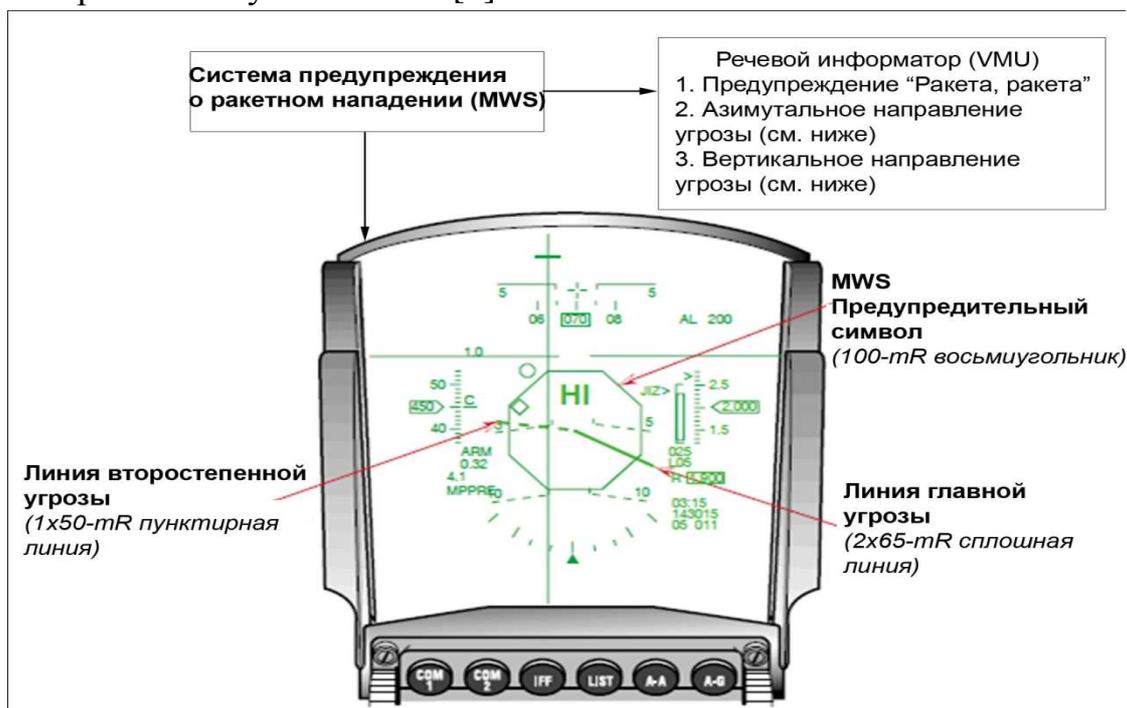


Рис. 2. Предупреждение летчика на истребителе F-16МЗ о непосредственной угрозе (атакующая ракета противника)

В. *Ситуационная уверенность* экипажа обеспечивается бортовой оперативно советующей экспертной системой оперативного целеполагания (БОСЭС-целеполагание). БОСЭС-целеполагание при появлении НУГ заблаговременно предъявляет экипажу на ИУП рекомендацию по текущей цели полета ЛА. Эта рекомендация согласована с выполняемой генеральной задачей вылета (ГЗВ) и выделенной экипажем НУГ, из поступивших НУГ из ИИС СОЭ.

Фрагменты таких рекомендации экипажу по новой цели полета появляются на некоторых ЛА в ситуации, когда обнаруживаются угрозы, связанные с отказами бортовой аппаратуры ЛА, или препятствия движению ЛА.

При работе БОСЭС-целеполагание предусматриваются диалоговые процедуры с экипажем и поступление в БОСЭС-целеполагание информации от него с ИУП.

Бортовая оперативно советующая экспертная система «Оперативное целеполагание» (БОСЭС-целеполагание). БОСЭС-целеполагание активизируется в начале выполнения полета и функционирует в процессе всего полета. Она работает в трех режимах (рис.3).

На вход БОСЭС-целеполагание поступает: из системы подготовки вылета «Полетное задание» (априорная информация) и из ИИС СОЭ (текущая информация о непосредственных внешних (Внш) и внутрибортовых (Внт) угрозах).



Рис. 3. Бортовые интеллектуальные системы I-ГЛУУ: ИИС СОЭ и БОСЭС-целеполагание

Полетное задание включает в себя:

- последовательность этапов полета (типовых ситуаций полета: ТС-задания) [1]. Множество этих ТС обозначим через «А»;
- перечень идентификаторов угроз выполнению полетного задания, которые могут появиться в процессе выполнения ЛА полетного задания (множество «У-Б»);
- множество ТС-угроза (множество «Б»);

- накопленный положительный опыт решения коллизий «ТС-задания – ТС-угроза» (матрицы знаний таких коллизий) [4];

- описание коллизий «ТС-задания – ТС-угроза» ситуационным вектором $SV(\text{ТС-задания} - \text{ТС-угроза})$, координаты которого суть лингвистические переменные (ЛП) [5];

- сопоставление термам каждой ЛП ансамбля нечетких множеств, задаваемых на одном и том же универсальном множестве УМ(ЛП) ансамблем соответствующих функций принадлежности [5].

Отметим, что каждая ТС-задания и каждая ТС-угроза содержит условия ее активизации, способы решения задач ТС, рекомендуемый экипажу способ решения каждой задачи ТС.

При решении задач в базе знаний БОСЭС-целеполагание используется механизм вывода по прецеденту [4]. Компьютерная реализация метода вывода по прецеденту, ориентированная на использование в базах знаний БОСЭС ТС, представлена в [6]. Ниже на примере показан пример решения задачи по прецеденту.

БОСЭС – целеполагание в режиме I. Режим I активизируется, когда при выполнении ЛА текущего этапа полета (ТС-задания из множества «А») появляется непосредственная угроза (ТС-угроза из множества «Б»). Структура базы знаний БОСЭС-целеполагание для этого режима разработана в [7].

Составляющие базы знаний БОСЭС следующие (рис.4):

- сопоставление идентификатора возникшей угрозы (из множества «У-Б») с ТС, в которой вырабатывается способ эффективного противодействия возникшей угрозе (ТС-угроза из «Б»);

- сопоставление текущей ТС (ТС-задания из множества «А») с ТС-угроза из множества «Б», в которой дается способ эффективного противодействия этой угрозе (в блоке «Таблица соответствия «Угроза (из множества «У-Б») «ТС (из множества «Б»)»);

- матрицы знаний коллизий «ТС-задания (из множества «А») – ТС-угроза (из множества «Б»)», в которых формализован ранее полученный положительный опыт решения соответствующей коллизии;

- расчет [4] приоритетов этих двух ТС, используя вывод по прецеденту (в блоке «База матриц знаний «ТС (из множества «А») – ТС (из множества «Б»)» с полученными числовыми значениями координат $X^*1, .. X^*N$ ситуационного вектора);

- выбор приоритетной ТС и предъявление ее экипажу.

Входная информация в БОСЭС-целеполагание в этом режиме работы: текущая ТС; выделенная экипажем непосредственная угроза; количественная оценка экипажем сложившейся ситуации (см. пример в табл. 2).



Рис. 4. БОСЭС- целеполагание в режиме I

Процесс решения экипажем задачи оперативного целеполагания в режиме I.

При возникновении для выполняемой ТС непосредственной угрозы, которую предъявляет ИИС СОЭ или которую обнаруживает сам экипаж (эвристический алгоритм), экипаж фиксирует эту угрозу (сплошные линии связи сверху на рис.4).

По этому сигналу в базе матриц БОСЭС-целеполагание активизируется матрица «текущая ТС-задания – ТС-угроза, соответствующая выделенной экипажем угрозе». Для количественной оценки экипажем возникшей ситуации ему предъявляется на ИУП соответствующая таблица (пунктирные линии связи на рис.4).

Столбцы этой таблицы (слева направо): название координат ситуационного вектора матрицы знаний; универсальные множества нечетких множеств, соответствующих лингвистическим переменным; столбец по координатной оценке ситуации экипажем (пример ниже в табл. 2).

Экипаж оценивает по координатам сложившуюся ситуацию и передает эту информацию в БОСЭС-целеполагание (пунктирные линии связи на рис.4), где рассчитываются приоритеты текущей ТС-задания и ТС-угроза, выделенной их множества «Б».

В базе знаний БОСЭС по активизированной матрице знаний и полученному ситуационному вектору с количественными координатами определяется приоритетная ТС [4], которая предъявляется экипажу на ИУП в качестве рекомендуемой текущей цели полета (жирные линии связи на рис.4). Решение о принятии этой рекомендации к исполнению остается за экипажем.

Пример. Фрагменты базы знаний БОСЭС-целеполагание для режима I и решения задачи оперативного целеполагания экипажем пассажирского самолета.

ЛА: пассажирский самолет, полетное задание «Перевезти пассажиров из одного аэропорта в другой».

Априорная информация (из полетного задания), усвоенная экипажем и занесенная в базу знаний БОСЭС-целеполагание :

А) заданная последовательность этапов полета (ТС-задания в множестве «А»),

Б) множество идентификаторов угроз, которые могут появиться в процессе выполнения ЛА полетного задания (множество «У-Б»),

В) множество ТС-угроза (множество «Б»),

Г) матрицы знаний для коллизий «ТС-задания – ТС-угроза»,

Д) ситуационные вектора для коллизий «ТС-задания – ТС-угроза».

Пусть при выполнении ТС-задания «Маршрут» (текущая ТС) возникла непосредственная угроза ««Дебошир в салоне самолета» из раздела угроз «Проблемы в пассажирском салоне».

Для этой коллизии в базе знаний БОСЭС-целеполагание есть:

Г) матрица знаний (представлена в табл.1),

Д) ситуационный вектор с координатами $X_1 =$ ЛП «Расстояние до аэропорта», $X_2 =$ ЛП «Возможность блокировки дебошира», $X_3 =$ ЛП «Реакция пассажиров», $X_4 =$ ЛП «Влияние на престиж авиакомпании». Состав термов названных лингвистических переменных (ЛП) указан в табл. 1. Каждой ЛП поставлен в соответствие ансамбль нечетких множеств, ансамбли функций принадлежности этих нечетких множеств представлены на рис. 5-8.

Таблица 1

Матрица знаний для пары «ТС «Маршрут» (из множества «А») - ТС «Возврат на аэродром» (из множества «Б») для угрозы «Дебошир в салоне самолета»

Используемый опыт	Координаты ($x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$) ситуационного вектора SV(ТС «Маршрут» - ТС «Возврат на аэродром»)				Прецеденты
	X1: ЛП «Расстояние до аэропорта»	X2: ЛП «Возможность блокировки дебошира»	X3: ЛП «Реакция пассажиров»	X4: ЛП «Влияние на престиж авиакомпании»	
Множество термов ЛП	Большое (bg) Среднее (md) Малое (sm)	Большая (efft) Средняя (smef) Небольшая (insg)	Возмущение (indg) Недовольство (dspl) Неодобрение (dspr)	Большое (cns) Среднее (mrk) Малое (ngr)	
1.1 1.2	md bg	efft smef	indg dspl	mrk cns	ТС «Маршрут»
2.1 2.2 .	sm md	insg smef	dspl indg	cns mrk	ТС «Возврат на аэродром»

Представление термов лингвистических переменных X1- X4, используемых в матрице знаний (табл.1), через ансамбли функций принадлежности соответствующих нечетких множеств показано на рис. 5 – 8.

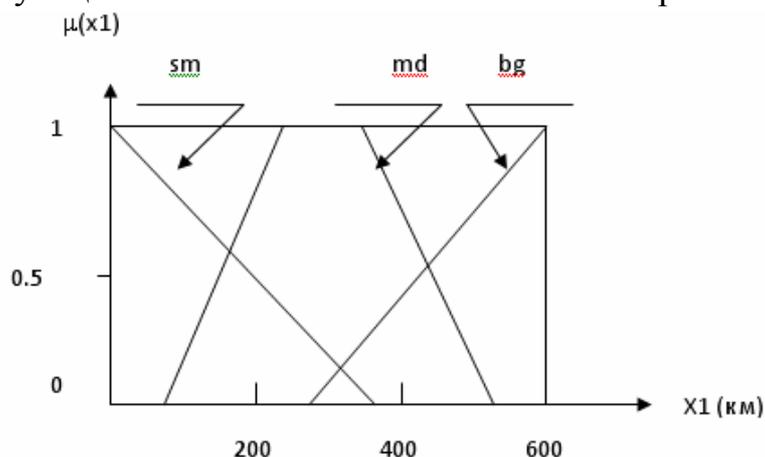


Рис. 5. Представление термов лингвистической переменной X1 через ансамбль нечетких множеств, определяемых на универсальном множестве [0 - 600]

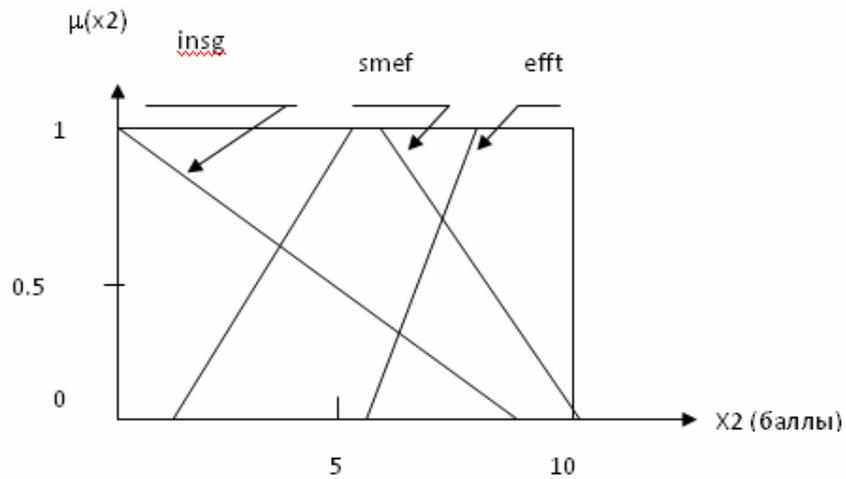


Рис. 6. Представление термов лингвистической переменной X2 через ансамбль нечетких множеств, определяемых на универсальном множестве [0 - 10]

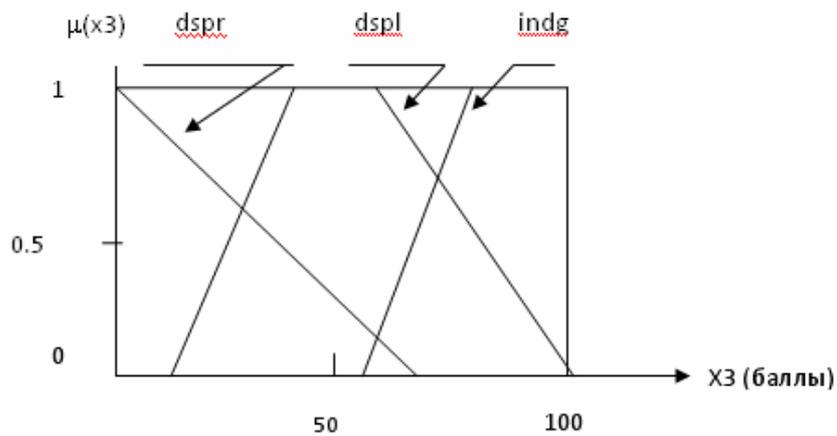


Рис. 7. Представление термов лингвистической переменной X3 через ансамбль нечетких множеств, определяемых на универсальном множестве [0 - 100]

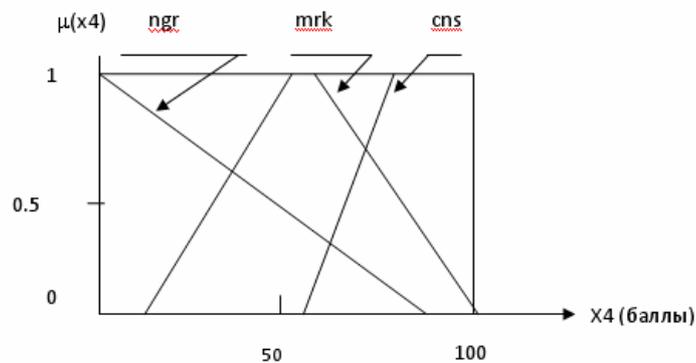


Рис. 8. Представление термов лингвистической переменной X3 через ансамбль нечетких множеств, определяемых на универсальном множестве [0 - 100]

Экипаж выделением угрозы «Дебошир в салоне самолета», активизирует в БОСЭС-целеполагание режим работы I. Вслед за этим из БОСЭС-целеполагание экипажу предъявляется таблица ситуационного вектора для количественной оценки экипажем координат вектора (табл. 2).

Таблица 2

Количественная оценка экипажем координат ситуационного вектора SV(ТС "Маршрут" - ТС «Возврат на аэродром»)

Координаты ситуационного вектора SV(ТС "Маршрут" - ТС «Возврат на аэродром»)	Универсальное множество [...]	Ваша оценка ситуации должна браться из соответствующего универсального множества
X1 = «Расстояние до аэропорта»	[0, 600], км	$X^*1 = 350,$
X2 = «Возможности блокировки дебошира»	[0,10], баллы	$X^*2 = 4$
X3 = «Реакция пассажиров»	[0,100], баллы	$X^*3 = 6$
X4 = «Влияние на престиж авиакомпании»	[0,100], баллы	$X^*4 = 40$

Пусть сложившуюся ситуацию экипаж оценил точкой $X^*1 = 350$, $X^*2 = 4$, $X^*3 = 60$, $X^*4 = 40$, взятой из декартового произведения универсальных множеств $[0-600] \times [0-10] \times [0-100] \times [0-100]$.

В соответствии с [4] определяются приоритеты ТС "Маршрут" и ТС «Возврат на аэродром» (табл.3).

В результате вычислений [4] определяется ТС с высшим приоритетом. Это ТС «Возврат на аэродром». Она рекомендуется экипажу в качестве текущей цели полета.

2.2. БОСЭС-целеполагание в режиме II. Работа БОСЭС-целеполагание в режиме II активизируется в ситуации, когда ЛА-том выполняется типовая ситуация ТС–угроза и когда в этой ТС-угроза вырабатывается и передается в БОСЭС-целеполагание сигнал «Угроза миновала» [8].

Следует отметить, что исходом ситуации ТС-угроза может быть:

а) работоспособный (полностью или частично) ЛА с частично использованным бортовым расходуемым ресурсом,

б) существенно поврежденный ЛА с частично использованным бортовым расходуемым ресурсом,

в) исходы а) и б) с частично утраченной работоспособностью экипажа.

Таблица 3

Числовая матрица знаний для точки ($X^*1= 350$, $X^*2 = 4$, $X^*3= 60$, $X^*4 = 40$).

Используемый опыт	Оценка степени принадлежности координат точки ($X^*1= 350$, $X^*2 = 4$, $X^*3= 60$, $X^*4 = 40$) соответствующему нечеткому множеству [6]				Вычисление приоритетов ТС		
	X1	X2	X3	X4	min	Приоритет ТС (max)	Конкурирующие ТС
1.1	0.10	0.00	0.15	0.65	0.00	0.00	ТС «Маршрут»
1.2	0.20	0.90	0.95	0.00	0.00		
2.1	0.10	0.60	0.95	0.00	0.00	0.15	ТС «Возврат на аэродром»
2.2	1.00	0.90	0.15	0.65	0.15		

Как правило, во всех этих случаях полной и достоверной количественной информации по оставшейся работоспособности ЛА и его систем на борту современных и разрабатываемых сложных ЛА нет.

Из этого следует, что решение о степени работоспособности ЛА, необходимой для продолжения выполнения генеральную задачу вылета, в случае поступления отказа одной или нескольких бортовых системы или повреждений ЛА от его взаимодействия с возникшей угрозой должен принимать экипаж. Это решение будет эвристическим и его придется принимать экипажу, ориентируясь на имеющуюся информацию на ИУП и на собственные ощущения. Для оценки состояния экипажа инженеры могут полагаться тоже только на его самооценку.

Аналогичная ситуация с оценкой достаточности бортовых расходуемых ресурсов для продолжения выполнения генеральной задачи вылета.

Так на современных истребителях хорошо проработана алгоритмическая оценка достижимости по топливу любого пункта, указанного экипажем [2]. При этом предполагается полная работоспособность двигателя.

На борту ЛА всегда определяется остаток расходуемых ресурсов, но оценки достаточности его для продолжения выполнения генеральной зада-

чи вылета на борту нет. Инженеры опять должны рассчитывать на эвристическую оценку экипажа.

В режиме II в БОСЭС-целеполагание решается задача: а) возможного возврата к выполнению прерванного угрозой выполнения полетного задания, б) необходимости отказа от выполнения генеральной задачи вылета, в) сохранения целостности ЛА.

Структура базы знаний БОСЭС-целеполагание в режиме II (рис.9) близка к структуре базы знаний режима I.

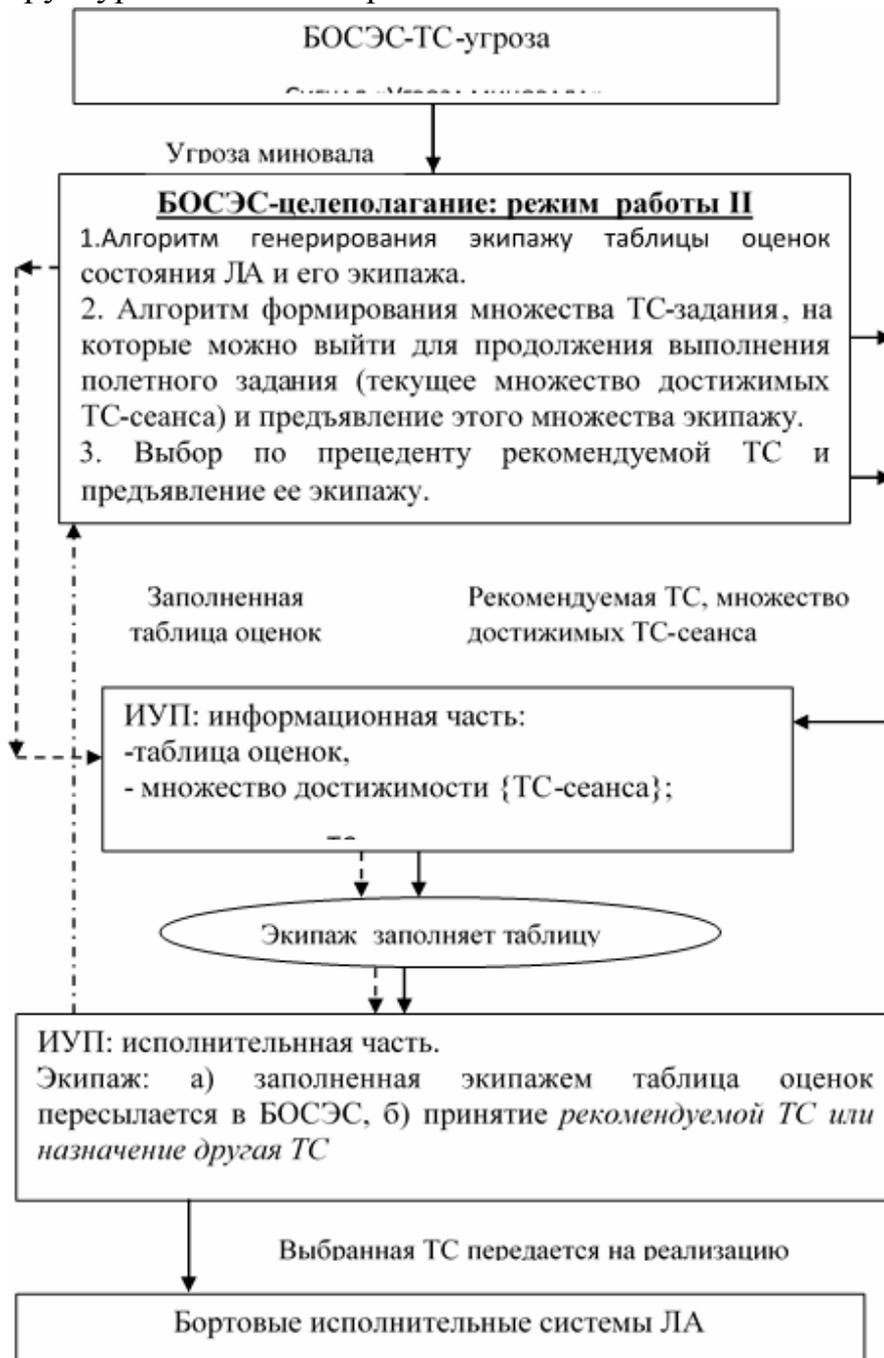


Рис. 9. БОСЭС-целеполагание в режиме II

2.3. БОСЭС-целеполагание в режиме III. Работа БОСЭС-целеполагание в режиме III активизируется в ситуации, когда из ИИС СОЭ поступает информация об угрозе, момент появления которой не оставляет экипажу времени на выработку решения (обозначим эти угрозы Внш-3 и Внт-3) (рис.10).

Вырабатываемые БОСЭС-целеполагание рекомендации по противодействию угрозам типа Внш-3 и Внт-3 немедленно передаются на реализацию в бортовые исполнительные системы ЛА и одновременно с этим передаются экипажу сообщения типа: «Автоматическое предварительное изменение текущего состояния ЛА с последующим автоматическим выполнением противодействия угрозе Внш-3 или Внт-3 через $\Delta t_{\text{ожд}}$ сек.» или «Автоматическое выполнение противодействия угрозе Внш-3 и Внт-3 немедленно».

Опишем диалог «Экипаж – БОСЭС-целеполагание».

БОСЭС-целеполагание информирует экипаж о возникновении угрозы Внш-3 или Внт-3 и о предварительном изменении текущего состояние ЛА (пунктирная линия на рис.10).

Экипаж принимает эту информацию к сведению (сплошная линия на рис.10).

БОСЭС-целеполагание передает в бортовые исполнительные системы ЛА соответствующие сигналы для изменения текущего состояния ЛА с последующей реализацией соответствующей ТС-угроза (сплошная линия на рис.10).

Заключение. Задача оперативного целеполагания возникает перед экипажем, когда в процессе выполнения летательным аппаратом полетного задания появляется непосредственной угрозы его выполнению. С позиций концептуальной модели «Этап» ее суть - сопоставление текущей ТС-задания с ТС-угроза, в которой эффективно решается задача противодействия возникшей угрозе, и выбор из них для реализации приоритетной ТС.

Процесс решения экипажем задачи оперативного целеполагания включает в себя три составляющих, в которых процесс поддерживается следующими бортовыми компьютерными системами:

- «Системой обнаружения потенциальных угроз», предъявляющей экипажу потенциальные угрозы выполнению полетного задания (повышение *осмотрительности экипажа*),

- «Интеллектуальной информационной системой «Ситуационная осведомленность экипажа»» (ИИС СОЭ), предъявляющей экипажу непо-

средственные угрозы выполнению полетного задания (повышение *ситуационной осведомленности экипажа*),

- бортовой оперативно советующей экспертной системой «Оперативное целеполагание» (БОСЭС-целеполагание), рекомендующей экипажу текущую цель полета (повышение *ситуационной уверенности экипажа*).

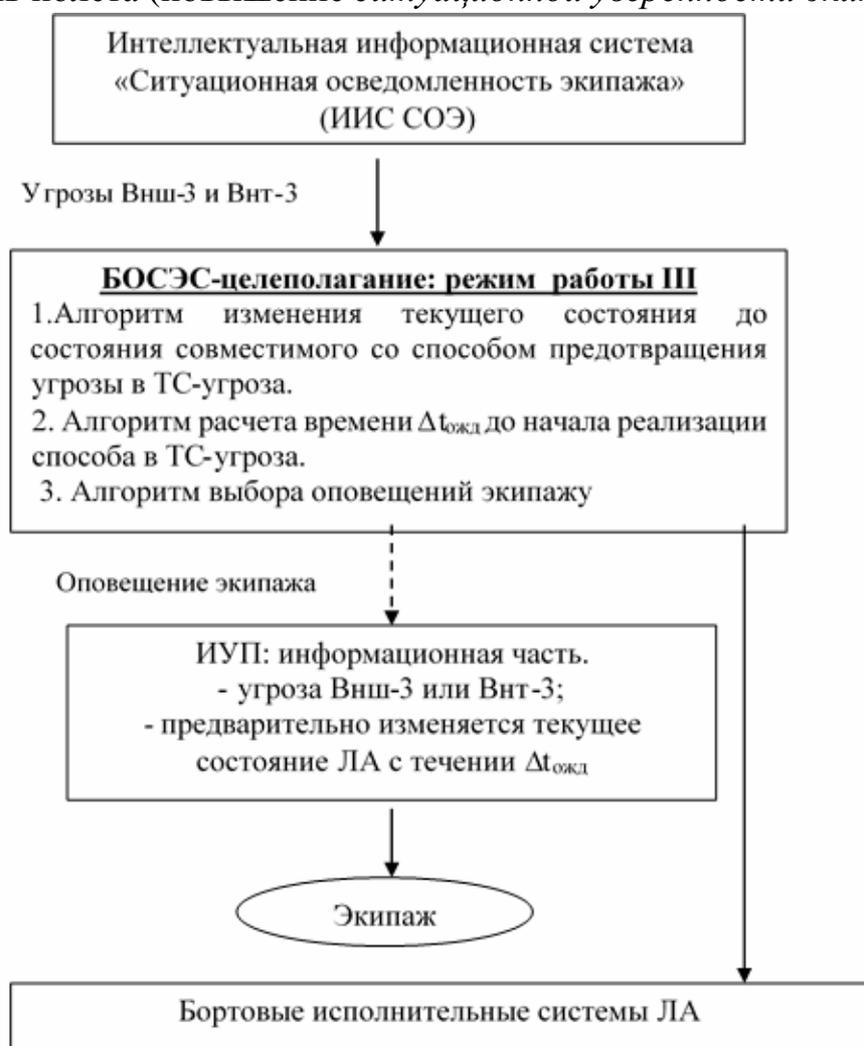


Рис. 10. БОСЭС-целеполагания в режиме III

В [9] описано взаимодействие названных бортовых интеллектуальных систем с другими бортовыми интеллектуальными системами (БОСЭС ТС), поддерживающими процесс решения экипажем задачи конструирования способа достижения оперативно назначаемой цели полета.

Авторы доклада не обнаружили в открытой печати систем, поддерживающих решение задач ГЛУУ. Их пока нет. Это слабо формализованная предметная область и наша работа является, по-видимому, первой, в которой конструктивно описывается алгоритм оперативного целеполагания на летательном аппарате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федунов Б.Е. Модель «Этап» для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов. Изд. «Новая техника». г. Самара. Журнал «Онтология проектирования». №2 (4), 2012, стр.36- 43.
2. F-16 A/B Mid-Life Update Production Tape M3 The Pilot'a Guide 2004 by Lockheed Martin Corporation. (http://www.airwar.ru/other/bbl_r.html)
3. Колисниченко А.В. (АО "Камов"), Федунов Б.Е. («ГосНИИАС») Бортовая интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа вертолета». Мехатронника, автоматизация, управление. 2016, №10, стр. 703-708
4. Федунов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. №4
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений. М.: Радио и связь, 1976.
6. Прохоров М. Д. Федунов Б.Е. Вывод по прецеденту в базах знаний бортовых интеллектуальных систем, размещаемых на борту антропоцентрических объектов// Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. №3.
7. Желтов С.Ю., Федунов Б.Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели «Этап». I. Структуры алгоритмов поддержки процесса решения задачи экипажем.— М., Изв. РАН, ТиСУ, 2015, №3 стр.57
8. Желтов С.Ю., Федунов Б.Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели «Этап». II. Режимы работы бортовой оперативно советующей экспертной системы и диалоги ее с экипажем. – М., Изв. РАН, ТиСУ, 2016, №3 стр.55 – 69.
9. Федунов Б.Е. «Электронный летчик»: «Точка невозврата пройдена не будет». Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактического уровня для пилотируемых летательных аппаратов.- М., Авианорама. 2016, №1. С.9-20 (свободный доступ к журналу в Интернете)

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ
СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

A.S. Katasev (КНИТУ-КАИ, Россия,
420111, Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: Kat_726@mail.ru

**TECHNOLOGY FOR FUZZY RULES GENERATION
IN INTELLIGENT SYSTEMS OF COMPLEX OBJECTS
CONDITION DIAGNOSTICS**

A.S. Katasev (KNRTU-KAI, Russia,
420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: neuro-fuzzy model, fuzzy rules generation, intelligent system, complex object, diagnostics.

В настоящее время для решения большого количества практических задач в различных предметных областях человеческой деятельности широкое применение получили экспертные системы. Их появление обусловлено необходимостью тиражирования знаний экспертов в связи с возрастанием числа сложных объектов, при работе с которыми знаний и квалификации обычных специалистов становится недостаточно.

Для описания сложного объекта, как правило, приходится оперировать данными, обладающими следующими особенностями:

- большой объем;
- разнотипность;
- наличие нечеткости в данных;
- отсутствие части исходных данных;
- большое количество параметров.

Достоинством экспертных систем является высокая эффективность их применения при решении практических задач в указанных условиях.

Среди всего множества классов экспертных систем особое место занимают диагностические системы в виду важности решения данной задачи в широком диапазоне предметных областей: экономическая, медицинская, техническая диагностика и др.

При построении экспертной системы перед ее разработчиками встают проблемы добычи и формализации знаний. Существует два основных способа получения знаний [2]: ручной и автоматизированный. В первом случае правила формулируются экспертом, что требует от него большой аналитической работы. Во втором случае используются различные инстру-

ментальные средства формирования правил на основе методов, моделей и алгоритмов интеллектуального анализа данных. Данный подход к получению знаний является актуальным и может быть использован при формировании баз знаний мягких экспертных диагностических систем [5].

Практическая реализация задачи формирования базы знаний требует решения вопросов выбора и разработки модели представления знаний для диагностики состояния сложного объекта с учетом особенностей исходных данных, а также методов, моделей и алгоритмов анализа данных с целью построения модели диагностики выбранного вида.

На основе анализа моделей представления знаний в экспертных системах и с учетом особенностей обрабатываемых данных предлагается нечетко-продукционная модель следующего вида [4]:

$$\text{«ЕСЛИ } x_1 = \tilde{A}_1(w_1) \text{ И } x_2 = \tilde{A}_2(w_2) \text{ И... } x_n = \tilde{A}_n(w_n) \text{ ТО } y=B \text{ » } [CF], \quad (1)$$

где $x_i, i = \overline{1, n}$ – входные переменные, $w_i \in [0,1]$ – веса условий, \tilde{A}_i – ограничения для четких и нечетких входных условий, y – выходная переменная, B – четкое значение выхода (диагноз), $CF \in [0,1]$ – достоверность правила.

Применение правил вида (1) делает возможным:

- использование разнотипных входных и выходных параметров;
- обработку четких и нечетких входных данных;
- учет значимости условий в правиле;
- учет достоверности каждого правила.

Для решения задачи моделирования состояний сложного объекта возникает необходимость группировки его параметров. Пусть P – множество параметров объекта диагностики, D – множество диагнозов состояния объекта, $P_u \in P$ – множество целевых параметров – признаков диагнозов. Разработанная методика группировки позволяет формировать группы параметров $G_j = \{P_j^{\hat{\alpha}\hat{\sigma}}, p_{\hat{\sigma}_j}\}$, $j = \overline{1, m}$, где $P_j^{\hat{\alpha}\hat{\sigma}} \subset P$ – множество входных параметров для каждого из целевого $p_{\hat{\sigma}_j} \notin P_j^{\hat{\alpha}\hat{\sigma}}$, значимо влияющих на него.

Пример группировки параметров объекта представлен на рисунке 1.

По каждой группе параметров строится система правил вида (1), представляющих собой комбинацию условий со значениями входных параметров и соответствующими значениями целевого. Совокупность построенных систем правил, определяемая группами параметров G_j , структурой их взаимосвязей и значениями входных и целевых параметров, образуют параметрическую нечетко-продукционную модель состояния сложного объекта. Параметрами модели выступают:

1. функции принадлежности $\mu_{\tilde{A}_i}(x_i)$ нечетких входных условий;
2. достоверность каждого правила CF ;
3. веса условий w_i в правилах.

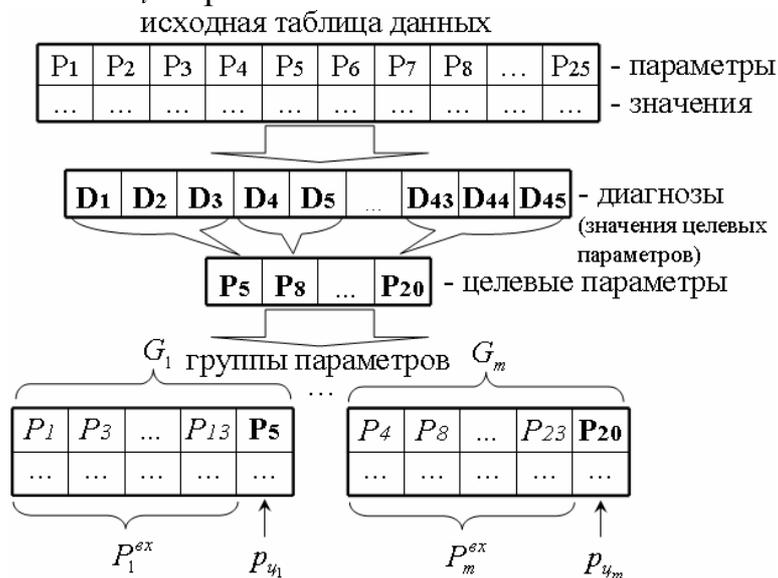


Рис. 1. Пример группировки параметров

Практическое применение модели для решения задачи диагностики состояния сложного объекта требует идентификации параметров модели путем ее параметрической адаптации к имеющимся данным.

Для параметрической адаптации модели состояния объекта к имеющимся данным требуется определение значений параметров модели, при которых минимизируется ошибка ее классификационной способности – отношение числа $N_{i\hat{a}i\delta}$ неправильно оцененных с помощью модели состояний объекта к общему объему N исходных данных:

$$E(Y) = \frac{N_{i\hat{a}i\delta}}{N} \rightarrow \min_Y, \quad (2)$$

где Y – вектор параметров модели (1-3).

Решение данной задачи включает этапы инициализации и уточнения параметров модели для удовлетворения критерию (2). Инициализация параметров модели производится на основе предварительного статистического анализа исходных данных. Уточнение параметров модели производится путем построения нечетких нейронных сетей и их обучения на множестве обучающих выборок по каждой группе параметров.

На рисунке 2 представлен пример структуры нейронной сети [3], соответствующей системе правил одной группы параметров.

В результате обучения всех нечетких нейронных сетей на множестве обучающих выборок определяются значения параметров функций принад-

лежности в правилах вида (1), весов условий правил и достоверности каждого правила. Таким образом, происходит параметрическая адаптация модели состояния сложного объекта к имеющимся данным. Полученные при этом системы нечетких правил с найденными значениями параметров формируют базу знаний мягкой экспертной диагностической системы.

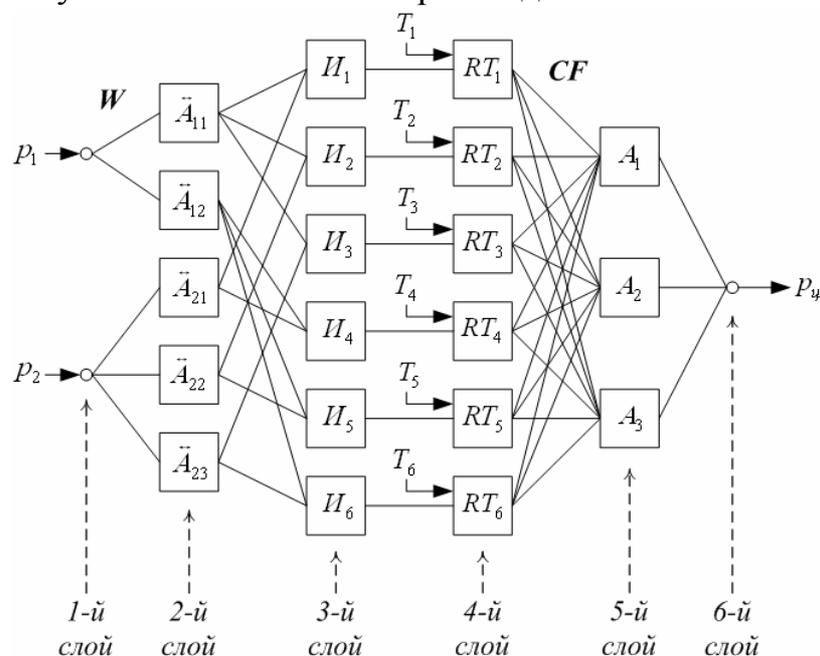


Рис. 2. Пример структуры нечеткой нейронной сети

Описанная в данной работе технология является примером реализации стратегии обнаружения знаний в базах данных [1]. Ее применение позволяет повышать эффективность создания экспертных систем за счет автоматизации формирования баз знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frawley M.J., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C.J. Knowledge discovery in databases: An overview. AI Magazine, 1992. – pp. 1-27.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.: ил.
3. Катасёв А.С., Ахатова Ч.Ф. Гибридная нейронечеткая модель интеллектуального анализа данных для формирования баз знаний мягких экспертных диагностических систем // Наука и образование (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный журнал) . – 2012. – № 12.
4. Катасёв А.С., Газимова Д.Р. Инвариантная нечетко-продукционная модель представления знаний в экспертных системах // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2011. – №1. – С. 142-148.
5. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.: ил.

ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Д.В. Камасёва (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: 415pisarevadv@mail.ru

TECHNOLOGY OF TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING BASED ON NEURO-FUZZY MODEL

D. V. Kataseva (KNRTU-KAI, Russia, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: neuro-fuzzy model, fuzzy logic, time series, forecasting.

Введение. В настоящее время решение практических задач на основе анализа и прогнозирования временных рядов находит широкое применение в различных сферах человеческой деятельности [5,6,15]. Получение прогнозных значений по исходным данным временного ряда актуально для решения задач планирования в экономике, торговле, управлении, оценке рисков информационной безопасности, а также при построении интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Для решения подобных задач широкое применение получили различные методы моделирования [11,16], в частности адаптивные методы искусственного интеллекта – нечеткие нейронные сети [14]. Успешность их применения основана на сочетании достоинств нейронных сетей [8,9,10,12,13] (возможность адаптивного самообучения) и нечетких систем [1,4,7] (простота лингвистической интерпретации получаемого с их помощью результата). Поэтому, целью данного исследования является построение нейронечеткой модели, оценка ее адекватности и возможности эффективного практического использования для анализа и прогнозирования временных рядов.

Наиболее популярной нечеткой нейронной сетью для прогнозирования является сеть *ANFIS*, основанная на системе нечеткого логического вывода Сугено. Рассмотрим реализацию этапа подготовки исходных данных для обучения нечеткой нейронной сети *ANFIS*.

Подготовка данных для анализа. Подготовка исходных данных для анализа осуществлялась на базе аналитической платформы *Deductor Studio Academic 5.3* [17,18]. Исходные данные временного ряда были представлены количеством ежедневно поступающих исковых заявлений в Арбитражный суд Республики Татарстан по категории судебных споров «О неисполнении или ненадлежащем исполнении обязательств по договору» [15].

С целью предварительной очистки и повышения эффективности анализа исходные данные были агрегированы по неделям. К полученным данным была применена спектральная обработка по методу Фурье-преобразования. В результате удалось добиться сглаживания временного ряда за счет удаления шума. Также были проведены расчеты значений автокорреляционной зависимости в исходных и полученных данных.

В таблице 1 представлены результаты автокорреляционного анализа временного ряда.

Таблица 1

Значения автокорреляций данных временного ряда

Лаг	Данные до очистки	Данные после очистки
0	1	1
1	0,22	0,9
2	0,23	0,64
3	0,08	0,32
4	0,02	0,05

Как видно из таблицы сила корреляционной зависимости при различных значениях временного лага существенно выше в очищенных данных. При этом высокие значения коэффициентов корреляции наблюдаются при значениях лага 0, 1 и 2.

Для формирования обучающей выборки потребовалась трансформация очищенных данных временного ряда по методу скользящего окна [19]. В параметрах трансформации были заданы следующие значения:

- интервал прогноза – 1 неделя;
- горизонт прогноза – 1 неделя;
- глубина погружения – 2 недели.

Таким образом, в работе реализована следующая методика подготовки исходных данных для анализа временного ряда:

- 1) первичный визуальный анализ данных временного ряда на полноту измерений, наличие шумов и аномальных значений;
- 2) агрегация данных временного ряда по различным измерениям (день/неделя/год);
- 3) очистка данных временного ряда на основе метода Фурье-преобразования;
- 4) преобразование данных временного ряда методом скользящего окна.

Построение нейронечеткой модели. Для построения нейронечеткой модели была выбрана среда моделирования *MatLab*, так как этот программный продукт обладает необходимым набором инструментов для соз-

дания нечетких нейронных сетей, а именно включает пакет расширения *Fuzzy Logic Toolbox* [20]. Нечеткая нейронная сеть *ANFIS* является аналогом модели нечеткого вывода Сугено. Данная сеть позволяет выполнять аппроксимацию данных с помощью нечетко-продукционных правил вида:

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ } x_1 = \tilde{A}_1 \text{ И } x_2 = \tilde{B}_1 \text{ ТО} \\ &y_1 = c_{11} \cdot x_1 + c_{12} \cdot x_2; y_1 = c_{11} \cdot x_1 + c_{12} \cdot x_2; \\ &\text{ЕСЛИ } x_1 = \tilde{A}_2 \text{ И } x_2 = \tilde{B}_2 \text{ ТО} \\ &y_2 = c_{21} \cdot x_1 + c_{22} \cdot x_2; y_2 = c_{21} \cdot x_1 + c_{22} \cdot x_2; \end{aligned}$$

На рисунке 1 представлен пример структуры сети *ANFIS*, соответствующей данным правилам.

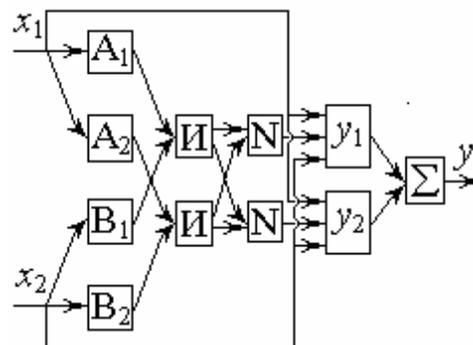


Рис. 1. Пример структуры сети *ANFIS*

Как видно из данного рисунка, значение на выходе нейро-нечеткой сети *ANFIS*, как и в системе нечеткого вывода Сугено, вычисляется по следующей формуле:

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2},$$

где y_1 и y_2 – выходные значения нечетких правил, а w_1 и w_2 – степени срабатывания их антецедентов.

В нечеткой нейронной сети *ANFIS* каждый ее слой выполняет соответствующие функции. Первый слой содержит функции принадлежности нечетких градаций входных переменных нейронной сети. Выходами нейронов данного слоя являются степени срабатывания входных сигналов, соответствующие значениям функций принадлежности. Вторым слоем составляют «И»-нейроны, моделирующие логическую связку «И» в антецедентах нечетких правил. Выходными значениями данных нейронов являются степени срабатывания антецедентов каждого правила, вычисляемые по формуле: $w_i = \mu_{\tilde{A}_i}(x_1) \cdot \mu_{\tilde{B}_i}(x_2)$. Нейроны третьего слоя формируют нормали-

зованный вес i -го правила: $\beta_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}$ $\beta_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}$. Четвертый слой вычисляет выходное значение переменной $y(x_1, x_2) = \beta_i \cdot (c_{i1}x_1 + c_{i2}x_2)$. Нейрон пятого слоя формирует выходное значение сети по формуле: $y = \beta_1 y_1 + \beta_2 y_2$.

Таким образом, логика работы сети *ANFIS* полностью соответствует алгоритму нечеткого логического вывода Сугено. Для построения нейро-нечеткой модели, после выполнения этапов очистки, подготовки и экспортирования входных данных, необходимо выполнить следующие шаги:

- для каждой из входных лингвистических переменных задать по три нечеткие переменные с треугольной функцией принадлежности;
- в качестве функции активации выходного нейрона выбрать линейную функцию;
- для обучения нечеткой нейронной сети использовать алгоритм обратного распространения ошибки, ошибку обучения задать равной 0,05, число эпох обучения установить 1000 и обучить систему на обучающей выборке.

После выполнения указанных шагов формируется искомая нейро-нечеткая модель. На рисунке 2 представлена структура построенной сети.

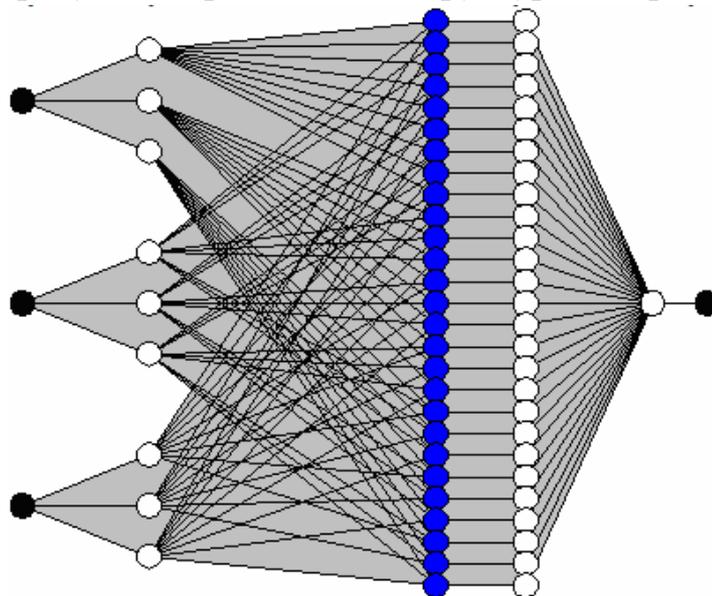


Рис. 2. Структура нейро-нечеткой сети *ANFIS*

Как видно из рисунка, сеть состоит из трех входных нейронов с тремя нечеткими градациями каждый. Модель включает 27 нечетких правил, использование которых позволяет формировать выходное значение единственного выходного нейрона. Для определения ее готовности к использованию необходимо тестирование и оценка ее эффективности.

Тестирование и оценка эффективности нейронечеткой модели.

Для практического использования построенной модели требуется определение ее адекватности, т.е. соответствие тому, насколько точно она решает поставленную задачу прогнозирования временного ряда. Адекватность модели можно определить с помощью метода бутстреп-оценок [2]. Получение данных оценок основано на процедуре сэмплинга с замещением, который позволяет выбирать одни и те же записи из исходных данных несколько раз, формируя обучающие и тестовые выборки.

Рассмотрим частный случай данного метода, называемый 0,632-бутстрепом [18]. Суть данного метода состоит в том, что записи из исходного множества данных объема n выбираются с замещением n раз. При этом формируется другое множество данных, состоящее из n записей. Так как некоторые записи в результирующем множестве являются дубликатами, а исходное и сформированное множества данных включают равное количество записей, то некоторые из них не будут содержаться во втором множестве. Такие записи можно использовать для тестирования модели.

Вероятность выбора одной записи равна $1/n$. Следовательно, вероятность того, что запись не будет выбрана, равно $1-1/n$. Перемножив данные вероятности n раз, получим следующий результат: $(1-1/n)^n \approx e^{-1} = 0,368$. В данном случае получаем вероятность того, что некоторая запись не будет использована ни разу. Таким образом, при большом объеме исходных данных объем тестовых данных будет составлять около 36,8% записей, а обучающих данных – 63,2%. Некоторые записи в обучающей выборке данных будут дублироваться, за счет чего ее объем будет равен объему исходного множества. Для автоматизации создания обучающего и тестового множеств рассмотренным методом 0,632-бутстрепа был создан скрипт на языке *Python*. Обучим и протестируем нейронечеткую модель на этих данных. На рисунке 3 представлен результат тестирования модели.

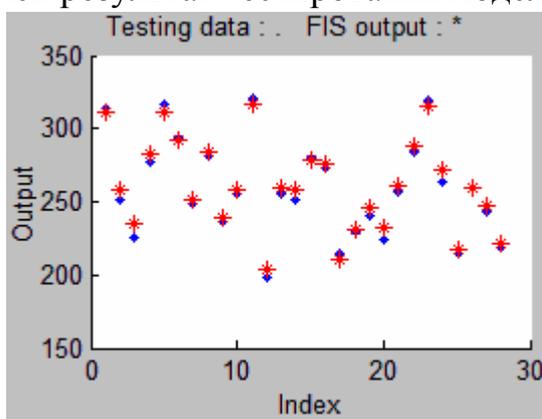


Рис. 3. Пример тестирования нейронечеткой модели

Как видно из рисунка, результаты тестирования свидетельствуют об адекватности нейронечеткой модели. Кроме того, в среде *Deductor* на данных из обучающей выборки построена нейросетевая модель, результат тестирования которой представлен на рисунке 4.

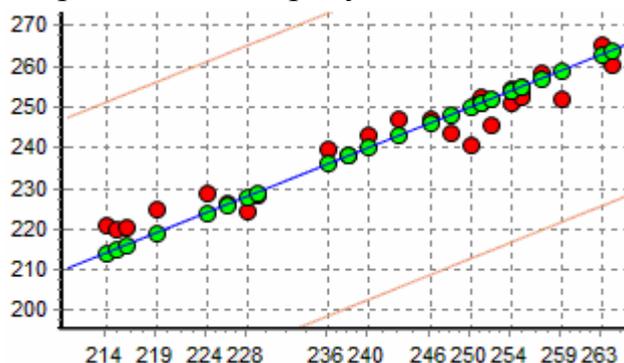


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для тестирования нейросетевой модели

Данный рисунок также иллюстрирует высокую адекватность нейросетевой модели. Однако известно [18], что результаты, полученные в процессе обучения модели на данных из обучающей выборки, и результаты тестирования модели будут пессимистичными. Это является следствием того, что обучающее множество, имея размер n , включает лишь 63% исходных записей, что не всегда является достаточным. Чтобы компенсировать недостаток данного метода, можно комбинировать ошибку на тестовом множестве ϵ_{test} с ошибкой обучения ϵ_{train} . Таким образом, получаем итоговую ошибку модели $\epsilon = 0,632 \cdot \epsilon_{test} + 0,368 \cdot \epsilon_{train}$.

При этом процедура бутстреппирования повторяется несколько раз при различных сформированных обучающих и тестовых выборках, а рассчитанные ошибки модели усредняются. В таблице 2 приведены численные результаты экспериментов в виде значений бутстреп-оценок для нейросетевой (НС) и нейронечеткой (НН) моделей.

Таблица 2

Бутстреп-оценки построенных моделей

Оценки		№ выборки	1	2	3	4	5
Σ_{train}	НС		6,1	4,4	4,5	4,7	4,8
	НН		3,1	3,6	3,5	3,1	3,2
Σ_{test}	НС		6,2	4,7	6,8	5,5	4,7
	НН		6,3	7,1	5,2	6,1	4,6
Σ	НС		6,1	4,6	5,9	5,2	4,7
	НН		5,1	5,8	4,6	5,0	4,0
Σ_{avg}	НС		5,3				
	НН		4,9				

Из данной таблицы видно, что нейронечеткая и нейросетевая модель имеют достаточно низкую среднюю ошибку прогнозирования ε_{avg} : 4,9 и 5,3 соответственно. Однако нейронечеткая модель обладает большей точностью, наглядностью и простотой лингвистической интерпретацией. Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод об успешном применении нейронечеткой модели для решения задачи прогнозирования временного ряда.

Заключение. Как показали результаты проведенных исследований, построенная нейронечеткая модель показала высокую эффективность, сравнимую с нейросетевой моделью. Средняя ошибка прогнозирования временного ряда по методу бутстреп-оценки составила 4,9. Следовательно, можно утверждать, что нейронечеткая модель является адекватной, что позволяет ее успешно использовать для анализа и прогнозирования временных рядов в различных сферах человеческой деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулхаков А.Р., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Методы редукции нечетких правил в базах знаний интеллектуальных систем // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 23. – С. 389-392.
2. Антонов А.В., Соколов С.В., Чепурко В.А. Бутстреп-метод оценки характеристик надежности восстанавливаемых объектов по специфическим данным об отказах // Информационные технологии. – 2012. – № 4. – С. 50-54.
3. Иванюк В.А., Цвиркун А.Д. Обзор моделей и методов прогнозирования финансовых временных рядов // Восьмая международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем». – Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук; Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – 2015. – С. 377-382.
4. Катасёв А.С., Емалетдинова Л.Ю. Нечетко-продукционная каскадная модель диагностики состояния сложного объекта // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – № 1. – С. 69-81.
5. Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Кирпичников А.П., Аббянов Б.Э. Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 13. – С. 127-131.
6. Катасёв А.С., Катасёва Д.В. Интеллектуальный анализ временных рядов для формирования нечетких правил диагностики состояния водово-

дов в нефтяной отрасли // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2014. – Т. 1. – С. 85-88.

7. Катасёва Д.В., Катасёв А.С. Фильтрация нежелательных почтовых сообщений на основе нейросетевой и нейронечеткой моделей // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19. – № 4 (4). – С. 551-554.

8. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П. Нейросетевая диагностика аномальной сетевой активности // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 6. – С. 163-167.

9. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П. Нейросетевая технология классификации электронных почтовых сообщений // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 5. – С. 180-183.

10. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П. Нейросетевое прогнозирование инцидентов информационной безопасности предприятия // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 9. – С. 215-218.

11. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П., Гумерова Р.И. Нейросетевая модель распознавания рукописных символов в системах биометрической идентификации и аутентификации // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. № 4. – С. 122-126.

12. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П., Евсеева А.О. Нейросетевая модель идентификации ботов в социальных сетях // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 16. – С. 253-256.

13. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П., Костюжов С.Г. Нейросетевая модель распознавания пользователей в системах дистанционного обучения // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 13. – С. 160-163.

14. Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П., Семенов Я.Е. Спам-фильтрация электронных почтовых сообщений на основе нейросетевой и нейронечеткой моделей // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. № 15. – С. 217-220.

15. Катасёва Д.В. Интеллектуальный анализ временных рядов для прогнозирования нагрузок в сфере экономического правосудия // VIII Международная научно-практич. конференция «Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности» (ЛЭРЭП-8-2014). – 2014. – С. 311-313.

16. Катасёва Д.В. Методы анализа и прогнозирования временных рядов // Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)». – 2015. – С. 115-120.

17. Кацко И.А., Паклин Н.Б. Практикум по анализу данных на компьютере: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «КолосС», 2009. – 278 с.

18. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – СПб.: Питер, 2013. – 704 с.: ил.

19. Рыбин А.Л. Метод скользящего окна для выявления участков концентрации ДТП при аудите безопасности дорожного движения // Авто-транспортное предприятие. – 2014. – № 10. – С. 23-26.

20. Тимшина Д.В., Работа Ю.Ю. Нечеткая логика и анализ эффективности инвестиционных проектов в среде MatLab, Fuzzy Logic Toolbox // Вестник Академии знаний. – 2014. – № 1 (8). – С. 50-60.

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Ю.И. Кербицков (НТЦ СТ АО «ICL-КПО ВС», Россия, 420029,
Казань, Сибирский тракт, 34)
E-mail: kirbex@mail.ru

FACE IMAGE RECOGNITION IN INTELLIGENCE SYSTEMS

Yu.I. Kerbitskov (STC ST AO «ICL-KPO VS», Russia, 420029,
Kazan, Sibirskii trakt, 34)

Keywords: face recognition, hidden markov models.

Введение. Распознавание лиц – это сильно развивающееся практическое приложение теории распознавания образов, которое можно использовать для интерактивного взаимодействия компьютера и человека, а также для обеспечения более высокого уровня безопасности. Биометрические системы идентификации человека применяются в основном в целях того, чтобы предотвратить несанкционированный доступ к какому-либо объекту, будь то обычный файл или охраняемый правительственный объект. Разработка системы распознавания изображений лиц человека, не исключение. Благодаря такой системе можно оперативно реагировать на попытку несанкционированного доступа при наличии одной фото- или видеокамеры. В связи с этим, можно говорить об актуальности данной темы, так как в настоящее время камерами оснащено большинство охраняемых объектов, а также все больше персональных компьютеров имеют интегрированную камеру. Далее следует заметить, что на данный момент времени не существует идеального алгоритма, который бы давал 100% точности при распознавании. Ни один метод биометрической идентификации не даст 100% результат при распознавании, поэтому применяются комбинированные методы, например, распознавание по изображению лица и распознавание по сетчатке глаза. Самый лучший из всех алгоритмов, основанный на применении скрытых Марковских моделей (СММ) дает при тестировании примерно 95% верных распознаваний и при больших объемах базы данных личностей время его выполнения будет недостаточно для оперативного выполнения распознавания. Поэтому разработка нового алгоритма распознавания изображения лица, более быстрого и более точного, является перспективной и далеко не бесполезной затеей.

Проблемы. Распознавание изображения лица человека не такая простая задача как может показаться на первый взгляд. Здесь возникает ряд проблем, о которых человек даже не задумывается, когда видит знакомого человека и узнает его. Человеческий мозг, поскольку обладает ассоциативной памятью, выполняет поиск данных о личности с очень высокой скоростью и невероятной точностью, хотя при некоторых обстоятельствах, например, наличии таких «шумов» как шапка, усы, борода тоже может дать неверный результат. Но вероятность этого крайне мала.

Проблемами при компьютерном распознавании изображения лица являются следующие факторы:

- наличие у человека повышенной растительности на лице – борода, усы, бакенбарды;

- наличие у человека на лице посторонних предметов – очки, клоунский нос и т.д.;

- поворот или наклон головы. Этот фактор резко снижает способность системы правильно опознать человека на фотографии;

- мимика. Это, пожалуй, один из самых влиятельных факторов. Когда лицо человека отображает различные эмоции, оно видоизменяется: рот может быть приоткрыт, брови приподняты или опущены, глаза расширены и т.д. Для человека опять же не составит труда определить личность человека, но для компьютера это вызовет серьезные проблемы и может сильно повлиять на процесс распознавания;

- пластика лица. Глядя на этот фактор можно подвергнуть сомнению распознавание лиц в целом, так как в настоящее время изменить внешний вид лица не составляет большого труда при наличии, соответственно, определенных денежных средств. Но не стоит этого делать, так как пластические операции, которые могут оказать влияние на процесс распознавания, делает небольшой контингент людей.

Изменения с возрастом – это появление новых морщин, изменение цвета кожи лица и т.д.

На сегодняшний день метод, показывающий наилучшие результаты, а также являющийся наиболее перспективным – это метод распознавания изображений лиц с использованием скрытых Марковских моделей.

Скрытые Марковские модели. Скрытая Марковская модель (СММ) представляет собой граф, вершины которого – это состояния, а ребра – вероятности перехода одного состояния в другое. Она задается в виде:

$$\lambda = (A, B, \pi),$$

где $\mathbf{A} = \{a_{ij}\}$ $A = \{a_{ij}\}$ – матрица вероятностей переходов,

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i], 1 \leq i, j \leq N;$$

$a_{ij} = P[qt + 1 = Sj | qt = Si], 1 \leq i, j \leq N$ $B = \{b_j(k)\}$ $\mathbf{B} = \{b_j(k)\}$ – распределение вероятностей появления символов в j -м состоянии,

$$b_j(k) = P[v_k | q_t = S_j], 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M;$$

$b_j(k) = P[vk|qt = Sj], 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M$ $\pi = \{\pi_i\}$ $\pi = \{\pi_i\}$ – распределение вероятностей начального состояния, где $\pi_i = P[q_1 = S_i], 1 \leq i \leq N$.

Основными элементами скрытой Марковской модели (СММ) являются:

1. N – общее количество состояний в модели;
2. $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ – множество состояний модели;
3. q_t – состояние в момент времени t ;
4. M – количество возможных символов в наблюдаемой последовательности;
5. $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ – алфавит наблюдаемой последовательности.

На практике при распознавании применяют псевдо двумерные (рис. 1) и трехмерные СММ.

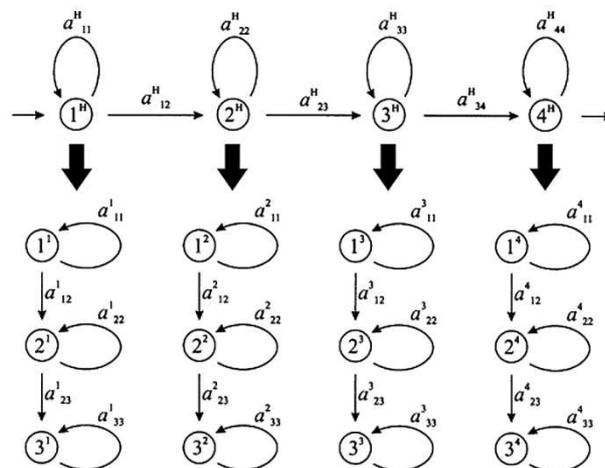


Рис 1. Псевдо двумерные СММ

Для того, чтобы успешно применять СММ, необходимо решить три основные задачи.

Смысл первой задачи заключается в том, чтобы вычислить $P(O | \lambda)$ - вероятность того, что данная наблюдаемая последовательность построена именно для данной модели. При этом известна наблюдаемая последовательность $O = O_1 O_2 \dots O_T$ и модель $\lambda = (A, B, \pi)$. Для решения данной задачи применяется алгоритм вперёд-назад, который заключается в вычислении прямых и обратных вероятностей, а далее сглаживании вероятностей.

Для решения второй задачи необходимо подобрать последовательность состояний системы $Q = q_1, q_2, \dots, q_T$, которая лучше всего соответствует наблюдаемой последовательности, то есть «объясняет» наблюдаемую последовательность. В данном случае известна наблюдаемая последовательность $O = O_1 O_2 \dots O_T$ $\mathbf{O} = \mathbf{O}_1, \mathbf{O}_2, \dots, \mathbf{O}_T$ и модель $\lambda = (A, B, \pi)$. Для решения второй задачи используется алгоритм Витерби, который состоит в поиске наиболее правдоподобных состояний.

Третья задача – задача обучения. Подобрать параметры модели $\lambda = (A, B, \pi)$ $\lambda = (A, B, \pi)$, чтобы максимизировать $P(\mathbf{O}|\lambda)$. Данная задача решается с помощью алгоритма Баума-Велша. Данный алгоритм итеративно обновляет параметры модели до схождения в одной точке.

Применительно к распознаванию изображений, сначала необходимо решить третью задачу, то есть обучить систему, подобрать параметры таким образом, чтобы система максимально точно распознавала неизвестные образы. Далее решается вторая задача, то есть модель настраивается и ее точность при правильной настройке повышается. И в самом конце подается неизвестный образ (наблюдаемая последовательность) и решается первая задача, то есть вычисляются вероятности принадлежности входного изображения к каждому изображению из базы. Выбирается наибольшая вероятность и делается предположение, что лицо найдено в базе.

Наблюдаемая последовательность для изображения лица представлена на рис. 2. Изображение сканируется окном определенного размера (чёрный квадрат на рисунке), и фрагменты изображения извлекаются. Затем, для того чтобы убрать из изображения все лишнее, из каждого наблюдения выделяют параметры любым из вышеописанных методов. Но чаще всего на практике применяют дискретное косинусное преобразование или вейвлет анализ.



Рис. 2. *a* - пример сканирующего окна; *б* - выбранные наблюдения.

Заключение. Помимо скрытых Марковских моделей существуют также другие методы распознавания, которые также дают достаточно высокий процент распознавания, например, такие как: распознавание с помощью нейронной сети Хэмминга и метод собственных лиц. Но всё же самым высокоэффективным методом, как показывает практика, на сегодняшний день остается метод распознавания с помощью скрытых Марковских моделей.

Распознавание изображений лиц хоть и находится в настоящее время на достаточно хорошо развитом уровне, но все еще этой области знаний есть куда развиваться. Существующие на рынке продукты по распознаванию изображений лиц удовлетворяют всем потребностям, но не идеальны. Они неплохо определяют по видеопотоку личностей. Но все же, остается еще много ошибок распознавания. Из-за этих ошибок, такие системы никогда не внедрят на серьезных, возможно секретных правительственных организациях, а также в организациях, к которым применяются высочайшие требования безопасности. Цена, казалось бы, малейшей ошибки, может стоить миллиардов долларов или миллионы жизней.

В связи с этим остается актуальным вопрос о необходимости дальнейших исследований в данной области. Поэтому на этом история распознавания изображений лиц не заканчивается. И, возможно, уже через несколько лет будут достигнуты невероятные результаты, которых никто не ожидает. Прогресс в данной науке движется семимильными шагами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брилюк Д. В., Старовойтов В. В. Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами. / Препринт, Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси; №2. Минск, 2002. 54 с.
2. Гульятеева Т. А., Попов А. А. Модификации одномерных скрытых марковских моделей для задачи распознавания лиц. / International Conference Graphicon, Novosibirsk Akademgorodok, 2006. 6 с.
3. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
4. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Перевод с английского, М: Техносфера, 2005. – 1071 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ В ГП LABVIEW

Ктомас Б.Г (КНИТУ-КАИ, Россия, Казань, К. Маркса, 10)

E-mail: 47boris@list.ru

IMPLEMENTATION OF ON-BOARD FACILITIES OF OBJECTIVE CONTROL IN STATE ENTERPRISE LABVIEW

Ktomas B. (KNRTU-KAI, Kazan, Russia)

Keywords: flight data, express-analysis, block diagram, front panel, a virtual appliance.

Для анализа причин и предупреждения летных происшествий, мониторинга работы бортовых систем воздушного судна (ВС) и прогнозирования их технического состояния, а также для оценки действий лётного состава при выполнении полёта и его профессиональной подготовки используются бортовые устройства регистрации полетных данных (БУР). Эти средства позволяют накопить и сохранить необходимую информацию об условиях полёта, параметрах движения, состоянии ЛА и его систем, действиях и переговорах экипажа в полёте. Однако бортовые устройства регистрации только регистрируют полётные параметры, *но не позволяют осуществить их анализ на борту ЛА. Анализ параметров осуществляется только после полёта в процессе проведения их оперативной обработки.*

Регистрирующие устройства с небольшим количеством записываемых величин устанавливались на отечественных самолетах ещё с первых лет Великой Отечественной войны. Наибольшее же применение БУР находили при испытательных полетах летательных аппаратов всех видов. Однако в настоящее время применение БУР признано необходимым при эксплуатации всех летательных аппаратов. В мае 1965 года ИКАО рекомендовала всем государствам уделять особое внимание применению БУР. Бурное развитие бортовых устройств регистрации началось в 1970 году после вступления СССР в международную организацию ГВФ (ИКАО), т.к. полёты самолетов на международных линиях разрешены только с использованием средств объективного контроля. Общая структура использования БУР может быть представлена следующей схемой (рис.1.1).



Рис. 1.1. Структура использования БУР

Как следует из данной схемы, БУР входят в единый комплекс системы регистрации и обработки получаемой от БУР информации. Эта комплекс представляет собой набор специальных дешифрирующих и вычислительных устройств, с помощью которых осуществляется техническая диагностика (определение технического состояния наиболее важных бортовых устройств), анализ причин лётных происшествий, оценка качества пилотирования и выполнения полётных заданий.

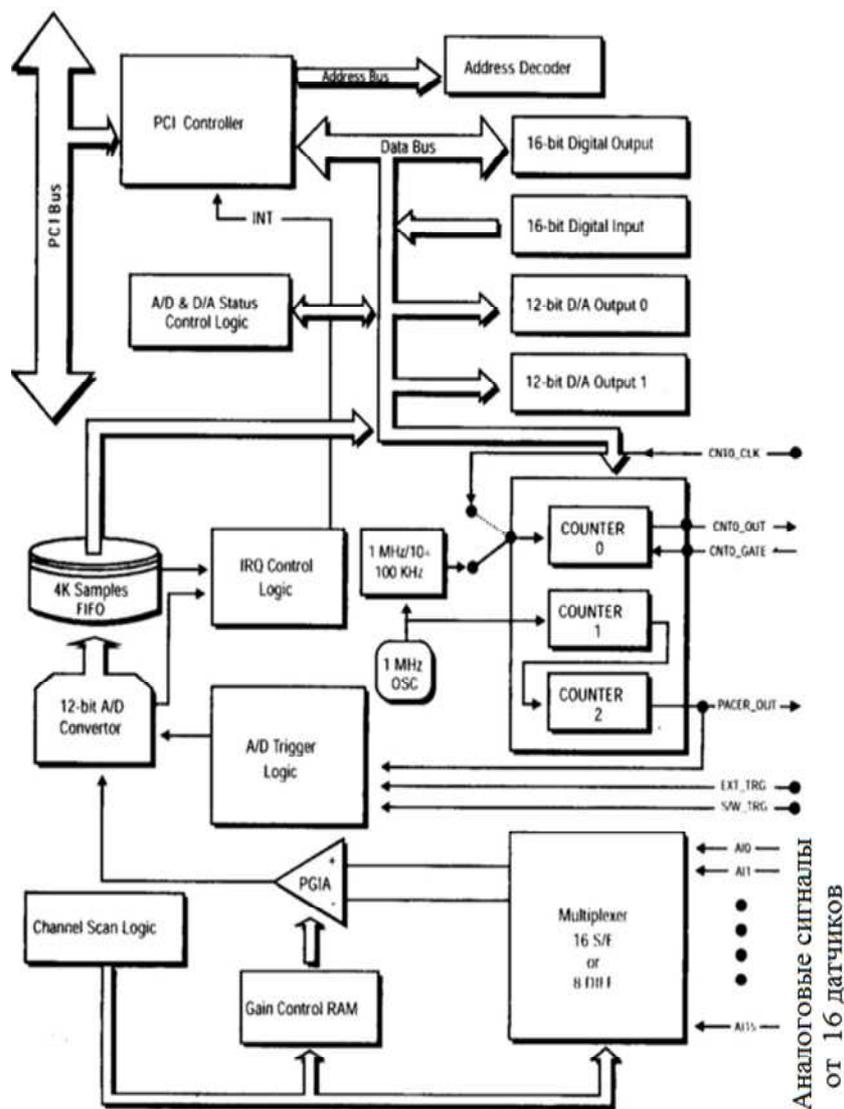
Результаты обработки информации БУР *впоследствии* используются в статистических системах обработки информации о данном типе ЛА. Эти системы позволяют выполнить общий анализ лётных происшествий, определить пути и способы их исключения, совершенствования авиационной техники, технической эксплуатации, подготовки лётного и технического состава. Необходимость в БУР обусловлена также тем, что число лётных происшествий с неустановленными причинами составляет 20-22% от общего их количества. Для установления их причин необходимо иметь информацию:

- о действии и переговорах экипажа в полёте;
- о поведении ЛА на локсодромии;
- о качестве работы бортовых систем ЛА.

Отличие БУР от систем встроенного контроля состоит в том, что процессы измерения контролируемых параметров и оценки результатов контроля разнесены во времени, отсюда ценность полученной информации тем выше, чем быстрее она будет обработана.

Таким образом, основными задачами совершенствования систем обеспечения авиационной безопасности являются:

1. Унификация записываемых полётных данных в единообразную цифровую форму;
2. Накопление и сохранение полётных и аварийных данных на пассивном «неубиваемом» цифровом носителе;
3. Периодическая передача данных наземным службам с отметками времени и координат;
4. Запись в файл и формирование баз полётных данных непосредственно в процессе полёта;
5. Запись и передача в каналах связи аварийных полётных данных в момент их появления.



PCI1710L

Рис. 2 Модуль сбора и передачи данных

Все эти задачи успешно могут быть решены с помощью графической программы LabVIEW путём создания виртуальных приборов для мониторинга полётных данных на борту ВС. При этом записываемые и сохраненные данные не требуют специальной аппаратуры и программ для расшифровки и анализа, и могут быть прочитаны на любом компьютере. Самое главное в том, что устраняется временной интервал между записью данных и их анализом, т.е., анализ данных производится прямо в процессе их накопления. Немаловажным преимуществом является и то, что виртуальные приборы не имеют массы и не перегружают воздушное судно. На Рис.2 показан встраиваемый модуль сбора и передачи данных, который через мультиплексор принимает с частотой переключения 100кГц сигналы от 16 датчиков, преобразует их в цифровой 12-разрядный код и передаёт их в компьютер для записи и формирования баз данных в Excel или Access, где происходит их хранение и дальнейшая обработка.

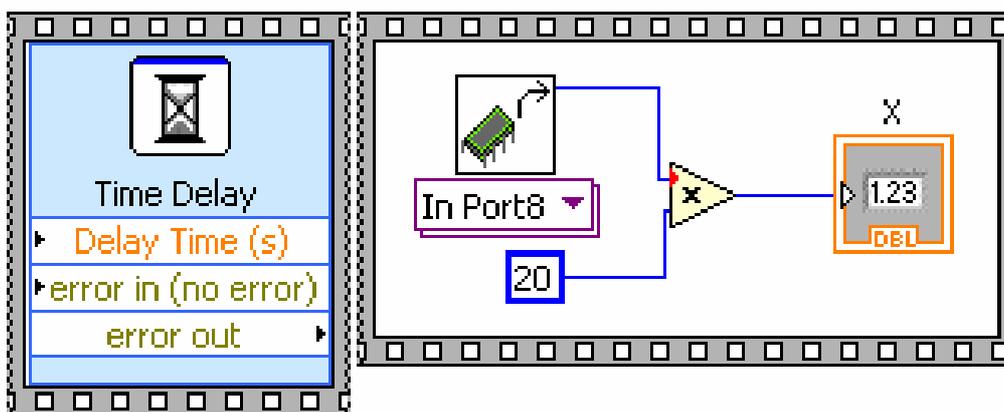


Рис. 3 Приём сигнала датчика от PCI1710L

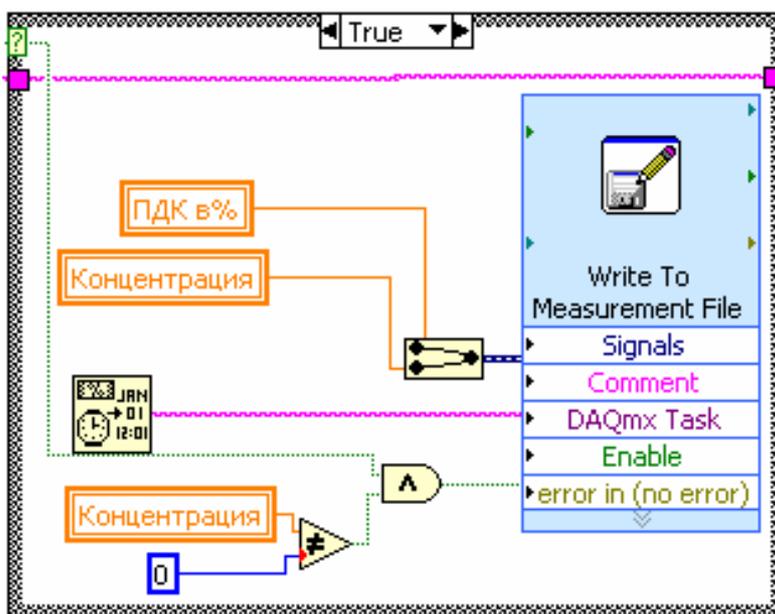


Рис. 4 Запись в файл



Рис. 5. Блок-диаграмма обработки параметра БУР

На рис. 3, 4, 5 показан пример организации канала обработки сигнала датчика.

На рис. 6 представлена примерная лицевая панель виртуального прибора

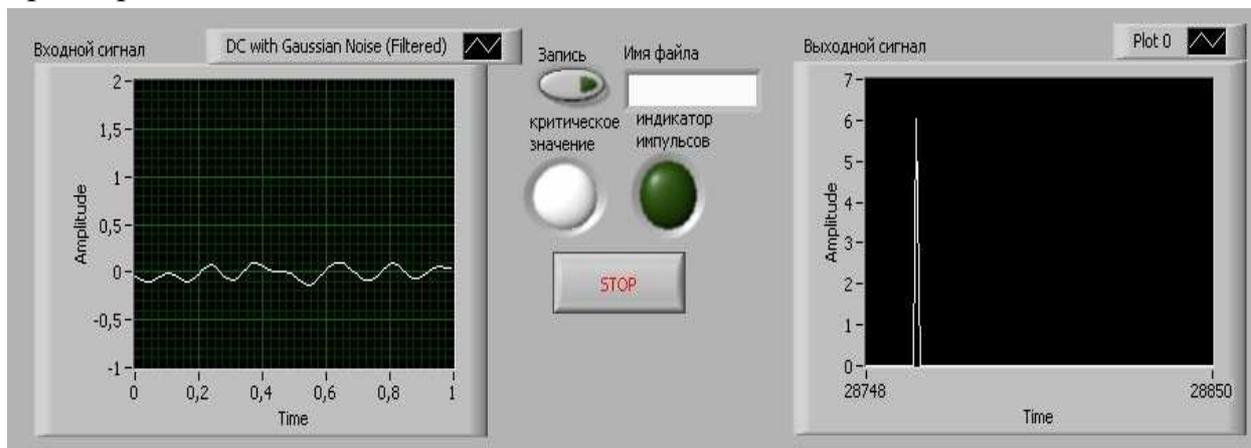


Рис. 6 Лицевая панель виртуального прибора канала датчика

При такой обработке данных не требуется дополнительных дешифрующих и анализирующих устройств, поскольку канал передачи и преобразования унифицирован, и обработка данных может проводиться как в воздухе, так и на земле.

Передача данных на землю производится по отметкам времени и координат с регулируемой частотой 0...100 кГц в зависимости от условий полета, а в случае аварийных ситуаций – немедленно. В фатальных случаях при столкновениях и катастрофах данные передаются в каналах аварийной связи в момент удара, что позволяет обойтись без **финансовых затрат** при поисках аварийных самописцев.

СИМУЛЯЦИИ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ В ГП «LABVIEW»

Б.Г. Ктомас , В.А. Песошин (КНИТУ-КАИ)

Казань, Россия 47boris@list.ru, pesoshin-
kai@mail.ru

SIMULATIONS OF TREE OF REFUSES ARE IN GP "LABVIEW"

B. Ktomas, V. Pesoshin Kazan National Discovery Technical University n.

A.N. Tupolev, Kazan, Russia

Keywords: Simulator, aviation systems, analysis, safety.

Анализ авиационных систем методом «дерева отказов» широко используется в комплексных системах при оценке авиационной безопасности. По существу, этот метод представляет собой логическую диаграмму, которая поясняет сложные процессы и их взаимосвязь, и может быть применена для отыскания причинно-следственных связей, приводящих к происшествиям. Таким образом, проследить цепи событий, ведущих к отказу всей системы, помогает логический анализ отказов. При таком «системном» подходе подчеркивается, что человеческая ошибка, отказ техники или неблагоприятные условия окружающей среды способны повлиять на другие факторы, приводящие к авиационным происшествиям.

Для анализа причин и предупреждения инцидентов, для технической диагностики бортовых систем оборудования и прогнозирования их технического состояния, а также для оценки действий лётного состава при выполнении полётного задания и обучения экипажей используются бортовые устройства регистрации (БУР).

Как следует из данной схемы (рис. 1.1), БУР входят в единый комплекс системы регистрации и обработки получаемой от БУР информации. При этом система обработки информации, получаемой от БУР данного летательного аппарата, представляет собой комплект специальных дешифрующих и вычислительных устройств. Состав и номенклатура этих устройств регламентируются действующим приказом федеральной службы воздушного транспорта России №33 от 17.08.1999 «О совершенствовании организации работ по сбору, обработке и анализу полётной информации (Минюст N 1909 21.09.99)».

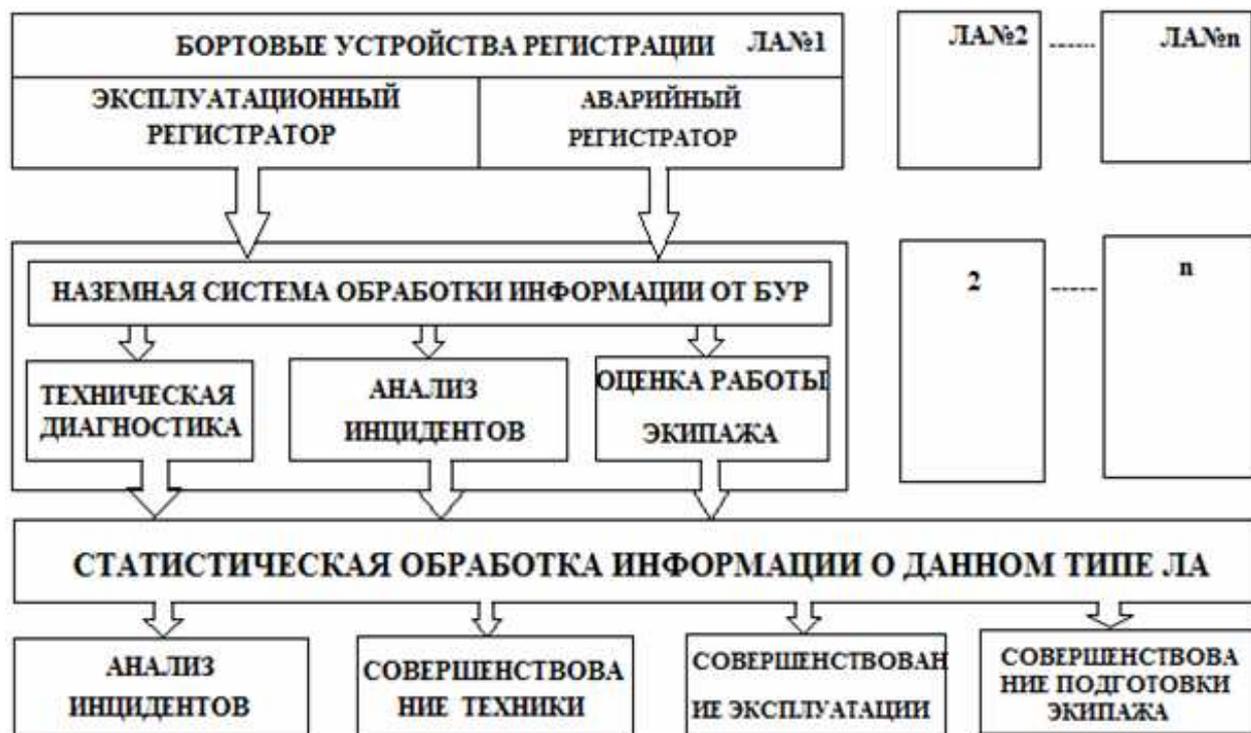


Рис. 1. Структура использования БУР

С их помощью осуществляется техническая диагностика (определение технического состояния наиболее важных бортовых устройств), анализ конкретных причин инцидентов, аварий и катастроф, оценка качества пилотирования и выполнение заданий полетов.

Однако безопасность требуется и ещё не выполненному полёту, и, естественно, для этого должны быть проведены некоторые предварительные действия:

1. Техническое обслуживание летательного аппарата по оптимальной программе,
2. Оценка вероятностей отказа его систем жизнеобеспечения,
3. Предварительная оценка рисков,
4. Мониторинг полётных характеристик и состояния экипажа,
5. Запись на бортовые средства текущих эксплуатационных и аварийных параметров и передача их в каналах связи на наземные регистраторы по отметкам времени и координат.

Анализ отказов помогает проследить цепи событий, ведущих к отказу всей системы. При таком подходе подчеркивается, что человеческая ошибка, отказ техники или неблагоприятные условия окружающей среды способны повлиять на исход полета. Однако с увеличением количества контролируемых параметров возрастает сложность и номенклатура анализирующих и дешифрующих программ, что не только увеличивает время обработки данных, но удорожает сам процесс и неминуемо вносит в него так

называемый «человеческий фактор», приводящий к ухудшению и искажению результатов.

В данной работе предлагается собранный в ГП LabVIEW симулятор, позволяющий выполнить анализ составляющих дерева отказов, оценить риски менеджмента по всем учетным факторам рисков.

С помощью симулятора производится расчет вероятностей отказа как «ветвей» дерева, так и его «ствола»; одновременно симулятор выполняет построение гис-тограмм событий. Поскольку в настоящее время эти действия выполняются «вручную», симулятор позволяет оптимизировать результат за счёт варьирования переменных и значительно сократить достижение результата, исключив при этом «человеческий фактор». Симулятор позволяет выполнять логические операции между взаимосвязанными событиями.

На Рис.2 представлена лицевая панель виртуального прибора. Набор составляющих вероятностей производится последовательно с выполнением логических операций между вводимыми величинами, если это необходимо и устанавливается их значимость. При расчете замешивается шумовой сигнал для учета случайных факторов, также вводится порядок полинома.

Результат расчёта появляется в окне «Вероятность», а на экранах виртуальных приборов формируется гистограмма рассчитываемой системы.

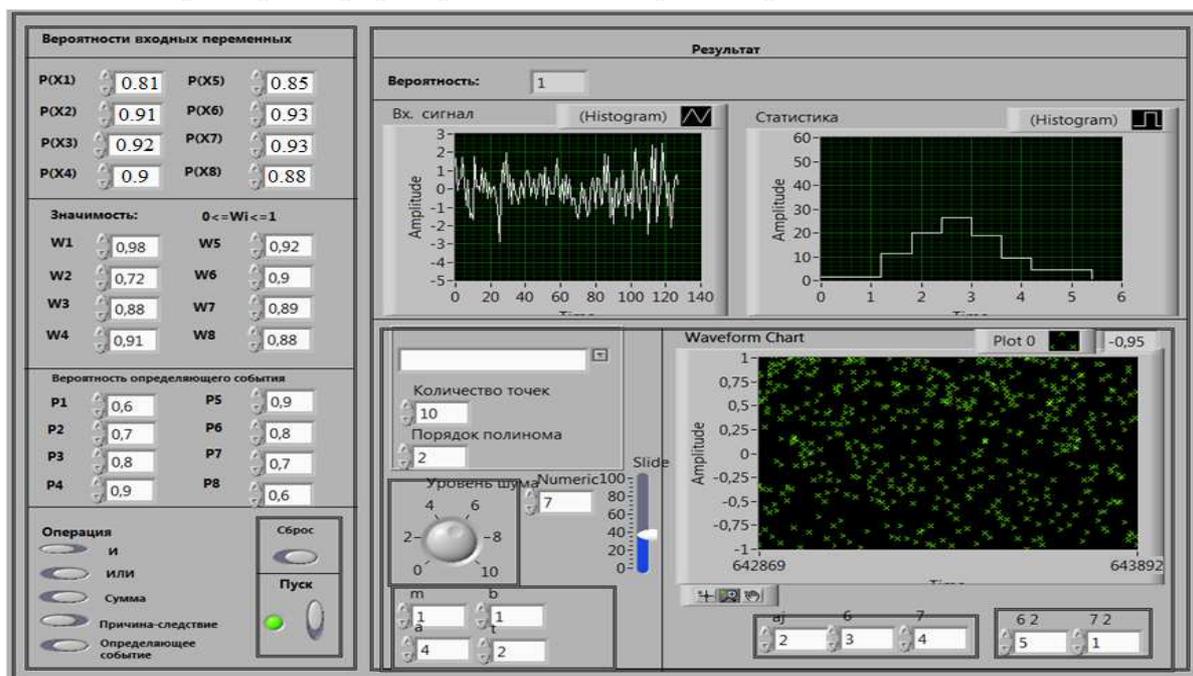


Рис. 2. Лицевая панель симулятора

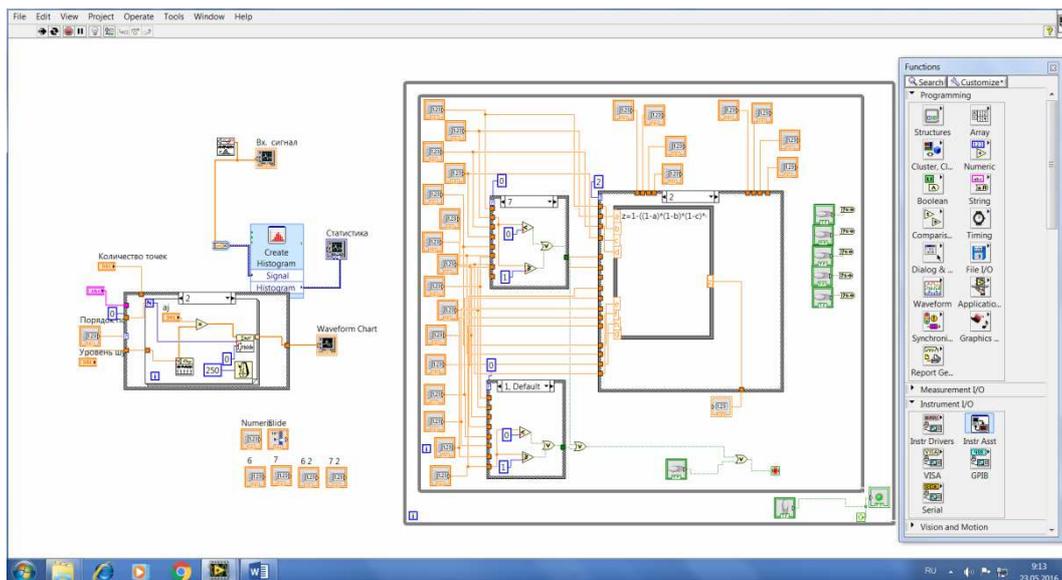


Рис. 3. Блок-диаграмма симулятора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куракина Н.П. и др., Построение измерительных каналов с применением среды графического программирования LabVIEW: Методические указания к лабораторным работам, изд. С-ПбГЭТУ, ЛЭТИ, 2011. 32 с.
2. LabVIEW, вводный курс, National Instruments corporation, 52 с.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ УЧЕТЕ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**
Т.В. Лантева, А.С. Сильвестрова, Г.М. Островский (КНИТУ-КАИ,
Россия, 420015, Казань, К.Маркса, 68)
E-mail: tanlapteva@yandex.ru, sensoriumsa@mail.ru, ostralex@yandex.ru

**OPTIMAL TECHNICAL SYSTEM DESIGN UNDER
UNCERTAINTY** *T. V. Lapteva, A.S. Silvestrova, G.M. Ostrovsky*
(KNRTU-KAI, Russia, 420015, Kazan, K.Marx str., 68)

Keywords: optimization under uncertainty, chance constraints, process sys-tem optimization, one-stage optimization problem.

Введение. Проектирование химико-технологических систем (ХТС), как правило, предполагает, что исходные данные известны и значения их точны. В то же время мы не можем отбросить неопределенность, присутствующую вследствие невозможности полностью исключить внешние и внутренние воздействия на ХТС. Несомненно, что такие воздействия будут влиять на эффективность и работоспособность действующей ХТС. Тогда цель проектирования новой ХТС можно сформулировать как создание ХТС, которая будет работать оптимально в смысле заданного критерия эффективности и будет выполнять предъявляемые к ней требования в изменяющихся условиях функционирования. Источниками неопределенности в исходной информации могут быть: непостоянность состава поступающего сырья, изменение массообменных, теплообменных характеристик оборудования, неточности коэффициентов математических моделей и прочее. Сведения о неопределенных параметрах могут быть различными: о части из них мы можем предсказать лишь интервалы изменения их значений, относительно других мы можем установить закон распределения значений.

В общем случае задачу проектирования ХТС с учётом неопределённости можно записать в виде [1, 2]:

$$\min_{d, z \in H} f(d, z, \theta) \quad (1)$$

$$g_j(d, z, \theta) \leq 0, j = 1, \dots, m, \theta \in T, \quad (2)$$

где $H = \{d, z : h_q(d, z) \leq 0, q = 1, \dots, p\}$, ограничения g_j есть математическая формулировка проектных требований, d – вектор конструктивных пара-

метров размерности n_d , $z - n_z$ -вектор переменных, характеризующих режим работы ХТС, $\theta - n_\theta$ -вектор неопределенных параметров, $f(d, z, \theta) -$ функция оценки эффективности работы ХТС. О параметрах θ известно, что они принадлежат области $T = \{\theta : \theta_i^L \leq \theta_i \leq \theta_i^U, i = 1, \dots, n_\theta\}$. Задача (1)-(2) не может быть решена, так как не известны точные значения параметров θ .

Для решения задач оптимизации с учетом неопределенности предложено множество подходов [3], таких как стохастическое программирование, робастная оптимизация, аппроксимирующее динамическое программирование и оптимизация с учетом мягких ограничений, которую и будем рассматривать в данной работе.

Мягкие ограничения на этапе функционирования должны выполняться либо в среднем, либо с заданной вероятностью, как на отдельное ограничение (2), так и на их совокупность. Использование вероятностных ограничений в задачах оптимизации с учетом неопределенности в исходной информации впервые в линейной форме было рассмотрено в работе Charnes et al. [4]. Учет вероятностных ограничений в задачах оптимизации для проектирования в химической технологии предложен в [1, 5].

Для учета неопределенности в постановке задач проектирования оптимальных ХТС в настоящее время используют одноэтапную (ОЭЗО) или двухэтапную (ДЭЗО) постановки задач оптимизации [6]: ОЭЗО используется, если изменение режимов z работы оборудования на этапе функционирования ХТС проводиться не будет. Если прогнозируется, что на этапе функционирования ХТС будут возможны уточнение экспериментальных данных и подстройка управления под изменения условий функционирования, то используется ДЭЗО.

Постановка ОЭЗО с отдельными вероятностными ограничениями. Будем рассматривать ОЭЗО с отдельными вероятностными ограничениями (ОЭЗОВО) и статистически взаимонезависимые неопределенные параметры θ , относительно значений которых известна функция плотности вероятности $p(\theta)$, матожидание $E[\theta_i]$ и дисперсия $(\sigma_i)^2$ неопределенных параметров $\theta_i, i = 1, \dots, n_\theta$.

Для учета неопределенности в критерии ОЭЗОВО будем использовать математическое ожидание функции $f(d, z, \theta)$ за рассматриваемый период функционирования.

Тогда ОЭЗОВО примет вид [2]

$$\min_{d, z \in H} E_\theta[f(d, z, \theta)] \quad (3)$$

$$\Pr\{g_j(d, z, \theta) \leq 0\} \geq \alpha_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где $E_\theta[f(d, z, \theta)] = \int_T f(d, z, \theta) \rho(\theta) d\theta$, здесь область T представлена диапа-

зонами изменения значений неопределенных параметров и характеризует изменение условий функционирования за выбранный период; вероятность выполнения отдельного ограничения $\Pr\{g_j(d, z, \theta) \leq 0\} = \int_{\Omega_j} \rho(\theta) d\theta$,

$$\Omega_j = \{\theta : g_j(d, z, \theta) \leq 0, \theta \in T\}.$$

Сложность решения задачи (3), (4) состоит в выполнении операции многомерного интегрирования на каждой итерации процедуры оптимизации для получения значений критерия и ограничений. Существующие на данный момент методы [7-13] преодоления этих сложностей либо рассчитаны на определенный вид функций ограничений, либо упрощают вид ограничений, но по-прежнему требуют операции многомерного интегрирования.

В работе предложен подход к решению ОЭЗОВО, основанный на преобразовании вероятностных ограничений в детерминированные для случая, когда неопределенные параметры независимы и имеют нормальное распределение. При этом не накладывается особых требований на вид функций ограничений.

Описание предлагаемого подхода. Для снижения вычислительных затрат на получение значения критерия задачи (3)-(4) в [2] мы аппроксимировали функции $f(d, z, \theta)$ кусочно-линейной зависимостью, построенной на линейной части $\bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q)$ разложения функции $f(d, z, \theta)$ в ряд Тейлора по параметрам θ в точке θ^q . В результате получена аппроксимация $E_{ap}[f(d, z, \theta)]$ критерия задачи (3)-(4), уточнение которой на k -ой итерации проводится за счет разбиения области T на подобласти $T_q^{(k)} = \{\theta : \theta_i^{(k)L,q} \leq \theta_i \leq \theta_i^{(k)U,q}, i = 1, \dots, n_\theta\}$, $l = 1, \dots, Q^{(k)}$, согласно правилу

$$T = T_1^{(k)} \cup T_2^{(k)} \cup \dots \cup T_{Q^{(k)}}^{(k)}, \quad T_{q_1}^{(k)} \cap T_{q_2}^{(k)} = \emptyset, \quad q_1, q_2 = 1, \dots, Q^{(k)}, \quad q_1 \neq q_2.$$

Мы показали в [2], что критерий задачи (3)-(4) можно аппроксимировать зависимостью

$$E_{ap}[f(d, z, \theta)] = \sum_{q=1}^{Q^{(k)}} \left(a_q f(d, z, \theta^q) + \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial f(d, z, \theta^q)}{\partial \theta_i} (E[\theta_i; T_q^{(k)}] - a_q \theta_i^q) \right), \quad (5)$$

$$a_q = \prod_{i=1}^{n_\theta} [\Phi(\tilde{\theta}_i^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_i^{(k)L,q})],$$

$$E[\theta_i; T_q^{(k)}] = \prod_{r=1}^{i-1} [\Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)L,q})] \cdot I_{iq} \cdot \prod_{r=i+1}^{n_\theta} [\Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)L,q})],$$

$$I_{iq} = \int_{\theta_i^{(k)L,q}}^{\theta_i^{(k)U,q}} \theta_i \rho(\theta) d\theta.$$

здесь $\Phi(\xi)$ – функция стандартного нормального распределения, $\tilde{\theta}_i^{(k)L,q} = (\theta_i^{(k)L,q} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $\tilde{\theta}_i^{(k)U,q} = (\theta_i^{(k)U,q} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $i = 1, \dots, n_\theta$. Мы аппроксимировали функцию стандартного нормального распределения регрессионным уравнением. В результате вычисление аппроксимации (5) требует только вычисления одномерного интеграла I_{iq} .

Рассмотрим способ преобразования вероятностных ограничений (4) в детерминированные. Пусть область T_{α_j} – область выполнения ограничения (4) с фиксированным номером j . Граница области T_{α_j} представлена уравнением

$$g_j(d, z, \theta_1, \dots, \theta_{n_\theta}) = 0. \quad (6)$$

Выразив параметр θ_{n_θ} из уравнения (6), получим уравнение

$$\theta_{n_\theta} = \varphi_j(d, z, \theta_1, \dots, \theta_{n_\theta-1}) \quad (7)$$

и перепишем уравнение для описания границы области T_{α_j}

$$g_j(d, z, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{n_\theta-1}, \varphi_j(d, z, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{n_\theta-1})) = 0.$$

Учитывая возможность изменения поведения функций неравенств по параметру θ_{n_θ} при изменении конструктивных и режимных параметров, неравенству $g_j(d, z, \theta) \leq 0$ поставим в соответствие неравенство $\theta_{n_\theta} - \varphi_j(d, z, \theta_1, \dots, \theta_{n_\theta-1}) \leq 0$ при $(\partial g_j(d, z, \theta) / \partial \theta_{n_\theta}) \geq 0$, или неравенство $\theta_{n_\theta} - \varphi_j(d, z, \theta_1, \dots, \theta_{n_\theta-1}) \geq 0$ при $(\partial g_j(d, z, \theta) / \partial \theta_{n_\theta}) \leq 0$.

Построим для гиперповерхности (7) аппроксимацию в виде гиперплоскости, проходящей через точку $\bar{\varphi}_j(d, z, \bar{\theta}_1, \bar{\theta}_2, \dots, \bar{\theta}_{n_\theta-1})$ и перпендикулярную оси θ_{n_θ} , где $\bar{\theta}_i = 0.5 \cdot (\theta_i^U - \theta_i^L)$, $i = 1, \dots, n_\theta - 1$. Тогда можно аппроксимировать области T_{α_j} n_θ -мерными прямоугольниками R_{α_j} , где для $i = 1, \dots, n_\theta - 1$ параметры θ_i лежат в диапазонах $S_{i,j} = \{\theta_i : \theta_i^L \leq \theta_i \leq \theta_i^U\}$, а θ_{n_θ} – в диапазоне $S_{n_\theta,j}$ вида $[\theta_{n_\theta}^L; \bar{\varphi}_j(d, z, \bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_{n_\theta-1})]$ при $(\partial g_j(d, z, \theta) / \partial \theta_{n_\theta}) \geq 0$, либо вида $[\bar{\varphi}_j(d, z, \bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_{n_\theta-1}); \theta_{n_\theta}^U]$ при $(\partial g_j(d, z, \theta) / \partial \theta_{n_\theta}) \leq 0$.

На рисунке 1 рассмотрен случай $n_\theta = 2$. Здесь область выполнения ограничения $g_j(d, z, \theta)$ представлена фигурой FABCG. Граница φ_j области выполнения ограничения представлена кривой ABC. В середине отрезка, соответствующего диапазону изменения параметра θ_1 , – точке θ_1^{mid} – построена аппроксимация $\bar{\varphi}_j$ границы φ_j , она представлена отрезком DE. Диапазону $S_{n_\theta, j}$ соответствует отрезок FD. Аппроксимация R_{α_j} имеет вид прямоугольника FDEG.

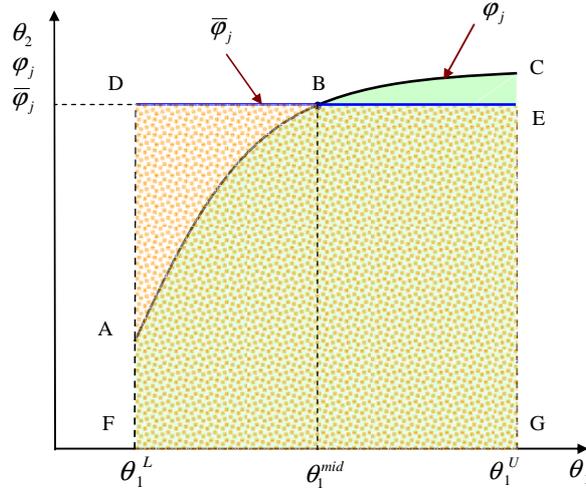


Рис. 1. Пример аппроксимации ограничения на первой итерации

Тогда можно представить ограничение (4) с фиксированным номером j в следующем виде

$$\int_{R_{\alpha_j}} \rho(\theta) d\theta \geq \alpha_j \quad (8)$$

Рассмотрим вычисление левой части ограничения (8). Для независимых параметров θ можно записать

$$\int_{R_{\alpha_j}} \rho(\theta) d\theta = I_{1,j} \cdot I_{2,j} \cdot \dots \cdot I_{n_\theta-1,j} \cdot I_{n_\theta,j},$$

$$I_{i,j} = \int_{S_{i,j}} \rho(\theta_i) d\theta_i, \quad i = 1, \dots, n_\theta \quad (9)$$

Для одномерных интегралов (9) верно $I_{i,j} = \Phi(\tilde{\theta}_i^{U,j}) - \Phi(\tilde{\theta}_i^{L,j})$, $i = 1, \dots, n_\theta - 1$, где $\tilde{\theta}_i^{L,j} = (\theta_i^{L,j} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $\tilde{\theta}_i^{U,j} = (\theta_i^{U,j} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $i = 1, \dots, n_\theta$. Поэтому для вычисления (8) интегрирование используется только для одномерного интеграла (9) при $i = n_\theta$.

Теперь можно записать задачу оценки критерия задачи (3) в виде

$$\min_{d, z \in H} E_{ap}[f(d, z, \theta)] \quad (10)$$

$$I_{n_\theta, j} \cdot \prod_{i=1}^{n_\theta-1} (\Phi(\tilde{\theta}_i^{U, j}) - \Phi(\tilde{\theta}_i^{L, j})) \geq \alpha_j \quad (11)$$

Для улучшения аппроксимации функций $g_j(d, z, \theta)$ ограничений (2) функциями $g_j(d, z, \bar{\theta}, \bar{\varphi}_j(d, z, \bar{\theta}))$, $\bar{\theta} = \{\bar{\theta}_1, \bar{\theta}_2, \dots, \bar{\theta}_{n_\theta-1}\}$, будем заменять области R_{α_j} подобластями $R_{l, j}$. Заметим, что при построении аппроксимации R_{α_j} мы выразили параметр θ_{n_θ} через остальные параметры θ_i , $i = 1, \dots, n_\theta - 1$. Поэтому мы будем построим на первой итерации области $R_{l, j}$, разбив пополам какую-то из сторон $S_{i, j} = \{\theta_i : \theta_i^L \leq \theta_i \leq \theta_i^U\}$, $i = 1, \dots, n_\theta - 1$, прямоугольника R_{α_j} . На рисунке 1 сторона $S_{1, j}$ представлена отрезком FG.

На рисунке 2 рассмотрено уточнение аппроксимации R_{α_j} , произошедшее на 2-й итерации. Сторона $S_{1, j}$ области R_{α_j} разбита пополам, и получены 2 отрезка FL и LG. В точках, соответствующих центрам этих отрезков, были построены аппроксимации ограничения $g_j(d, z, \theta)$ – отрезки DE и НК. Итак, на второй итерации область выполнения ограничения $g_j(d, z, \theta)$ аппроксимируется совокупностью двух прямоугольников FDEL и LNHK, которые представляют области $R_{1, j}$ и $R_{2, j}$, соответственно.

На последующих итерациях будем разбивать пополам наибольшую сторону той области $R_{l^*, j}$, где было получено наихудшее качество аппроксимации функций $g_j(d, z, \theta)$. Номер области l^* для каждого j будем находить решением задачи

$$l^* = \arg \max_l \max_{\theta \in R_{l, j}} (g(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta) - \bar{g}(d^{(k)}, z^{(k)}, \bar{\theta}, \bar{\varphi}_j(d, z, \bar{\theta})))^2. \quad (12)$$

Очевидно, что на рисунке 2 наихудшее качество аппроксимации получено в области $R_{1, j}$, представленной прямоугольником FDEL. Значит на третьей итерации разбиению пополам подвергнется отрезок FL.

Выше мы указали, что улучшения аппроксимации $E_{ap}[f(d, z, \theta)]$ также будем достигать, разбивая область неопределенности T на подобласти T_q . Для определения номера q^* разбиваемой области T_{q^*} будем решать задачу

$$q^* = \arg \max_{q \in \{1, \dots, Q^{(k)}\}} \max_{\theta \in T_q} (f(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta) - \bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q))^2, \quad (13)$$

где $\bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q)$ – аппроксимация функции $f(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta)$ в области $T_q^{(k)}$, θ^q – точка разложения.

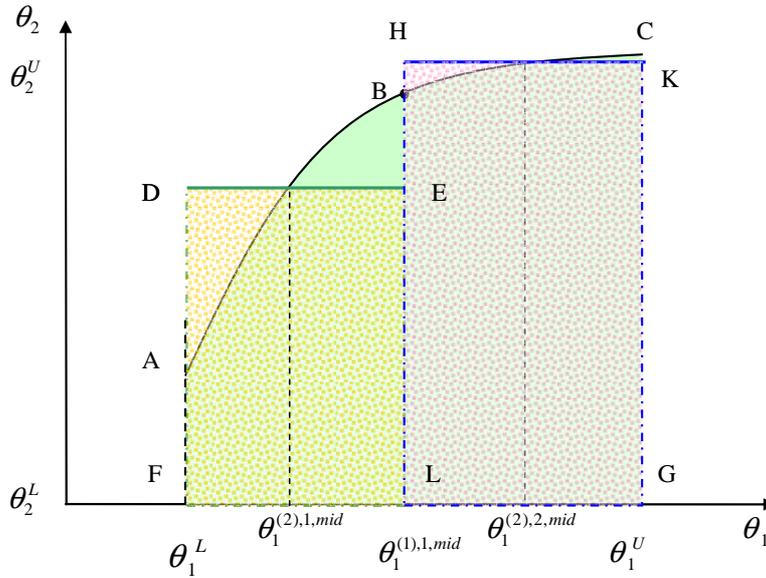


Рис. 2. Пример аппроксимации ограничения на второй итерации
Тогда задача (9) примет вид

$$F^{(k)} = \min_{d, z \in H} E_{ap}^{(k)}[f(d, z, \theta)] \quad (14)$$

$$\sum_{l=1}^{N_j^{(k)}} \left(\prod_{i=1}^{n_{\theta}-1} [\Phi(\tilde{\theta}_i^{U,j,l}) - \Phi(\tilde{\theta}_i^{L,j,l})] \cdot I_{n_{\theta},j,l} \right) \geq \alpha_j, \quad (15)$$

где $\tilde{\theta}_i^{L,j,l} = (\theta_i^{L,j,l} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $\tilde{\theta}_i^{U,j,l} = (\theta_i^{U,j,l} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $\theta_i^{L,j,l}$, $\theta_i^{U,j,l}$ – границы подобласти $R_{i,j}$.

Полученная задача является задачей нелинейного программирования.

Алгоритм предлагаемого метода. Алгоритм решения задачи (13)-(14) имеет вид:

Шаг 1. Задать $k = 1$, начальные значения d, z , достаточно малые $\varepsilon > 0$, $\delta > 0$, множество подобластей для аппроксимации критерия – T_q , $q = 1, \dots, Q^{(k)}$, $N_j^{(k)} = 1$, $j = 1, \dots, m$.

Шаг 2. Решить задачу (14)-(15). Пусть $\{F^{(k)}, d^{(k)}, z^{(k)}\}$ – решение.

Шаг 3. Если $k = 1$, идти на шаг 5.

Шаг 4. Если $|F^{(k)} - F^{(k-1)}| < \varepsilon$, то решение найдено. Конец работы алгоритма.

Шаг 5. Найти область $T_{q^*}^{(k)}$ для разбиения, решив задачу (13).

Если размер области $T_{q^*}^{(k)}$ больше, чем δ , то разбить ее на подобласти.

Иначе решение найдено. Конец работы алгоритма.

Шаг 6. Найти m областей $R_{i^*,j}^{(k)}$ для разбиения, решив m задач (12).

Если существуют области $R_{i^*,j}^{(k)}$, размер которых больше δ , то разбить их на подобласти.

Иначе решение найдено. Конец работы алгоритма.

Шаг 7. Задать $k = k + 1$, перейти к Шагу 2.

Предлагаемый подход и алгоритм были апробированы на примере задачи оптимального проектирования системы реакторов [14]. Сравнение полученных результатов с результатами известных подходов [14] показало эффективность предложенного подхода и алгоритма, при этом достигнуто значительное сокращение времени на решение задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Henrion R., Moller A. Optimization of a continuous distillation process under random inflow rate // *Comput. Math. Appl.* 2003. V. 45. P. 247-262.
2. Ostrovsky G.M., Ziyatdinov N.N., Lapteva T.V. Optimization problem with normally distributed uncertain parameters // *AIChE Journal*. 2013. T. 59. № 7. С. 2471-2484.
3. Calfa B.A., Grossmann I.E., Agarwal A., Bury S.J., Wassick J.M. Data-Driven Individual and Joint Chance-Constrained Optimization via Kernel Smoothing // *Computers & Chemical Engineering*. 2015. V. 78. P. 51-69.
4. Charnes A., Cooper W.W. Chance-constrained programming. // *Management Science*. 1959. V. 6. P. 73-79.
5. Schwarm A.T., Nikolaou M. Chance-constrained model predictive control // *AIChE J.* 1999. V. 45. №8. P. 1743-1752.
6. Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В. Оптимизация технических систем. – М.: КНОРУС, 2012. – 432 с.
7. Wei J., Realff M.J. Sample average approximation method for stochastic MINLPs // *Comput. Chem. Eng.* 2004. V. 28. №3. P. 333-346.
8. Bernardo F.P. Performance of cubature formulae in probabilistic model analysis and optimization // *Journal of Comp. and Appl. Math.* 2015. V.280. P. 110-124.
9. Bernardo F.P., Saraiva P.M. Robust optimization framework for process parameter and tolerance design // *AIChE J.* 1998. V. 44. P. 2007-2017.
10. Nemirovski A. Shapiro A. Scenario approximations of chance constraints // In Calafiore, G., Dabbene, F. *Probabilistic and Randomized Methods for Design under Uncertainty*. – Springer-Verlag: London, 2006b. – P. 3.
11. Li P., Arellano-Garcia H., Wozny G. Chance constrained programming approach to process optimization under uncertainty // *Comp. Chem. Eng.* 2008. V. 32. P. 25-45.

12. Geletu A., Hoffmann A., Klöppel M., Li P. Monotony analysis and sparse-grid integration for nonlinear chance constrained process optimization // Eng. Optim. 2011. V. 43. P. 1019-1041.

13. Geletu A., Klöppel M., Zhang H., Li P. Advances and applications of chance-constrained approaches to systems optimization under uncertainty // Int. J. Syst. Sci. 2013. V. 44. P. 1209-1232.

14. Ostrovsky G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. Optimal design of chemical processes under uncertainty // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2014. V. 48. № 5. P. 583-593.

АППРОКСИМАЦИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т.В. Лантева, К.Т. Нгуен (КНИТУ-КАИ, Россия, 420015, Казань,
К.Маркса, 68) E-mail: tanlapteva@yandex.ru, thanhquan149@gmail.com

PROBABILISTIC CONSTRAINTS APPROXIMATION IN A PROBLEM OF FLEXIBILITY PROCESS DESIGN

T.V. Lapteva, K.T. Nguen (KNRTU-KAI, Russia, 420015, Kazan,
K.Marx str., 68)

Keywords: optimization under uncertainty, chance constraints, process system optimization, one-stage optimization problem.

Введение. Известно, что проектирование оптимальных химико-технологических систем (ХТС) происходит в условиях частичной неполноты и неточности исходной информации. Причиной неопределенности в исходной информации являются изменения условия функционирования ХТС, которые выражаются во внешних и внутренних воздействиях. К внешним воздействиям относятся, например, изменения параметров поступающего сырья, как пример внутренних воздействий можно привести изменение теплообменных характеристик оборудования за время его функционирования. Очевидно, что отказ от учета в постановке задачи проектирования оптимальных ХТС имеющейся неопределенности приводит к нарушению предъявляемых к работе ХТС требований. При этом относительно части неопределенных параметров нам могут быть известны диапазоны изменения их значений, а также мы можем оценить закон распределения значений и параметры функции распределения вероятности. Относительно других параметров мы получим лишь диапазоны изменения их значений.

В общем случае задачу проектирования ХТС с учётом неопределённости можно записать в виде [1, 2]:

$$\min_{d, z \in H} f(d, z, \theta) \quad (1)$$

$$g_j(d, z, \theta) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m, \theta \in T, \quad (2)$$

где $H = \{d, z : h_q(d, z) \leq 0, q = 1, \dots, p\}$, ограничения g_j есть математическая формулировка проектных требований, d – вектор конструктивных параметров размерности n_d , z – n_z -вектор переменных, характеризующих ре-

жим работы ХТС, θ – n_θ -вектор неопределенных параметров, $f(d, z, \theta)$ – функция оценки эффективности работы ХТС. О параметрах θ известно, что они принадлежат области $T = \{\theta: \theta_i^L \leq \theta_i \leq \theta_i^U, i = 1, \dots, n_\theta\}$. Задача (1)-(2) не может быть решена, так как не известны точные значения параметров θ .

Обычно при решении задачи (1)-(2) определяют средние значения неопределенных параметров θ^N и подставляют их в задачу (1)-(2). Полученную задачу нелинейного программирования решают каким-либо известным методом оптимизации. Вычисленные в результате решения задачи (1)-(2) значения конструктивных параметров d^* увеличивают, исходя из некоторых экспертных предположений, получив значения d^+ . Для этих значений решают задачу поиска оптимальных режимных переменных вида

$$\min_{z \in H} f(d^+, z, \theta^N) \quad (3)$$

$$g_j(d^+, z, \theta^N) \leq 0, j = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Очевидно, что такой подход не может гарантировать выполнения ограничений (2) на области T .

Постановки задач оптимизации с учетом неопределенности. Учет неопределенности в постановке задачи оптимизации часто приводит к постановкам задач робастной оптимизации [3, 4], когда основной проблемой считается требование работоспособности ХТС на известной области неопределенности. Здесь различают два типа ограничений: жесткие, требующие выполнения ограничений в каждой точке области неопределенности

$$g_j(d, z, \theta) \leq 0, j = 1, \dots, m, \forall \theta \in T,$$

и мягкие, чаще всего имеющие вид отдельных

$$\Pr\{g_j(d, z, \theta) \leq 0\} \geq \alpha_j, j = 1, \dots, m, \quad (5)$$

$$\Pr\{g_j(d, z, \theta) \leq 0\} = \int_{\Omega_j} \rho(\theta) d\theta, \Omega_j = \{\theta: g_j(d, z, \theta) \leq 0, \theta \in T\},$$

где $\rho(\theta)$ – функция плотности вероятности, или объединенных вероятностных ограничений. Вероятностные линейные ограничения в задачах оптимизации с учетом неопределенности впервые были рассмотрены в работе Charnes et al. [5].

Альтернативой робастной оптимизации является подход стохастической оптимизации [6], когда проводится учет неопределенности еще и в критерии задачи. В том случае, если известны характеристики закона распределения значений неопределенных параметров θ , то используется математическое ожидание функции оценки эффективности работы ХТС

$f(d, z, \theta)$ за заданный период функционирования ХТС, изменение условий работы за который характеризует область T

$$E_{\theta}[f(d, z, \theta)] = \int_T f(d, z, \theta) \rho(\theta) d\theta.$$

Если закон распределения неизвестен, можно использовать стратегию наихудшего случая и критерий задачи примет вид

$$\max_{\theta \in T} f(d, z, \theta).$$

Учет нескольких этапов в жизни проектируемой ХТС в постановке задач оптимизации приводит к виду многоэтапных задач [3, 7], которые предполагают, что благодаря уточнению информации о неопределенных параметрах на каждом этапе значения режимных переменных z можно уточнять на каждом этапе жизни ХТС путем решения задачи (3)-(4).

В том случае, когда уточнение значений неопределенных параметров в процессе функционирования ХТС невозможно, используют постановку одноэтапной задачи оптимизации (ОЭЗО). В том случае, если известен закон распределения значений неопределенных параметров и требования к работе ХТС имеют мягкий характер, мы можем использовать постановку ОЭЗО с отдельными вероятностными ограничениями (ОЭЗОВО)

$$\min_{d, z \in H} E_{\theta}[f(d, z, \theta)] \quad (6)$$

$$\Pr\{g_j(d, z, \theta) \leq 0\} \geq \alpha_j, \quad j = 1, \dots, m. \quad (7)$$

Далее в статье мы будем предполагать, что неопределенные параметры не коррелируют между собой, имеют нормальный закон распределения и известны функция плотности вероятности $\rho(\theta)$, матожидание $E[\theta_i]$ и дисперсия $(\sigma_i)^2$ неопределенных параметров θ_i , $i = 1, \dots, n_{\theta}$. Будем далее рассматривать постановку ОЭЗОВО вида (6)-(7).

Сложность решения задачи (6)-(7) состоит в необходимости вычисления точных значений критерия и ограничений задачи, имеющих вид многомерных интегралов, на каждой итерации решения задачи оптимизации. Существующие подходы к разрешению таких сложностей либо требуют огромных вычислительных затрат, как методы, основанные на идее метода Монте-Карло [8], либо предполагают узкий класс функций $g_j(d, z, \theta)$ [5, 9]. В работе предложен универсальный подход к решению ОЭЗОВО вида (6)-(7), основанный на преобразовании вероятностных ограничений в детерминированные для случая, когда неопределенные параметры независимы и имеют нормальное распределение.

Описание предлагаемого подхода. Для снижения вычислительных затрат на получение значения критерия задачи (6)-(7) в [2] мы аппроксимировали функции $f(d, z, \theta)$ линейной зависимостью, построенной на линейной части $\bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q)$ разложения функции $f(d, z, \theta)$ в ряд Тейлора по параметрам θ в точке θ^q . Для уточнения получаемой аппроксимации мы будем на каждой итерации процедуры оптимизации разбивать область T на подобласти. Тогда на k -ой итерации мы получим набор областей $T_q^{(k)} = \{\theta : \theta_i^{(k)L,q} \leq \theta_i \leq \theta_i^{(k)U,q}, i = 1, \dots, n_\theta\}$, $l = 1, \dots, Q^{(k)}$, и в каждой из подобластей будем вычислять аппроксимацию функции $f(d, z, \theta)$ линейной функцией $\bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q)$. В итоге мы получим кусочно-линейную аппроксимацию функции $f(d, z, \theta)$.

Области будем разбивать согласно правилу

$$T = T_1^{(k)} \cup T_2^{(k)} \cup \dots \cup T_{Q^{(k)}}^{(k)}, T_{q_1}^{(k)} \cap T_{q_2}^{(k)} = \emptyset, q_1, q_2 = 1, \dots, Q^{(k)}, q_1 \neq q_2.$$

Мы показали в [2], что критерий задачи (3)-(4) можно аппроксимировать зависимостью

$$E_{ap}[f(d, z, \theta)] = \sum_{q=1}^{Q^{(k)}} \left(a_q f(d, z, \theta^q) + \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial f(d, z, \theta^q)}{\partial \theta_i} (E[\theta_i; T_q^{(k)}] - a_q \theta_i^q) \right), (8)$$

$$a_q = \prod_{i=1}^{n_\theta} [\Phi(\tilde{\theta}_i^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_i^{(k)L,q})],$$

$$E[\theta_i; T_q^{(k)}] = \prod_{r=1}^{i-1} [\Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)L,q})] \cdot I_{iq} \cdot \prod_{r=i+1}^{n_\theta} [\Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)U,q}) - \Phi(\tilde{\theta}_r^{(k)L,q})],$$

$$I_{iq} = \int_{\theta_i^{(k)L,q}}^{\theta_i^{(k)U,q}} \theta_i \rho(\theta) d\theta.$$

здесь $\Phi(\xi)$ – функция стандартного нормального распределения, $\tilde{\theta}_i^{(k)L,q} = (\theta_i^{(k)L,q} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $\tilde{\theta}_i^{(k)U,q} = (\theta_i^{(k)U,q} - E[\theta_i]) / \sigma_i$, $i = 1, \dots, n_\theta$. Мы аппроксимировали функцию стандартного нормального распределения регрессионным уравнением. В результате вычисление аппроксимации (5) требует на k -ой итерации вычисления только одномерного интеграла I_{iq} . Предполагая при разбиении разбивать область пополам по наибольшему ребру, мы можем заранее рассчитать значения интеграла I_{iq} .

Рассмотрим способ преобразования вероятностных ограничений (4) в детерминированные. В работе [10] для линейных ограничений вида

$$g(x, \theta) = \theta_1 x_1 + \dots + \theta_{n_\theta} x_{n_\theta} - b,$$

где b – случайная величина с матожиданием $E[b]$ и дисперсией $(\sigma_b)^2$, было показано, что вероятностное ограничение вида

$$\Pr\{g(x, \theta) \leq 0\} \geq \alpha$$

можно свести к детерминированному ограничению вида

$$\left(\sum_{i=1}^{n_\theta} E[\theta_i] x_i + \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{\sum_{i=1}^{n_\theta} (\sigma_i)^2 x_i^2 + (\sigma_b)^2} \right) \leq E[b], \quad (9)$$

где $\Phi(\xi)$ – функция стандартного нормального распределения

Этот результат в работе [11] был обобщен на случай

$$g(x, \theta) = \theta_1 h_1(x) + \dots + \theta_{n_\theta} h_{n_\theta}(x) - b, \quad (10)$$

где $h_i(x)$, $i = 1, \dots, n_\theta$, произвольные функции.

Обобщим это результат на случай произвольной нелинейной по θ функции $g_j(d, z, \theta)$. Разложим функцию $g_j(d, z, \theta)$ в ряд Тейлора в некоторой точке $\theta^r \in T$ и оставим только линейную часть разложения

$$\begin{aligned} \bar{g}_j(d, z, \theta, \theta^r) &= g_j(d, z, \theta^r) + \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i} (\theta_i - \theta_i^r) = \\ &= \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i} \theta_i + g_j(d, z, \theta^r) - \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i} \theta_i^r. \end{aligned} \quad (11)$$

Если сопоставить вид функций (10) и (11), то очевидно, что

$$h_{ij}(d, z) = \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i}, \quad b_j = \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i} \theta_i^r - g_j(d, z, \theta^r). \quad (12)$$

где переменные b_j не являются случайными величинами, то есть $E[b_j] = b_j$ и $(\sigma_{b_j})^2 = 0$.

Подставим (11) в ограничения (7) вместо $g_j(d, z, \theta)$ и распространим (9) на (11). Получим новый вид ограничений (7)

$$\frac{b_j - \sum_{i=1}^{n_\theta} E[\theta_i] \frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_\theta} (\sigma_i)^2 \left(\frac{\partial g_j(d, z, \theta^r)}{\partial \theta_i} \right)^2}} \geq \Phi^{-1}(\alpha_j), \quad j = 1, \dots, m. \quad (13)$$

Ограничения (13) построены на основе функций (11), которые являются линейными аппроксимациями функций $g_j(d, z, \theta)$. Для уточнения этих аппроксимаций, так же, как и при уточнении аппроксимаций функций $f(d, z, \theta)$ функциями $\bar{f}(d^{(k)}, z^{(k)}, \theta, \theta^q)$, будем на k -ой итерации для каждого ограничения с номером j , $j = 1, \dots, m$, разбивать область неопределенности T на подобласти $T_{l,j}^{(k)} = \{\theta : \theta_i^{(k)L,l,j} \leq \theta_i \leq \theta_i^{(k)U,l,j}, i = 1, \dots, n_\theta\}$, $l = 1, \dots, N_j^{(k)}$, в которых будем строить функции $\bar{g}_j(d, z, \theta, \theta^{l,j})$.

Области будем разбивать согласно правилу

$$T = T_{1,j}^{(k)} \cup T_{2,j}^{(k)} \cup \dots \cup T_{N_j^{(k)},j}^{(k)}, T_{q_1^j,j}^{(k)} \cap T_{q_2^j,j}^{(k)} = \emptyset, q_1^j, q_2^j = 1, \dots, N_j^{(k)}, q_1^j \neq q_2^j.$$

Тогда, с учетом разбиения области неопределенности, можно записать новый вид ограничений (7)

$$\sum_{l=1}^{N_j^{(k)}} \int_{\Omega_{l,j}^{(k)}} \rho(\theta) d\theta \geq \alpha_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (14)$$

где $\Omega_{l,j}^{(k)} = \{\theta: g_j(d, z, \theta) \leq 0, \theta \in T_{l,j}^{(k)}\}$, $j = 1, \dots, m$, $l = 1, \dots, N_j^{(k)}$.

Тогда для одной области $T_{l,j}^{(k)}$ ограничения с номером j можно записать

$$b_{l,j} - \frac{\sum_{i=1}^{n_\theta} E[\theta_i] \frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_\theta} (\sigma_i)^2 \left(\frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i} \right)^2}} \geq \Phi^{-1}(\alpha_{l,j}), \quad l = 1, \dots, N_j^{(k)}, \quad (15)$$

где

$$b_{l,j} = \sum_{i=1}^{n_\theta} \frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i} \theta_i^{(k)l,j} - g_j(d, z, \theta^{(k)l,j}), \quad \theta^{(k)l,j} \in T_{l,j}^{(k)}, \quad l = 1, \dots, N_j^{(k)},$$

и $\alpha_{l,j}$ – уровень вероятности выполнения ограничения

$$\int_{\Omega_{l,j}^{(k)}} \rho(\theta) d\theta \geq \alpha_{l,j}, \quad l = 1, \dots, N_j^{(k)}.$$

Очевидно, что должно выполняться

$$\sum_{l=1}^{N_j^{(k)}} \alpha_{l,j} \geq \alpha_j. \quad (16)$$

Тогда мы можем записать вместо одного ограничения (14) с номером j группу из $N_j^{(k)}$ ограничений, добавив ограничение (16)

$$b_{l,j} - \frac{\sum_{i=1}^{n_\theta} E[\theta_i] \frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_\theta} (\sigma_i)^2 \left(\frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i} \right)^2}} \geq \Phi^{-1}(\alpha_{l,j}), \quad l = 1, \dots, N_j^{(k)}, \quad (17)$$

$$\sum_{l=1}^{N_j^{(k)}} \alpha_{l,j} \geq \alpha_j. \quad (18)$$

Подставив (8) и (17), (18) в задачу (6)-(7), получим задачу оценки критерия задачи (6)-(7) в виде

$$F^{(k)} = \min_{d, z \in H, \alpha_{l,j}} E_{ap}^{(k)} [f(d, z, \theta)] \quad (19)$$

$$\frac{b_{l,j} - \sum_{i=1}^{n_\theta} E[\theta_i] \frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_\theta} (\sigma_i)^2 \left(\frac{\partial g_j(d, z, \theta^{(k)l,j})}{\partial \theta_i} \right)^2}} \geq \Phi^{-1}(\alpha_{l,j}), \quad l=1, \dots, N_j^{(k)}, j=1, \dots, m, \quad (20)$$

$$\sum_{l=1}^{N_j^{(k)}} \alpha_{l,j} \geq \alpha_j. \quad (21)$$

Полученная задача является задачей нелинейного детерминированного программирования. Она может быть решена при помощи метода нелинейного программирования, например, метода SQP [12].

Заметим, что предложенный подход уточняет аппроксимации функций $f(d, z, \theta)$ и $g_j(d, z, \theta)$, $j=1, \dots, m$, постепенно, от итерации к итерации, что снижает вычислительные затраты на первых итерациях.

Эффективность аппроксимации (8) критерия задачи (6)-(7) была показана на сравнении с методом Монте-Карло. При этом время решения всей задачи (19)-(20) было в 40 раз меньше времени вычисления интеграла

$$E_\theta[f(d, z, \theta)] = \int_T f(d, z, \theta) \rho(\theta) d\theta.$$

при фиксированных значениях переменных d, z .

Предлагаемый подход и алгоритм были апробированы на модельном примере задачи оптимального проектирования системы, состоящей из реактора и теплообменника [2]. Сравнение полученных результатов с результатами известных подходов [2] показало эффективность предложенного подхода и алгоритма, при этом достигнуто значительное сокращение времени на решение задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Henrion R., Moller A. Optimization of a continuous distillation process under random inflow rate // *Comput. Math. Appl.* 2003. V. 45. P. 247-262.
2. Ostrovsky G.M., Ziyatdinov N.N., Lapteva T.V. Optimization problem with normally distributed uncertain parameters // *AIChE Journal*. 2013. T. 59. № 7. С. 2471-2484.
3. Calfa B.A., Grossmann I.E., Agarwal A., Bury S.J., Wassick J.M. Data-Driven Individual and Joint Chance-Constrained Optimization via Kernel Smoothing // *Computers & Chemical Engineering*. 2015. V. 78. P. 51-69.

4. Schwarm A.T., Nikolaou M. Chance-constrained model predictive control // *AIChE J.* 1999. V. 45. №8. P. 1743-1752.
5. Charnes A., Cooper W.W. Chance-constrained programming. // *Management Science.* 1959. V. 6. P. 73-79.
6. Wei J., Realff M.J. Sample average approximation method for stochastic MINLPs // *Comput. Chem. Eng.* 2004. V. 28. №3. P. 333-346.
7. Ostrovsky G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. Optimal design of chemical processes under uncertainty // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering.* 2014. V. 48. № 5. P. 583-593.
8. Bernardo F.P., Saraiva P.M. Robust optimization framework for process parameter and tolerance design // *AIChE J.* 1998. V. 44. P. 2007-2017.
9. Geletu A., Klöppel M., Zhang H., Li P. Advances and applications of chance-constrained approaches to systems optimization under uncertainty // *Int. J. Syst. Sci.* 2013. V. 44. P. 1209-1232.
10. Charnes A., Cooper W.W. Deterministic Equivalents for Optimizing and Satisficing under Chance Constraints // *Operations Research.* – 1963. – V. 11, № 1. – P.18 – 39.
11. Maranas C.D. Optimal Molecular Design Under Property Prediction Uncertainty // *AIChE J.* – 1997. – V. 43. – P. 1250 – 1264.
12. Biegler, L.T. *Nonlinear Programming Concepts: Algorithms, and Applications to Chemical Processes*; Society for Industrial and Applied Mathematics: Philadelphia, PA, 2010.

ФИЛЬТР КАЛМАНА ДЛЯ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Д.А. Лебедев (НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, 119192, Москва,
Мичуринский проспект, 1)
E-mail: lebedev.dmitri@list.ru

KALMAN FILTER FOR SECOND ORDER SYSTEM

D.A. Lebedev (The Institut of mechanics of Lomonosov Moscow
State University, 119192, Moscow, Michurinski avenue, 1)

Keywords: Kalman filter, second order systems, observability.

Введение. Многие механические, аэродинамические и космические системы описываются линейными матричными дифференциальными уравнениями второго порядка, которые обычно имеют вид:

$$W\ddot{x} + V\dot{x} + Kx = Bu, \quad x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = x_1,$$

где W есть симметрическая положительно определенная матрица, K – положительно полуопределенная матрица, Bu – вектор силы. Часто доступными для измерения являются величины:

$$z = N_1x + N_2\dot{x}$$

Переход к системе уравнений первого порядка может приводить к изменению структуры уравнений, утрату таких свойств матриц W, V, K , как симметрия знакоопределенность, разреженность и т.д., а также, к затруднению интерпретации полученных результатов. Например, обращение матрицы W может быть нежелательным, поскольку она может быть близка к вырожденной. Кроме того, предлагаемое решение задачи позволит получить более эффективные результаты, чем результаты, получаемые при переходе к системам первого порядка.

На практике на объект и на измерения могут воздействовать шумы. Таким образом, мы получаем стохастическую модель второго порядка

$$W\ddot{x} + V\dot{x} + Kx = Bu + Gq, \quad (0.1)$$

$$z_1 = N_1x + v \quad (0.2)$$

$$z_2 = N_2\dot{x} + \dot{v}$$

где $G \in \mathbb{R}^{n \times p}$, $q \in \mathbb{R}^p$, $v \in \mathbb{R}^r$, $\dot{v} \in \mathbb{R}^r$ – гауссовы процессы типа белого шума с нулевыми средними и известными ковариациями, не коррелированные между собой. Ранее такая задача в другой постановке рассматривалась в [1].

Постановка задачи. Получить оценку состояния системы (0.1) при помощи измерений (0.2) путем построения фильтра Калмана. При решении

задачи оценивания будем считать, что $B=0$, существует W^{-1} , ковариационная матрица процесса $q(t)$ удовлетворяют условию $Q(t) = Q^T(t) \geq 0$, ковариационная матрица процесса $v(t)$ - условию $R_1(t) = R_1^T(t) > 0$, ковариационная матрица процесса $\dot{v}(t)$ - условию $R_2(t) = R_2^T(t) > 0$. Считается известной априорная информация $\tilde{x}_0 = M[x_0]$, $\tilde{x}_1 = M[x_1]$,
 $P_0 = M[x_0 - M[x_0], x_0 - M[x_0]]$, $S_0 = M[x_0 - M[x_0], x_1 - M[x_1]]$,
 $U_0 = M[x_1 - M[x_1], x_1 - M[x_1]]$,

Представим уравнение (0.1), и измерение (0.2) в виде системы первого порядка

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & W \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K & -V \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ G \end{pmatrix} q \quad (0.3)$$

$$z = [N_1 \quad N_2] \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v \\ \dot{v} \end{pmatrix} \quad (0.4)$$

Уравнения (0.3) и (0.4) в обобщенном виде можно записать в виде

$$L(t) \dot{y}(t) = M(t) y(t) + \tilde{G}(t) q(t), \quad (0.5)$$

$$z(t) = N(t) y(t) + v(t), \quad (0.6)$$

где $L = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & W \end{bmatrix}$, $M = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K & -V \end{bmatrix}$, $\tilde{G} = \begin{pmatrix} 0 \\ G \end{pmatrix}$, $N = [N_1 \quad N_2]$.

Выпишем алгоритм оценивания для системы, заданной уравнением (0.5) и непрерывно поступающей информацией (0.6), считая что

$$M[q(t)] = 0, \quad M[q(t)q^T(s)] = Q(t)\delta(t-s), \quad Q(t) \geq 0, \quad \tilde{y}(t_0) = M[y(t_0)]$$

$$P(t_0) = M\left[\{y(t_0) - \tilde{y}(t_0)\}\{y(t_0) - \tilde{y}(t_0)\}^T\right] \geq 0, .$$

$$M[y(t_0)q^T(t)] = 0 \quad \forall t \geq t_0$$

$$M[v(t)v^T(s)] = R_1(t)\delta(t-s), \quad R_1(t) > 0$$

$$M[\dot{v}(t)\dot{v}^T(s)] = R_2(t)\delta(t-s), \quad R_2(t) > 0$$

$$R = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix}$$

Найдем несмещенную и ортогональную оценку в виде [2]

$$\hat{\tilde{y}} = H_1 \tilde{y} + H_2 z \quad (0.7)$$

Ошибка оценки $\Delta y = y - \tilde{y}$ должна быть несмещенной. Справедливо уравнение для ошибок оценки:

$$\Delta \dot{y} = H_1 \Delta y + (L^{-1}M - H_1 - H_2 N) y + L^{-1} \tilde{G} q - H_2 v$$

Из условия несмещенности $M[\Delta y] = 0$ получим:

$$L^{-1}M - H_1 - H_2 N = 0 \Rightarrow H_1 = L^{-1}M - H_2 N$$

Тогда уравнение для оценки (0.7) примет вид:

$$\dot{\tilde{y}} = L^{-1}M\tilde{y} + H_2(z - N\tilde{y}) \quad (0.8),$$

а уравнение ошибок запишется так:

$$\Delta \dot{y} = (L^{-1}M - H_2 N) \Delta y + L^{-1} \tilde{G} q - H_2 v \quad (0.9)$$

Обозначим $\hat{z}(s) = z(s) - M[z(s)] = z(s) - N\tilde{y} = N(s)\Delta y + v(s)$, тогда из условия ортогональности получим

$$0 = M[\Delta y(t) \hat{z}^T(s)] = M[\Delta y(t) \Delta y^T(s)] N^T(s) + M[\Delta y(t) v^T(s)],$$

или

$$P(t, s) N^T(s) + M[\Delta y(t) v^T(s)] = 0 \quad (0.10)$$

Решение (0.9) можно представить так:

$$\Delta y(t) = \varphi(t, t_0) \Delta y(t_0) + \int_{t_0}^t \varphi(t, \tau) \{L^{-1}(\tau) \tilde{G}(\tau) q(\tau) - H_2(\tau) v(\tau)\} d\tau,$$

где $\varphi(t, t_0)$ – переходная матрица линейной системы (0.9).

То есть

$$M[\Delta y(t) v^T(s)] = - \int_{t_0}^t \varphi(t, \tau) H_2(\tau) R(\tau) \delta(\tau - s) d\tau = -\varphi(t, s) H_2(s) R(s)$$

Таким образом, (0.10) можно записать в виде:

$$P(t, s) N^T(s) - \varphi(t, s) H_2(s) R(s) = 0,$$

при $s \rightarrow t$ получим:

$$H_2(t) = P(t) N^T(t) R^{-1}(t) \quad (0.11)$$

Подставив (0.11) в (0.8), получим уравнение фильтра Калмана

$$L \dot{\tilde{y}} = M\tilde{y} + LPN^T R^{-1}(z - N\tilde{y}) \quad (0.12)$$

Получим уравнение для нахождения матрицы P . Решение уравнения (0.9) представим в виде:

$$\Delta y(t) = \Phi(t, t_0) \Delta y(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda) (L^{-1} \tilde{G} q - H_2 v) d\lambda \quad (0.13)$$

где

$$\frac{\partial \Phi(t, t_0)}{\partial t} = (L^{-1}M - H_2 N) \Phi(t, t_0), \quad \Phi(t_0, t_0) = 1 \quad (0.14)$$

$$\frac{\partial \Phi^T(t, t_0)}{\partial t} = \Phi^T(t, t_0) (M^T L^{-T} - H_2^T N^T) \quad (0.15)$$

По определению выражение $P(t_1, t_2) = M [\Delta y(t_1) \Delta y^T(t_2)]$, которое в соответствии с (0.13) запишется так:

$$P(t_1, t_2) = M \left[\Phi(t_1, t_0) \Delta y(t_0) \Delta y^T(t_0) \Phi^T(t_2, t_0) \right] + \\ + M \left[\int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_2} \Phi(t_1, \lambda_1) (A(\lambda_1)) (A(\lambda_2))^T \Phi^T(t_2, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2 \right] \quad (0.16)$$

В выражении (0.16) принято обозначение

$$L^{-1}(\lambda_i) \tilde{G}(\lambda_i) q(\lambda_i) - H_2(\lambda_i) v(\lambda_i) = A(\lambda_i)$$

В (0.16) внесем математическое ожидание под знак интеграла

$$P(t_1, t_2) = \Phi(t_1, t_0) M [\Delta y(t_0) \Delta y^T(t_0)] \Phi^T(t_2, t_0) + \\ + \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_2} \Phi(t_1, \lambda_1) M \left[(A(\lambda_1)) (A(\lambda_2))^T \right] \Phi^T(t_2, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2 \quad (0.17)$$

Вычислим отдельно математическое ожидание, стоящее под знаком интеграла

$$M \left[(A(\lambda_1)) (A(\lambda_2))^T \right] = L^{-1}(\lambda_1) \tilde{G}(\lambda_1) M \left[q(\lambda_1) q^T(\lambda_2) \right] \tilde{G}^T(\lambda_2) L^{-T}(\lambda_2) + \\ H_2(\lambda_1) M \left[v(\lambda_1) v^T(\lambda_2) \right] H_2^T(\lambda_2) = \\ L^{-1}(\lambda_1) \tilde{G}(\lambda_1) Q(\lambda_1) \delta(\lambda_1 - \lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^{-T}(\lambda_2) + H_2(\lambda_1) R(\lambda_1) \delta(\lambda_1 - \lambda_2) H_2^T(\lambda_2)$$

Подставим вычисленное математическое ожидание в интеграл и проинтегрируем по λ_1 и положим $t_1 = t_2 = t$:

$$\int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_2} \Phi(t_1, \lambda_1) M \left[(A(\lambda_1)) (A(\lambda_2))^T \right] \Phi^T(t_2, \lambda_2) d\lambda_1 d\lambda_2 = \\ = \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^{-T}(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\ + \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) H_2(\lambda_1) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2$$

Подставим последнее выражение в (0.17):

$$\begin{aligned}
P(t) &= \Phi(t, t_0) P(t_0) \Phi^T(t, t_0) + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) H_2(\lambda_2) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2
\end{aligned} \tag{0.18}$$

Продифференцируем (0.18) по t :

$$\begin{aligned}
\frac{dP(t)}{dt} &= \frac{\partial \Phi(t, t_0)}{\partial t} P(t_0) \Phi^T(t, t_0) + \Phi(t, t_0) P(t_0) \frac{\partial \Phi^T(t, t_0)}{\partial t} + \\
&+ \Phi(t, t) L^{-1}(t) \tilde{G}(t) Q(t) \tilde{G}^T(t) L^T(t) \Phi^T(t, t) + \\
&+ \Phi(t, t) H_2(t) R(t) H_2^T(t) \Phi^T(t, t) + \\
&+ \int_{t_0}^t \frac{\partial \Phi(t, \lambda_2)}{\partial t} L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^T(\lambda_2) \frac{\partial \Phi^T(t, \lambda_2)}{\partial t} d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \frac{\partial \Phi(t, \lambda_2)}{\partial t} H_2(\lambda_2) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \Phi(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) H_2(\lambda_2) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \frac{\partial \Phi^T(t, \lambda_2)}{\partial t} d\lambda_2
\end{aligned} \tag{0.19}$$

Перепишем выражение (0.19), воспользовавшись (0.14) и (0.15):

$$\begin{aligned}
\frac{dP(t)}{dt} &= (L^{-1}(t)M(t) - H_2(t)N(t)) \Phi(t, t_0) P(t_0) \Phi^T(t, t_0) + \\
&+ \Phi(t, t_0) P(t_0) \Phi^T(t, t_0) (M^T(t)L^T(t) - N^T(t)H_2^T(t)) + \\
&+ \Phi(t, t) L^{-1}(t) \tilde{G}(t) Q(t) \tilde{G}^T(t) L^T(t) \Phi^T(t, t) + \\
&+ \Phi(t, t) H_2(t) R(t) H_2^T(t) \Phi^T(t, t) \\
&+ \int_{t_0}^t (L^{-1}M - H_2N)(t) \Phi(t, \lambda_2) L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) L^{-1}(\lambda_2) \tilde{G}(\lambda_2) Q(\lambda_2) \tilde{G}^T(\lambda_2) L^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) (M^T L^T - N^T H_2^T)(t) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t (L^{-1}(t)M(t) - H_2(t)N(t)) \Phi(t, \lambda_2) H_2(\lambda_2) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \Phi(t, \lambda_2) d\lambda_2 + \\
&+ \int_{t_0}^t \Phi(t, \lambda_2) H_2(\lambda_2) R(\lambda_2) H_2^T(\lambda_2) \Phi^T(t, \lambda_2) (M^T(t)L^T(t) - N^T(t)H_2^T(t)) d\lambda_2
\end{aligned} \tag{0.20}$$

Воспользовавшись (0.18) выражение (0.20) можно представить так:

$$\begin{aligned} \frac{dP(t)}{dt} = & (L^{-1}(t)M(t) - H_2(t)N(t))P(t) + \\ & + P(t)(M^T(t)L^{-T}(t) - N^T(t)H_2^T(t)) + \Phi(t,t)H_2(t)R(t)H_2^T(t)\Phi^T(t,t) + \\ & + \Phi(t,t)L^{-1}(t)\tilde{G}(t)Q(t)\tilde{G}^T(t)L^{-T}(t)\Phi^T(t,t) \end{aligned} \quad (0.21)$$

Подставим в (0.21) выражение (0.11) и умножив полученное выражение слева на L , а справа на L^T обобщенное уравнение Риккати:

$$L\dot{P}L^T = MPL^T + LPM^T - LPN^TR^{-1}NPL^T + \tilde{G}Q\tilde{G}^T \quad (0.22)$$

Подставим матрицы из уравнений (0.5) и (0.6) в уравнение (0.12):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & W \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \dot{\tilde{x}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K & -V \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \dot{\tilde{x}} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E & S \\ S^T & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1^T \\ N_2^T \end{bmatrix} R^{-1} (z - N\tilde{y}) \quad (0.23)$$

В уравнении (0.23)

$$E = M \begin{bmatrix} \Delta x \Delta x^T \end{bmatrix}, \quad S = M \begin{bmatrix} \Delta x \Delta \dot{x}^T \end{bmatrix}, \quad U = M \begin{bmatrix} \Delta \dot{x} \Delta \dot{x}^T \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} E & S \\ S^T & U \end{bmatrix}. \text{ Перемно-$$

жив матрицы (0.23) и вводя обозначение $\tilde{z} = z - N\tilde{y} = Ny + v - N\tilde{y} = N\Delta y + v$ получим уравнение фильтра Калмана для оценки вектора состояния

$$W\ddot{\tilde{x}} + V\dot{\tilde{x}} + K\tilde{x} = W(N_1S + N_2U)^T R^{-1}\tilde{z} \quad (0.24)$$

Субматрицы E, S, U можно найти, решив систему из трех матричных уравнений Риккати, которые легко получить, выполнив умножение в уравнении (0.22)

$$\dot{E} = S^T + S - EN_1^T R_2^{-1} N_1 E - SN_2^T R_1^{-1} N_2 S^T \quad (0.25)$$

$$\dot{S}W^T = UW^T - EK^T - SV^T - (EN_1^T R_2^{-1} N_1 S + SN_2^T R_1^{-1} N_2 U)W^T \quad (0.26)$$

$$\begin{aligned} W\dot{U}W^T = & (-KS - UV)W^T - WS^TK^T - WUV^T - \\ & - W(S^T N_1^T R_2^{-1} N_1 S + UN_2^T R_1^{-1} N_2 U)W^T + GQG^T \end{aligned} \quad (0.27)$$

Решение системы уравнений (0.25), (0.26), (0.27) является отдельной задачей и в данной работе не обсуждается.

Таким образом, для непрерывной модели второго порядка (0.1), (0.2) фильтр Калмана дается уравнением (0.24), где ковариационные матрицы

E, S, U определяются из системы уравнений (0.25), – (0.27), а начальные условия имеют вид:

$$\tilde{x}(0) = M[x(0)], \quad \dot{\tilde{x}}(0) = M[\dot{x}(0)], \quad E(0) = E_0, S(0) = S_0, U(0) = U_0$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Х.Р. Хашемипур, А.Д. Лауб, Фильтр Калмана для моделей второго порядка. // *Аэро/космическая техника*. 1989. №1. С. 127-133.
2. Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С., *Оптимизация динамики управляемых систем*, М.: МГУ, 2000 – 304 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

С.А.Ляшева, М.П.Шлеймович (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111,
Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: stellyash@mail.ru

NEURAL NETWORK PREDICTION OF THE PARAMETERS OF FAST PROCESSES

S.A.Lyasheva, M.P.Shleymovich (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,
K.Marx str., 10)

Keywords: fast processes, parameters of fast processes, neural network prediction.

Введение. В настоящее время накоплен обширный объем экспериментальных данных, что позволило установить и обосновать многие закономерности быстропротекающих процессов. В качестве параметров быстропротекающих процессов рассматривают энтальпию, фугасность, бризантность, скорость детонации, скорость взрыва и т.д.

Одним из важных параметров является фугасность, которая характеризует фугасное действие. Последнее проявляется в форме раскалывания и отбрасывания среды, в которой происходит взрыв. Очень часто фугасность называют работоспособностью взрывчатого вещества. Оценивают данный параметр условными характеристиками, определяемыми по результатам проведения экспериментов. Ранее, при теоретическом исследовании полную работу взрыва рассматривали как работу адиабатного расширения продуктов взрыва. Величину практической работоспособности, считали, пропорционально работе адиабатного расширения продуктов взрыва при определенной степени этого расширения, зависящей от условий взрыва и характера производимой работы. Определение работоспособности по этому принципу можно с помощью баллистического маятника. Однако практическое использование метода баллистического маятника для определения работоспособности взрывчатого вещества требует преодоления многих трудностей. Поэтому в промышленности для оценки работоспособности наибольшее распространение имеет метод, при котором изменяется расширение, образуемое взрывом в свинцовой бомбе.

Еще одним из важных параметров является скорость детонации. Для ее расчета часто используют расчетные методы. Например, существует

достаточное количество методов приближенного расчета скорости детонации C-H-O-N-взрывчатых веществ, основывающихся на экспериментальных данных. Анализ шести экспресс методов, проведенный Трубниковым и Козыревым, показал, что наиболее эффективным относительно всех взрывчатых веществ является метод Айзенштадта. Погрешности вычислений, получаемые в результате применения методов Ву Ксионга и Камлета, имеют примерно одинаковые значения. Эти методы наиболее эффективны применительно к взрывчатым веществам с отрицательным кислородным балансом. Метод Кривченко также позволяет получить относительно невысокую погрешность для взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом, но его применение осложняется тем, что для расчета требуется знание величины скорости звука в этих взрывчатых веществах. Метод Пепекина целесообразно применять для расчета скорости детонации со строго отрицательным кислородным балансом. Наибольшую погрешность вычислений для всех взрывчатых веществ дает экспресс метод Ротстейна, являющийся при этом и самым сложным, что позволяет его считать наименее эффективным. Таким образом, для определения параметров быстропротекающих процессов применяют либо эксперименты, либо приближенные методы расчета. Однако, следует отметить, что, во-первых, экспериментальные исследования требуют немалых материальных затрат, во-вторых, необходима достаточно длительная подготовка к проведению конкретного эксперимента, в-третьих, встает проблема проверки достоверности полученных данных. В то же время применяемые на практике методы расчета дают приближенные результаты со значительными погрешностями.

Однако накопленный экспериментальный материал может быть использован для интеллектуального анализа быстропротекающих процессов, целью которого является определение значений требуемых параметров. Такой анализ позволит обобщить практический опыт и гибко реагировать на появление новых данных.

Авторами был проведен ряд исследований в данном направлении с применением методов нейросетевого прогнозирования и получен предварительный результат, согласно которому получаемые значения сравнимы с расчетными по известным методикам.

Нейросетевое прогнозирование фугасности индивидуальных взрывчатых веществ. Фугасность характеризует один из основных видов внешней работы взрыва – фугасное действие, которое проявляется в форме раскалывания и отбрасывания среды, в которой происходит взрыв [1]. Фугасностью называется способность взрывчатых веществ к разрушительно-

му действию за счет расширения продуктов взрыва до сравнительно невысоких давлений и прохождения по среде ударной волны. В качестве меры фугасности в теоретических расчетах используют потенциал взрывчатого вещества или его удельную энергию. Однако фугасность и удельная энергия взрывчатого вещества не являются тождественными понятиями, поскольку кроме потенциала или удельной энергии на фугасное действие оказывают существенное влияние такие характеристики, как удельный объем и состав газообразных продуктов взрыва. Учитывая это, фугасность оценивают условными характеристиками, определяемыми по результатам проведения экспериментов.

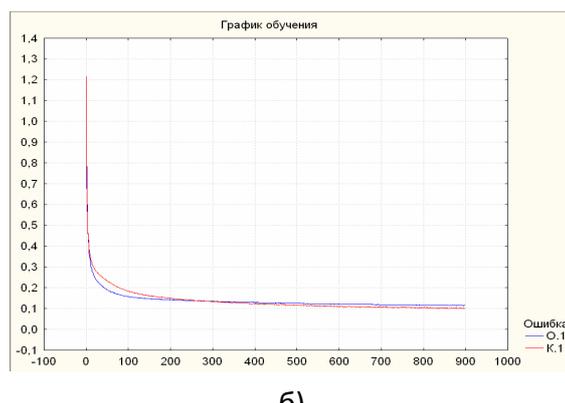
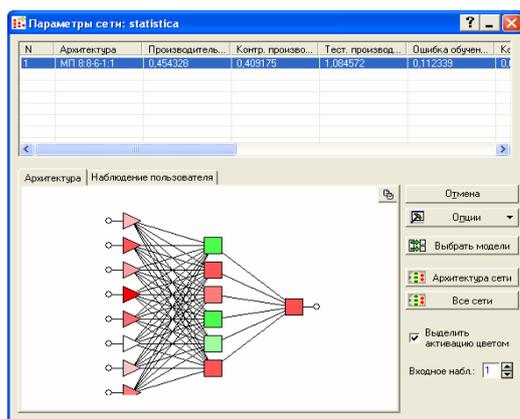
Для практической оценки фугасности используют так называемую пробу на расширение свинцовой бомбы. Заряд испытуемого взрывчатого вещества массой 10 г взрывают в цилиндрическом канале свинцовой бомбы определенных размеров. После взрыва канал расширяется и приобретает грушевидную форму. Мерой фугасности принимается изменение объема канала.

Теоретическое исследование полной работы взрыва было впервые проведено русским ученым И.М. Чельцовым, а затем получило дальнейшее развитие в работах А.Ф. Беляева. Чельцов рассматривал работу взрыва как работу адиабатного расширения продуктов взрыва. По А.Ф. Беляеву, величина практической работоспособности пропорциональна работе адиабатного расширения продуктов взрыва при определенной степени этого расширения, зависящей от условий взрыва и характера производимой работы. Определить работоспособность по этому принципу можно с помощью баллистического маятника. Однако, как указывает К.К. Андреев, практическое использование метода баллистического маятника для определения работоспособности взрывчатого вещества требует преодоления многих трудностей. Поэтому в промышленности для оценки работоспособности наибольшее распространение имеет метод, при котором изменяется расширение, образуемое взрывом в свинцовой бомбе. Для этой цели применяют свинцовую бомбу с цилиндрическим гнездом. В бумажную гильзу бомбы помещают 10 г взрывчатого вещества и прессуют в специальной матрице в виде патрона с гнездом для капсюля – детонатора или электродетонатора. Патрон с капсюлем вводят в гнездо бомбы. Свободный объем гнезда засыпают кварцевым песком. При взрыве гнездо бомбы расширяется и приобретает грушевидную форму. Разность между объемом гнезда до и после взрыва является практической мерой работоспособности испытуемого взрывчатого вещества [2].

Из представленного выше описания видно, что фугасность определяют, в основном, экспериментально. Проведение эксперимента связано с обеспечением безопасности и финансовыми затратами. Очевидно, что сократить финансовые затраты и обеспечить безопасность людей при определении фугасности можно за счет проведения вычислительных экспериментов на компьютере. При этом получение даже приблизительных результатов с погрешностью дает ориентацию для планирования дальнейших исследований данного параметра. Поэтому подходы, базирующиеся на компьютерном моделировании, позволяющим проводить анализ процессов и делать выводы относительно их параметров на основании расчетно-теоретических представлений, актуальны и практически значимы [3].

Одним из перспективных направлений представляется получение модели, позволяющей прогнозировать фугасность по значениям параметров взрывчатых веществ и процесса взрыва. В этом случае можно обучить систему прогнозирования с помощью обучающей выборки. Данное обучение и последующее прогнозирование можно эффективно осуществить посредством применения нейронной сети. Для построения нейросетевой модели, обучения нейронной сети и тестирования ее способности к прогнозированию была создана электронная база данных, в состав которой по результатам изучения открытых источников включены 48 индивидуальных взрывчатых веществ. В этой базе данных исходными параметрами являлись: количество углерода, количество водорода, количество кислорода, количество азота, молярная масса, кислородный баланс, плотность, объем продуктов взрыва, фугасность (полученная экспериментально). В состав базы данных вошли Октоген, Тетрил, Гексаген, ЭДНА, Нитрогуанидин, Нитрокарбонид и др. вещества.

Для построения нейросетевой модели и прогнозирования был использован пакет прикладных программ Statistica [4], который содержит большое количество эффективных средств анализа данных. Структура нейронной сети для прогнозирования фугасности и процесс ее обучения приведены на рис. 1. Проведенные с помощью данной нейронной сети эксперименты показали, что погрешность прогнозирования в среднем составляет около 30%, что связано с отдельными значительными выбросами. Однако для большинства веществ результаты прогноза сопоставимы с экспериментальными данными.



а)

Рис.1. Нейросетевое прогнозирование скорости детонации индивидуальных взрывчатых веществ

Одним из наиболее эффективных методов определения скорости детонации взрывчатых веществ является метод Айзенштадта [5]. Он заключается в использовании следующих факторов [6]:

- абсолютное значение величины кислородного баланса,
- удельная изохорическая теплота образования взрывчатого вещества,
- исходное число грамм-атомов в исходном взрывчатом веществе.

Схема расчета скорости детонации состоит из двух этапов. Целью первого этапа является вычисление величины идеальной скорости детонации при эталонной для всех взрывчатых веществ начальной плотности. Второй этап заключается в переходе от идеальной скорости детонации к скорости детонации, соответствующей рассматриваемой плотности. Для этого Айзенштадт предложил ввести величину, которая зависит от элементного состава вещества. Главными достоинствами данного метода являются простота вычислений и малое количество входных параметров. Поэтому данный метод был выбран для сравнения с результатами нейросетевого прогнозирования скорости детонации.

Примененная для прогнозирования скорости детонации взрывчатых веществ нейронная сеть представляет собой однослойный персептрон с 9 нейронами во входном слое, 7 нейронами в скрытом слое и одним нейроном в выходном слое. Входными параметрами являются:

- 1) количество углерода,
- 2) количество водорода,
- 3) количество азота,
- 4) количество кислорода,
- 5) молярная масса,
- 6) кислородный баланс,
- 7) кислородный коэффициент,
- 8) плотность,
- 9) энтальпия.

Прогнозирование для всех веществ в базе данных было проведено методом скользящей выборки. Средняя ошибка прогнозирования составила 4,3%.

Следует также отметить, что 75% результатов, полученных прогнозированием с помощью искусственной нейронной сети, входят в доверительный интервал, в то время как лишь 47,5% результатов моделирования методом Айзенштадта не вышли за доверительный интервал. Это свидетельствует о состоятельности нейросетевого подхода в прогнозировании скорости детонации.

Заключение. Таким образом, применение нейронной сети позволяет получить ориентировочные значения для оценки параметра фугасности и скорости детонации без использования дорогостоящих и опасных экспериментов [7, 8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горст, А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
2. Андреев, К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 594 с.
3. Кирпичников, А.П. Автоматизированная система моделирования параметров быстропротекающих процессов / А.П. Кирпичников, С.А. Ляшева, О.Т. Шипина // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КНИТУ, 2014. - Т. 17.-№ 13. – С. 349-352.
4. Боровиков, В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. Издание 2-е, перераб. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 392 с.
5. Трубников, А.А. Анализ экспресс методов расчета скорости детонации С-Н-Н-О конденсированных взрывчатых веществ / А.А. Трубников, Н.В. Козырев // Ползуновский вестник - 2009 - №3 с. 121-125.
6. Айзенштадт, И.Н. Физика горения и взрыва. 1976. Т.12. №5 С. 758-763.
7. Ляшева, С.А. Прогнозирование скорости детонации индивидуальных взрывчатых веществ с использованием нейронной сети / С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович, А.П. Кирпичников, А.Н. Спицин // Вестник Казанского технологического университета, 2015. - Т. 18. - №15. – С. 226-230.
8. Ляшева С.А. Нейросетевое прогнозирование фугасности индивидуальных взрывчатых веществ / С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович, А.П. Кирпичников, О.Д. Гришина // Вестник Казанского технологического университета, 2015. - Т. 18. - №17. – С.171-174.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В.В. Малышев (д.т.н., профессор, зав. кафедрой Московского авиационного института, г. Москва, Россия), VeniaminMalyshev@mail.ru

TAKING DECISION BY DESIGN OF SATELLITE SYSTEMS

V. V. Malyshev (Doctor of science, professor, head of system analysis and control department of Moscow aviation institute, Moscow, Russia), VeniaminMalyshev@mail.ru

Keywords: system analysis, taking decision by uncertainty, guidance and control, orbital space systems.

Одним из фундаментальных направлений при проектировании спутниковых систем является - *Сравнительный анализ проектов (систем) и принятие решений в условиях многокритериальной неопределенности*. Особенности подобных исследований состоят в следующем:

- принятие сложных технико-экономических решений, к которым относится выбор наилучшего варианта из числа предлагаемых, является комплексным процессом, выходящим за рамки классической задачи оптимизации;

- критерий оптимальности (эффективности) не является скалярным, некоторые его компоненты измеряются не в количественных, а в качественных шкалах;

- значения критерия для различных альтернатив зачастую являются итогом экспертных, иногда противоречивых, оценок;

- само понятие оптимальности решения не имеет для ЛПР исчерпывающей ясности и формируется им в процессе размышлений над результатами при различных подходах к пониманию оптимальности (рациональности);

- ключевым понятием становится неопределенность.

Типовым примером может служить задача, представленная в таблице 1, - задача выбора наилучшего носителя из нескольких альтернатив (в данном случае 4) по совокупности показателей (здесь их 10). Среди них - показатели надежности, безопасности, полезной нагрузки, наконец, экономические показатели.

Для решения подобных задач существует большое количество известных методов (метод MAUT, ELEKTRЕ, метод анализа иерархий, ПРИНН и

др.), каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Мы не ставим своей целью анализировать здесь эти методы. Мы предлагаем новую методику принятия решений в условиях многокритериальной неопределенности, которая лишена многих известных недостатков и позволяет формировать комплексную оценку решений в условиях неопределенности, используя любые (известные и неизвестные)

Таблица 1

Выбор наилучшего носителя из нескольких альтернатив

РН	Надежность	Эффективность бортовой СУ	Время развития аварии сек	Безопасность стартового комплекса	Безопасность экипажа	Потенциал наращивания энергетики %	Полез. масса/ полная масса %	Полез. масса/ пустая масса %	Затраты разработ млрд.руб	Удельная стоимость выведения тыс. руб./кг
	макс	макс	макс	макс	макс	макс	макс	макс	мин	мин
А	0,97	0,9	0,2	0,9995	0,995	1,3	2,7	30	15	75
Б	0,98	0,5	0,1	0,999	0,99	2,3	2,5	40	20	100
В	0,96	0,9	0,2	0,9995	0,995	2	2,4	20	18	60
Г	0,96	0,9	0,25	0,9995	0,995	3	2	35	22	80

свертки, рассматривать множество всех допустимых способов учета неопределенности, рассматривать как количественные, так и качественные критерии, использовать интервальные оценки частных критериев, устанавливать предпочтения между отдельными критериями, не задавать весовые коэффициенты.

Методика была успешно применена для комплексного анализа возможных средств выведения при рассмотрении системного проекта «Восточный». В настоящее время методика существенно модернизирована и может эффективно использоваться при формировании космических проектов и целевых программ. Методика основана на, так называемом, методе уверенных суждений, сущность которого можно пояснить на примере традиционно используемой линейной свертки.

Итак, воспользуемся линейной сверткой для комплексной оценки заданных в примере альтернатив

$$\bar{F}(f) = \sum_{j=1}^m \alpha^j f^j, \alpha^j \geq 0, j=1, \dots, m, \sum_{j=1}^m \alpha^j = 1$$

Только теперь мы не будем задавать весовые коэффициенты с помощью экспертов. Будем рассматривать множество всех допустимых коэффициентов, разыгрывая их статистически и определяя рейтинг каждого варианта как частоту его появления в качестве наилучшего. Именно рейтинг определит нашу уверенность при принятии решения о наилучшем варианте выбора. Дополнительные предпочтения легко учитываются через ограничения на эти самые весовые коэффициенты. Прделав указанные процедуры для рассматриваемого примера, можно получить следующие

результаты (см. таблицу 2). Из данной таблицы следует, что - при базовом варианте, когда все показатели считаются одинаково важными, лучший рейтинг у варианта А, т.к. он является наилучшим в 47 случаях из 100. Полагая показатели безопасности более важными по сравнению с другими, вариант А оказывается наилучшим в 99 случаях из 100. Наконец, полагая более важными безопасность и стоимость одновременно, вариант А оказывается наилучшим в 98 случаях из 100.

Таблица 2

Результаты решения задачи выбора носителя

Носитель	Базовая политика выбора	Особая важность показателей безопасности	Особая важность показателей безопасности и стоимости
	Рейтинг	Рейтинг	Рейтинг
А	47,28	99,86	98,45
Б	10,9	0,14	0,04
В	32,26		1,51
Г	9,56		

Таким образом, в данном случае вариант А следует признать наилучшим независимо от мнения экспертов в отношении весовых коэффициентов.

К следующему направлению следует отнести *Анализ и синтез многоцелевых орбитальных группировок ДЗЗ*. В рамках данного направления разрабатывается методика системного проектирования и программно-математическое обеспечение, позволяющие решать три основные задачи.

Задача 1. Анализ эффективности многоцелевой орбитальной группировки КА ДЗЗ с учетом количества КА, их расположения на орбитах, комплектации и параметров бортовой целевой аппаратуры.

Задача 2. Планирование процесса съемки различных объектов (точечных и площадных) с учетом конкретного сценария целевого функционирования аппаратуры КА (фиксированная или изменяемая ориентация оси визирования бортовой целевой аппаратуры), для различных вариантов передачи съемочной информации на ППИ (например, режим записи в БЗУ, либо непосредственная передача), для различных интервалов планирования.

Задача 3. Формирование наилучшей орбитальной группировки на основе методов многокритериального принятия решения при оценке целевого функционирования системы по совокупности критериев. Речь идет о таких показателях как периодичность наблюдения, оперативность пере-

дачи информации с борта КА на ППИ, среднесуточный объем переданной информации на ППИ, совокупная ценность съемочной информации, разрешение аппаратуры КА, отснятая площадь, спектральные диапазоны аппаратуры наблюдения и т.д.

На следующих рисунках показан ряд примеров применения данной методики. На рисунке 1 представлен чисто методический пример анализа эффективности функционирования орбитальной группировки из 8 известных спутников (Orbview, Resurs DK, Terra и др.) для съемки 22 объектов. Из представленных графиков видно, что вклад каждого спутника в решение данной задачи существенно отличается друг от друга. Другими словами, такую группировку использовать нецелесообразно.

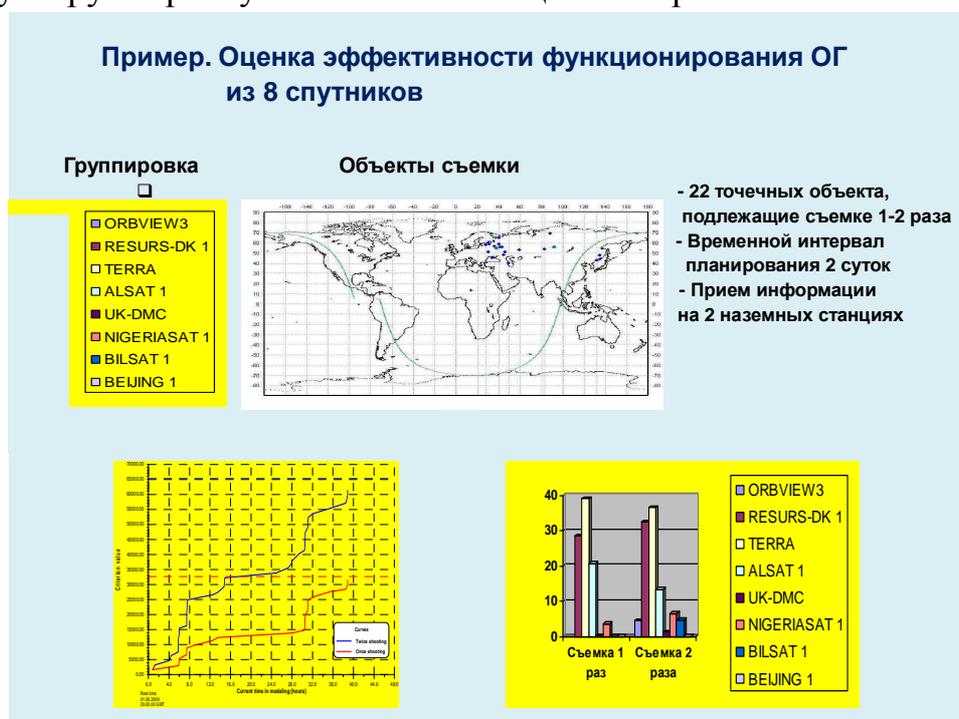


Рис. 1. Анализ эффективности функционирования орбитальной группировки из 8 известных спутников

На рисунках 2, 3 представлен анализ эффективности функционирования космической системы наблюдения на базе 5 микро КА. Рассматривалась задача мониторинга территории Тверской, Калужской и Архангельской областей. Принималось, что высота орбит КА - 600 км, наклонение орбит - 98°.

В качестве показателей рассматривались периодичность наблюдения, минимально необходимое время для полного покрытия и время наблюдения заданных территорий. Были проанализированы различные варианты орбитального построения системы. Некоторые из них представлены на рисунке 2.

Вариант 1: пять солнечно синхронных орбит, разнесенных на 5° по долготе восходящего узла,

Вариант 2: одна солнечно синхронная орбита с равномерно распределенными на ней 5 КА,

Вариант 3: две ССО, в первой - 3 КА (разнесенные на 7° по долготе восходящего узла), во второй - 2 КА (разнесенные на 5°) и т.д.

Из результатов, представленных в таблице, следует, что наилучшей структурой из числа рассмотренных в данном случае является одна солнечно синхронная орбита с равномерно распределенными на ней 5 КА, т.к. все принятые показатели у данной структуры являются наилучшими.

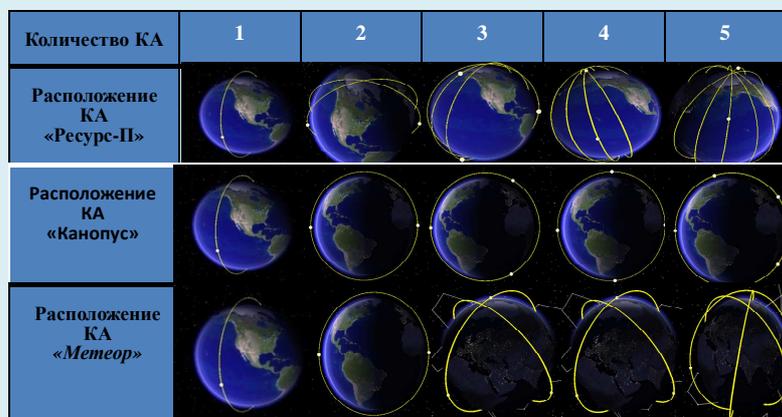


Рис. 2. Результаты анализа эффективности

На рисунке 3 представлен сравнительный анализ орбитальных группировок при наблюдении 18 крупнейших городов РФ. Рассматривались группировки из 1,2,3,4 и 5 спутников типа Ресурс-П, Канокус и Метеор.

Здесь представлены некоторые численные результаты, из которых видно, что периодичность *наблюдения* и совокупная полезность информации существенно отличаются для каждой группировки. Однако при увеличении количества спутников до 5 эти показатели сближаются и мало отличаются друг от друга.

Пример. Сравнительный анализ орбитальных группировок при наблюдении 18 крупнейших городов РФ



Некоторые численные результаты

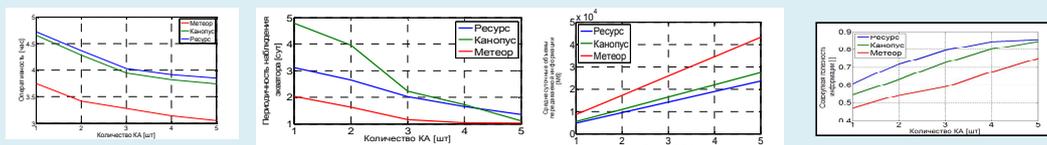


Рис. 3. Сравнительный анализ орбитальных группировок

Естественным продолжением упомянутых исследований является *Анализ и синтез структуры ГЛОНАСС*. В рамках данного направления разрабатывается методика системного проектирования и программно-математическое обеспечение, которые позволяют решать задачи повышения точности и доступности системы ГЛОНАСС, анализа возможности использования различных дополнений, в т.ч. высокоорбитального сегмента, анализа деградации выбранных орбитальных структур и выбора методов ее компенсации, оценки эффективности системы ГЛОНАСС по разным показателям, формирования предложений по модернизации системы ГЛОНАСС с целью повышения доступности и точности позиционирования при наличии существующих ограничений, наконец, формирования наилучшей орбитальной группировки ГЛОНАСС на основе комплексной оценки эффективности.

Фактически предлагается методика системного проектирования и соответствующее программное и математическое обеспечение, позволяющие решать задачи анализа эффективности многоцелевой орбитальной группировки КА ДЗЗ, планирования процесса съемки различных объектов (точечных и площадных) и формирование наилучшей орбитальной группировки на основе методов многокритериального принятия решения при оценке целевого функционирования системы по совокупности критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев А.А., Нестеренко О.П. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование. Машиностроение, 1991.-224с.
2. Малышев В.В., Бобронников В.Т., В.Н., Красильщиков М.Н., Нестеренко О.П., Федоров А.В. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление. Издательство МАИ, 2000.-568с.
3. Малышев В.В., Бобронников В.Т., Дарнопых В.В., Шидловский А.В. "Планирование целевого функционирования спутниковых систем мониторинга". МАИ. 2002.-80с.
4. Малышев В.В. Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления. Учебное пособие// М.: МАИ-ПРИНТ, 2010, - 440 стр..
5. Малышев В.В., Пиявский С.А. Метод уверенных суждений при выборе многокритериальных решений . Известия РАН «Теория и системы управления» , 2015, №5.
6. Малышев В.В., Дарнопых В.В. Оперативное планирование целевого функционирования космических систем наблюдения и связи// М.: МАИ-ПРИНТ, 2017, -210с.

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

М.В. Медведев (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К. Маркса, 10)

E-mail: mmedv@mail.ru.

**OBJECT DETECTION IN INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
SYSTEMS**

M. V. Medvedev (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: salient points, wavelet transform.

В настоящее время практически во всех сферах деятельности человека для автоматизации определенных процессов используется цифровая обработка изображений. Распространено использование методов цифровой обработки изображений для решения задач промышленного производства, например, при контроле состояния формы при литье под давлением [1].

На крупных промышленных предприятиях часто используются конвейеры. Задача подсчета количества деталей на конвейере является актуальной, так как можно регулировать подачу деталей на конвейерную ленту для упаковки, сортировки и других задач. В данной работе рассматривается задача определения загрузки конвейера. Определение степени загруженности конвейера деталями осуществляется путем вычисления отношения количества деталей на его ленте к максимально допустимому.

Для выделения деталей на изображении используется алгоритм выделения особых точек вейвлет-преобразования, подробно описанный в работе [2]. Применение этого метода хорошо зарекомендовало себя при решении задач детектирования объектов на наблюдаемой поверхности [3].

Для получения особых точек осуществляется вейвлет-преобразование изображения. Вейвлет-преобразование сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла Фурье по системе базисных функций

$$\varphi_{j,m,n}(x,y)=2^{j/2} \varphi(2^j x-m, 2^j y-n), \quad (1)$$

$$\psi_{j,m,n}^i(x,y)=2^{j/2} \psi^i(2^j x-m, 2^j y-n), i=\{H, V, D\}, \quad (2)$$

где $\varphi_{j,m,n}(x,y)$ определяют масштабирующие функции, j, m, n – целые числа, m определяет положение функции на оси x , n – положение масштабирующей функции $\varphi_{j,m,n}(x,y)$ на оси y , j определяет ширину

функции; $\Psi_{j,m,n}^i(x,y)$ определяют вейвлет-функции, индекс i служит для идентификации направления вейвлетов по горизонтали, вертикали и диагонали.

Тогда изображение $f(x,y)$ можно разложить на коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования следующим образом

$$f(x,y) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_m \sum_n W_\varphi(j_0, m, n) \Phi_{j_0, m, n}(x, y) + \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=H, V, D} \sum_{j=j_0}^{+\infty} \sum_m \sum_n W_\Psi^i(j, m, n) \Psi_{j, m, n} \quad (3)$$

$$W_\varphi(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \Phi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (4)$$

$$W_\Psi^i(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \Psi_{j_0, m, n}^i(x, y), i = \{H, V, D\} \quad (5)$$

где M – размер цифрового изображения по горизонтали, N – размер цифрового изображения по вертикали, j_0 – произвольный начальный масштаб, а коэффициенты $W_\varphi^i(j, m, n)$ определяют горизонтальные, вертикальные и диагональные детали масштабов $j \geq j_0$.

Процедура выделения особых точек заключается в следующем. Для каждого пикселя исходного изображения вводится понятие собственного веса:

$$S_j(x_j, y_j) = \sqrt{W_\Psi^H(j, x_j, y_j)^2 + (W_\Psi^V(j, x_j, y_j))^2 + (W_\Psi^D(j, x_j, y_j))^2} \quad (6)$$

где $S_j(x_j, y_j)$ – собственный вес точки на j -ом уровне детализации, $W_\Psi^H(j, x_j, y_j)$ – горизонтальный коэффициент j -ого уровня, $W_\Psi^V(j, x_j, y_j)$ – вертикальный коэффициент j -ого уровня, $W_\Psi^D(j, x_j, y_j)$ – диагональный коэффициент j -ого уровня.

На первом шаге все веса равны 0. Затем осуществляется вейвлет-преобразование изображения до n -о уровня детализации. Каждый достаточно большой вейвлет-коэффициент этого уровня соответствует области изображения, в которой содержится особая точка. Подсчитывается собственный вес особой точки по формуле (6). Если уровень разложения последний и нет возможности скорректировать вес особой точки по информации с уровня $(j+1)$, то получаем $C_n(x_n, y_n) = C_j(x_j, y_j) = S_j(x_j, y_j)$. После подсчета всех весов на уровне n происходит рекурсивный переход на $(n-1)$ -й уровень детализации. На этом уровне имеем 4 дочерних ячейки: вес точки $C_j(x_j, y_j)$ на уровне j влияет на веса 4 дочерних точек $C_{j-1}(x_{j-1}, y_{j-1})$ при

$2x_j \leq x_{j-1} \leq 2x_j + 1$, $2y_j \leq y_{j-1} \leq 2y_j + 1$ на уровне $(j-1)$. Происходит подсчет собственных весов дочерних точек $S_{j-1}(x_{j-1}, y_{j-1})$ по формуле (6) и корректировка веса дочерних точек в соответствии с формулой (7)

$$C_{j-1}(x_{j-1}, y_{j-1}) = S_{j-1}(x_{j-1}, y_{j-1}) + C_j(x_j, y_j). \quad (7)$$

Эта процедура повторяется для всех уровней. После сортировки особых точек по убыванию весов выбираются особые точки с наибольшими весами при помощи задания порогового значения.

Процедура определения загруженности конвейера заключается в следующем.

1. Осуществляется размытие изображения при помощи билатеральной фильтрации.

2. Задается конечный уровень вейвлет-преобразования u (глубина преобразования).

3. Для каждого вейвлет-коэффициента начального уровня находятся дочерние вейвлет-коэффициенты на следующем уровне. Эта процедура продолжает выполняться рекурсивно до достижения заданного конечного уровня преобразования u .

4. Для каждого дочернего коэффициента конечного уровня преобразования вычисляется вес по формуле (6).

5. Происходит уточнение веса особой точки по мере рекурсивного возвращения от дочерних коэффициентов к родительским коэффициентам начального уровня по формуле (7).

6. Задается пороговая величина p , определяющая особые точки как точки с результирующим значением веса, превышающим пороговое значение p .

7. Определяется степень загруженности конвейера.

Степень загруженности конвейера рассчитывается следующим образом. Определяется общая площадь поверхности конвейера в пикселях путем нахождения ширины и высоты наблюдаемой поверхности конвейера. Затем оценивается принадлежность каждого пикселя конвейера подмножеству пикселей поверхности конвейера, занятых объектами, или подмножеству свободных пикселей поверхности конвейера. После разделения пикселей на подмножества определяется количество деталей на конвейере путем вычисления отношения площади поверхности конвейера, занятой объектами, к заранее измеренной площади одного объекта в пикселях.

Для оценки точности определения загрузки конвейера был проведен ряд экспериментов. В качестве поверхности конвейера использовалась поверхность белого цвета, в качестве деталей темно-серые саморезы (рис. 1).

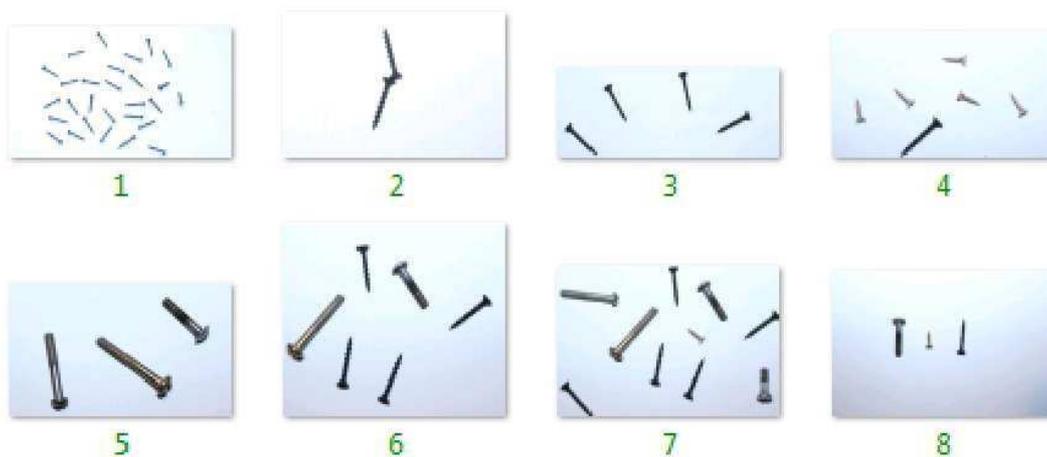


Рис. 1. Примеры изображений объектов на конвейере

На рис. 2 представлен результат работы программы выделения особых точек вейвлет-преобразования. Справа представлено изображение после билатеральной фильтрации, слева – изображение, содержащее особые точки вейвлет-преобразования, выделенные белым цветом. Результаты оценки точности загрузки конвейера представлены в табл. 1.

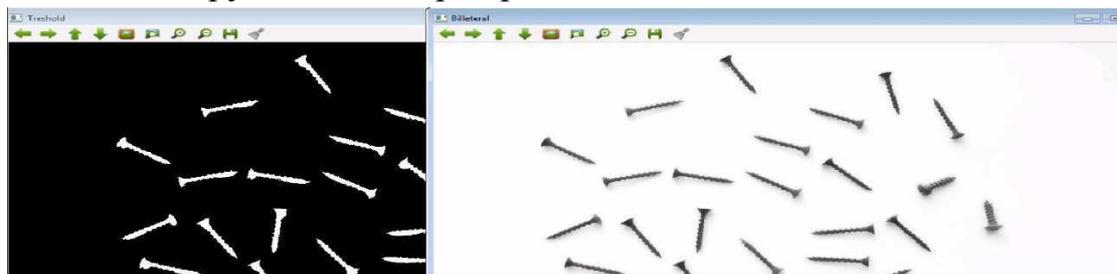


Рис. 2. Результат работы программы выделения особых точек вейвлет-преобразования

Таблица 1

Результаты работы программы

Номер тестового изображения	Количество деталей на фотографии, шт.	Количество деталей, определенных программой, шт.
1	28	28
2	2	2
3	4	4
4	6	6
5	3	3
6	6	6
7	10	10
8	3	3
9	4	4

Таким образом, программа, разработанная на основе представленного метода, определяет степень загруженности конвейера деталями и количе-

ство деталей на поверхности конвейера. Программа верно определяется количество деталей на ленте конвейера в том случае, если объекты и лента конвейера имеют контрастные цвета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы вычитания фона в системе управления технологическим процессом / М.П. Шлеймович, М.В. Медведев, С.А. Ляшева, А.П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 13. С. 166-170.

2. Дзенчарский, Н.Л. Поиск изображений с выделением особых точек на основе вейвлет-преобразования / Дзенчарский Н.Л., Медведев М.В., Шлеймович М.П. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - 2011. - №1(61). - С. 131 - 135.

3. *Lyasheva, S.A.* Terrain object recognition in unmanned aerial vehicle control system / *S.A. Lyasheva, M.V. Medvedev, M.P. Shleimovich* // *Russian Aeronautics*. - 2014. Т. 57. № 3. С. 303-306.

**НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО }
КОНТЕНТА ПО МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ
В ОБЩЕЕВРОПЕЙСКОЙ ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ
MATH-BRIDGE**

С.Н. Медведева (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: pmisvet@yandex.ru

**NEW TOOLS FOR CREATING ELECTRONIC CONTENT FOR
MATHEMATICAL DISCIPLINES IN THE EUROPEAN
INTELLECTUAL WEB-BASED LEARNING SYSTEM
FOR MATHEMATICS MATH-BRIDGE**

S.N. Medvedeva (KNRTU-KAI, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: intellectual learning system, Authoring Tool, adaptive mathematical electronic content.

Введение. Современный этап развития математической подготовки в инженерном образовании предполагает использование информационных технологий в процессе обучения. Следует отметить, что роль информационных технологий в системе образования с появлением инфокоммуникационных технологий и Интернета сменилась с пассивной на активную, то есть новые методы и формы обучения обуславливают развитие функциональной и организационной структуры системы образования, формируя новые формы образования. В федеральном законе об образовании в разделе общих требований к реализации образовательных программ отмечается, что «при реализации образовательных программ используются различные образовательные технологии, в том числе дистанционные образовательные технологии, электронное обучение». Понятие электронное обучение (англ. E-learning, сокращение от англ. Electronic Learning) значительно шире, чем понятие "Дистанционное обучение". Электронное обучение – обучение при помощи информационных, электронных технологий. Электронное обучение может быть реализовано в виде самостоятельной работы с электронными материалами с использованием персонального компьютера, мобильного телефона, телевизора; в виде получения консультаций,

оценок у удалённого территориально преподавателя с возможностью дистанционного взаимодействия; в виде общей виртуальной учебной деятельности распределённого сообщества пользователей (социальных сетей). Дистанционное обучение – совокупность технологий, которые обеспечивают доставку обучаемому основного объема учебного материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление возможности самостоятельной работы по освоению изучаемого материала, а также удаленного контроля процесса обучения.

В настоящее время в КНИТУ-КАИ применяется смешанная форма обучения (Blended Learning) – организация обучения, совмещающая обучение в аудитории и технологии обучения в электронной дистанционной среде. Blended Learning объединяет эффективность и оперативность электронных форм обучения с социальными аспектами очного обучения; является комбинацией очного, электронного и самостоятельного обучения. Для реализации электронного обучения в КНИТУ-КАИ, как и в большинстве вузов России в учебном процессе используется электронная среда университета, для которой были использованы ряд платформ (IBM Workplace Collaborative Learning, Lotus Learning Space, Moodle). Начиная с 2011 года в КНИТУ-КАИ электронная среда университета функционирует на базе LMS Blackboard. В связи с этим, задача разработки современных электронных образовательных ресурсов, для воспроизведения которых используется персональный компьютер или мобильные устройства, является актуальной.

Постановка задачи. Содержание подготовки по математическим дисциплинам должно включать изучение и применение математических методов решения практических задач с помощью современных информационных технологий. Тем самым выполняются принципы соответствия содержания обучения современному уровню развития информационных технологий, а также прогностического характера содержания и выявление практической направленности изучаемых методов. Для этой цели могут быть использованы специализированные математические системы, такие как MatLab, MatCad, Mathematica, GeoAlgebra. Эти системы используются в учебном процессе, как правило, для выполнения лабораторных работ и самостоятельной работы и представляют собой системы программирования, имеют встроенные языки программирования и инструментальные средства для выполнения математических расчетов и построения графиков. При разработке электронного контента в системах дистанционного обучения, таких как LMS Moodle, Blackboard встроенных инструментальных средств для выполнения математических расчетов и построения гра-

фигов нет, поэтому приходится разрабатывать внешние программы с целью обучения интерактивному решению математических задач. Создание математических интерактивных электронных образовательных ресурсов в LMS Blackboard возможно в виде загружаемых в хранилище Content Collection Java апплетов или программ на языке JavaScript. Данные технологии апробированы на кафедре Прикладной математики и информатики в электронных курсах по дисциплине «Теория вероятностей и математическая статистика» [1] (см. рис. 1).

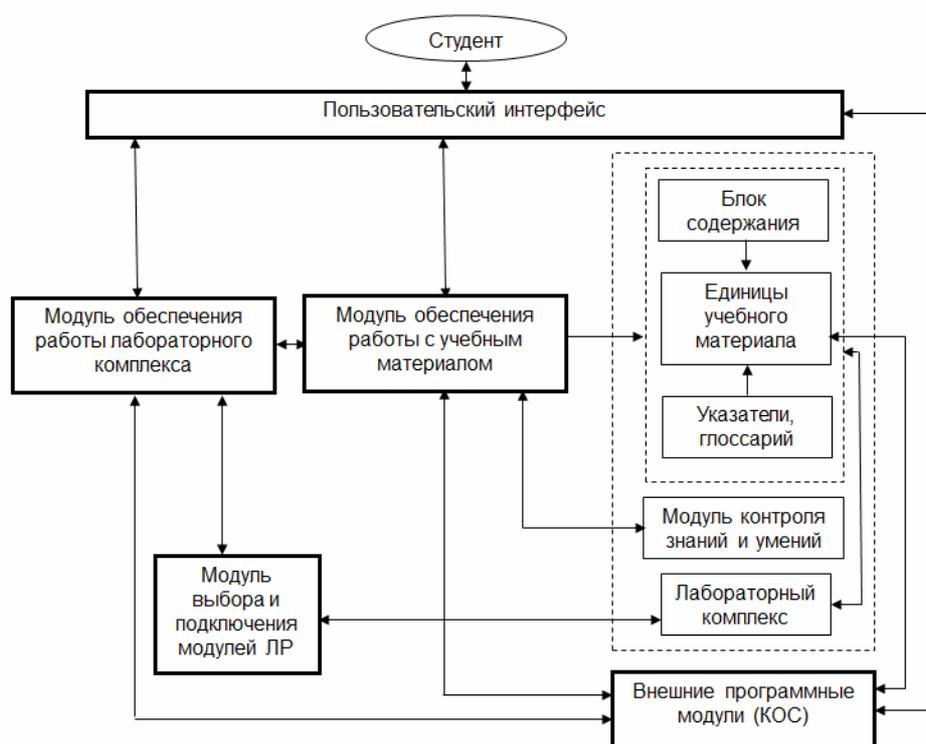


Рис. 1. Схема подключения внешних программ в LMS Blackboard

Результаты апробации показывают, что обе технологии предусматривают разработку программ, реализующих интерактивное взаимодействие с объектом обучения в режиме онлайн тренажера. Основное преимущество данных технологий – богатые возможности библиотек Java для динамических графических построений. При этом передача данных между программой и LMS невозможна, то есть нельзя использовать результаты выполнения учебных заданий, разработанных по этим технологиям и интегрированных в электронный учебный курс, в общем рейтинге обучаемого, формируемого средствами LMS.

Для разработки интерактивного математического электронного контента можно использовать специализированную интеллектуальную систе-

му онлайн обучения математике Math-Bridge, в которой формируются отчеты по результатам решения задач, а сами задачи разрабатываются с помощью встроенных визуальных средств, не требующих программирования. Система Math-Bridge - первая общеевропейская веб-ориентированная интеллектуальная система для создания онлайн-курсов по математике и обучения математике в онлайн-режиме была разработана совместными усилиями девяти университетов из семи стран Европы. Координатором и главным исполнителем проекта по разработке системы Math-Bridge является «Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту» (DFKI, Германия, отделение в г. Саарбрюккен) – крупнейший в мире некоммерческий исследовательский институт в области инновационных технологий программного обеспечения на основе искусственного интеллекта. В системе созданы коллекции учебных объектов по различным математическим дисциплинам на десяти языках. В 2015-2016 гг. в рамках международного проекта ТЕМПУС - МЕТАМАТН в Казанском исследовательском техническом университете им. А. Н. Туполева были выполнены работы по локализации и русификации системы Math-Bridge, и Российские университеты-партнеры проекта ТЕМПУС - МЕТАМАТН получили возможность выполнять разработку учебных объектов и создавать электронные курсы в системе на русском языке. Работа по освоению технологий разработки электронного контента в системе Math-Bridge ведется коллективами исследователей из различных университетов России в рамках международного проекта ТЕМПУС - МЕТАМАТН. В настоящее время на кафедре Прикладной математики и информатики созданы первые версии электронных курсов в системе Math-Bridge по дискретной математике, теории вероятностей, методам оптимизации на основе соответствующих коллекций учебных объектов, разработанных преподавателями кафедры. Разработанные электронные курсы используются в учебном процессе на этапе опытной эксплуатации. Разработанные коллекции статических учебных объектов (определения, аксиомы, теоремы), покрывают все содержание, коллекции динамических учебных объектов нуждаются в дальнейшей разработке. Несмотря на то, что эти объекты разрабатываются с помощью визуальных инструментальных средств и при этом не требуется программировать на языке программирования, процесс создания этих объектов требует значительных временных затрат, так как предусматривает разработку адаптивного алгоритма сценария обучения решению задачи.

С точки зрения структуры, как модель предметной области, так и учебный материал в системе Math-Bridge, разделены на объекты, называемые элементами знаний («knowledge items»). В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины электронный учебный курс разбивается на разделы, темы и т.д. Минимальной структурной единицей является те-

математический элемент, например, «Теорема Чебышева». Тематическим элементам учебной дисциплины соответствуют элементы знаний в системе Math-Bridge. Элементы знаний сгруппированы в коллекции учебного материала и выражены в формате OMDoc, который используется для представления математических документов любой степени сложности. Разделение учебного материала на индивидуальные учебные объекты и использование общепринятого и открытого стандарта для их представления повышает открытость для поиска, а также улучшает совместимость учебного материала с другими системами [2], например, с системой GeoAlgebra.

Учебные объекты подразделяются на три вида: динамические, статические и структурные объекты обучения. Динамические объекты обучения являются интерактивными, при этом обучаемый должен дать ответы на вопросы на каждой итерации. Статические объекты обучения представляют собой информацию учебного назначения, то есть статические объекты имеют информационный характер, при работе с ними обучаемому не требуется взаимодействия с этими объектами. Динамические объекты, а именно упражнения, являются более сложными объектами, которые совмещают в себе свойства практического занятия и контроля выполнения практических заданий. Структурные объекты обучения используются для организации контента в системе Math-Bridge, то есть для создания коллекций учебных объектов, а также для объединения учебных объектов в наборы для создания структурного объекта – учебного электронного курса, экзамена или учебной книги.

Для создания статических и динамических объектов в системе Math-Bridge имеется редактор Content Creator – «Создатель контента», который имеет два режима работы – режим создания статических объектов и режим создания динамических объектов. При открытии объекта обучения для редактирования в редакторе Content Creator автоматически выбирается режим в соответствии с видом выбранного объекта обучения (см. рис. 2).

Как видно из рис. 2, при выборе созданного динамического объекта в левой навигационной панели в иерархической структуре курса, в окне центральной панели отображается его содержимое и в верхней части окна имеются кнопки с командами по работе с этим объектом: «Создать», «Удалить», «Редактировать», «Опубликовать». Операции по созданию и редактированию статических и динамических объектов стандартные и не представляют сложности для пользователя системы. В окне правой панели предоставляется доступ к метаданным объекта и дополнительным функциям системы (например, поиск) (см. рис. 3).

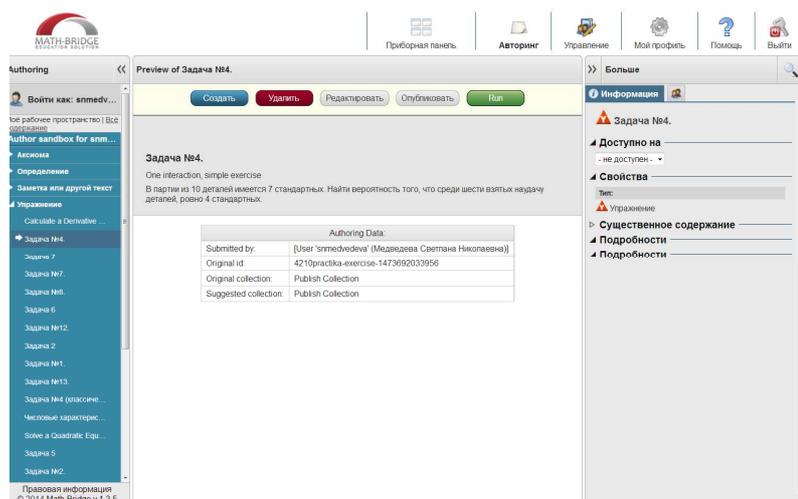


Рис. 2. Вид редактора «Создатель контента»

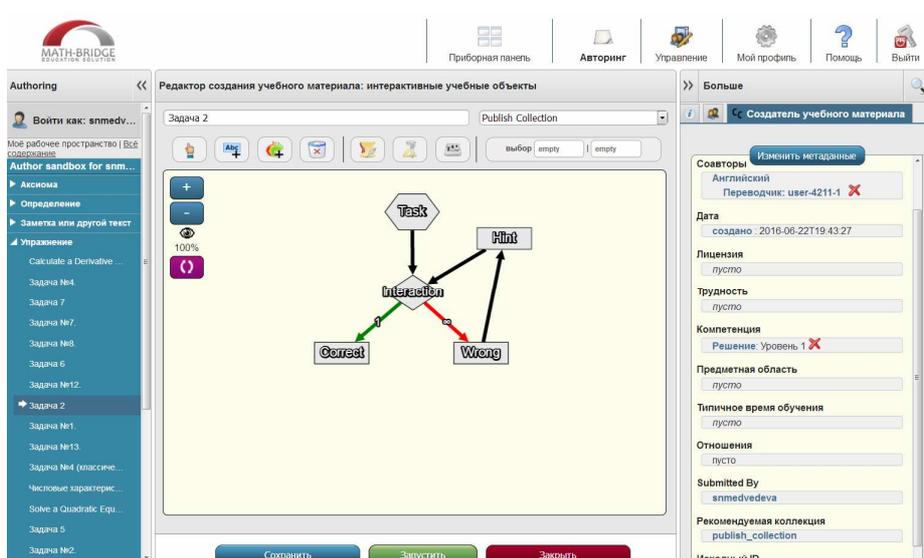


Рис.3. Вид интерфейса системы Math-Bridge в режиме команды «Редактировать» в редакторе «Создатель контента»

Для ввода формул в статических и динамических объектах используется встроенный редактор формул, а также имеется возможность импортировать формулы из LaTeX-кода. Импортировать код LaTeX можно, нажав на соответствующую кнопку на панели инструментов редактора. В результате откроется всплывающее диалоговое окно, с помощью которого можно копировать и вставлять коды LaTeX. Формула может быть вставлена стандартным способом как рисунок, файл с которым может быть выбран с устройств компьютера при нажатии кнопки «Обзор» [3].

В процессе разработки учебные объекты становятся доступными после операции публикации объектов в так называемой общей коллекции – Publish Collection (Все содержимое). Содержание этой коллекции – это пул

объектов. Автор может открыть свои учебные объекты в этом пуле для создания курсов и экзаменов для других разработчиков, при этом информация в метаданных объекта, такая как идентификационный номер и автор изменению не подлежат [4]. Кроме общей коллекции Publish Collection каждому автору-разработчику предоставляется своя собственная коллекция. Авторы могут создавать и редактировать учебные объекты в пределах своего рабочего пространства и публиковать свои учебные объекты в своей собственной коллекции. После того как Автор закончит создание учебного объекта, он может опубликовать его кроме своей коллекции в общей коллекции Publish Collection. После публикации учебного объекта в Publish Collection, этот объект может быть использован любым другим автором для создания своего курса или экзамена. Система Math-Bridge предоставляет обучаемому семантический и адаптивный доступ к математическому учебному материалу. Изучение возможностей системы Math-Bridge в режиме обучаемого в настоящее время продолжается на кафедре ПМИ в режиме опытной эксплуатации разработанных электронных курсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведева С. Н. Проектирование информационных технологий обучения в профессиональной математической подготовке в инженерном образовании: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). Казань, РИЦ "Школа", 2014. – 261 с.

2. Сосновский С. А., Гиренко А. Ф. Галеев И. Х. Информатизация математической компоненты инженерного, технического и естественнонаучного обучения в рамках проекта MetaMath. Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2014. - V.17. - №4. - С.446-457. - ISSN 1436-4522.

3. Новикова С.В. Нестандартные элементы e-learning курсов системы Math-Bridge // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2016. - Т.19. - №3. - С.440-464.

4. Медведева С.Н. Разработка интерактивных динамических учебных объектов в международной специализированной системе обучения математике Math-bridge. Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" – С. V.19. - №3. - С.522-543.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБКИ ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ МЕСТНОСТИ

Д.И. Мифтахутдинов (КНИТУ-КАИ, Россия,
420111, Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: mdi_55@mail.ru

И.С.Ризаев (КНИТУ-КАИ, Россия,
420111, Казань, К.Маркса, 10)
E-mail: isr4110@mail.ru

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR DETERMINING ERRORS GEOPOSITIONING OBJECTS IN THE IMAGE AREAS

D.I. Miftakhutdinov (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,
K.Marx str., 10)

I.S. Rizaev (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: combining images, digital terrain maps, correlation image processing

Введение. Для уточнения координат распознанного объекта на аэрокосмических изображениях требуется их предварительное точное геопозиционирование.

Российские действующие системы геопозиционирования разнспектральных изображений работают по методу совмещения опорных точек, хорошо распознаваемых как на исходном, так и на опорном изображении. При этом изображения должны быть выполнены в одном спектральном диапазоне с хорошим качеством и совпадать по времени года и суток. Все процедуры выполняются в ручном режиме, требуют значительных затрат времени и исключают возможность автоматизации этого процесса.

В ходе работы выполнен анализ возможности нахождения величины смещения фрагментов изображений, содержащий интересующий нас объект, в разном спектральном диапазоне относительно фрагмента опорного изображения, используя метод корреляционного сопоставления этих изображений.

Постановка задачи. Для решения главной задачи определение ошибки геопозиционирования объекта необходимо также решить задачу выделения региона интереса.

Для решения проблемы выделения региона интереса используется контурный анализ, с помощью которого находятся все контуры объектов,

соответствующие определенным критериям, а именно протяженности, периметру и соотношению сторон.

Точка $X_{0,0}$, на бинарном изображении является контурным, если точка имеет значение 1, а значение одной из горизонтальных или вертикальных соседних $X_{0,-1}$, $X_{1,0}$, $X_{0,1}$, $X_{-1,0}$ равно 0:

$$Y_{0,0} = \begin{cases} 1, \text{если } X_{0,0} = 1 \text{ и } X_{0,-1} = 0; \\ 1, \text{если } X_{0,0} = 1 \text{ и } X_{1,0} = 0; \\ 1, \text{если } X_{0,0} = 1 \text{ и } X_{0,1} = 0; \\ 1, \text{если } X_{0,0} = 1 \text{ и } X_{-1,0} = 0; \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

В начале необходимо найти контура воспользовавшись функцией детектором границ Канны для нахождения краев. Края (границы) – это такие кривые на изображении, вдоль которых происходит резкое изменение яркости или других видов неоднородностей:

Далее оператором Собеля вычисляем градиент яркости изображения в каждой точке. Так находится направление наибольшего увеличения яркости и величина её изменения в этом направлении. Результат показывает, насколько «резко» или «плавно» меняется яркость изображения в каждой точке, а значит, вероятность нахождения точки на грани, а также ориентацию границы.

Результатом работы оператора Собеля в точке области постоянной яркости будет нулевой вектор, а в точке, лежащей на границе областей различной яркости – вектор, пересекающий границу в направлении увеличения яркости.

Далее среди всех объектов необходимо найти протяженные объекты (прямоугольники, дуги и т.п.).

С помощью встроенных функций OpenCV необходимо вычислить для каждого найденного контура периметр контура и площадь, заключенную им.

Затем считаем компактность. Она должна удовлетворять условию

$$\frac{S}{P * P} > 0.00 \ \& \ \frac{S}{P * P} > 0.04, \quad (2)$$

где S-площадь контура; P-периметр контура.

Выделение зоны интереса с помощью контурного анализа показано на рисунке 1.

Определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности. После загрузки региона интереса и эталонного изображения проверяется их размер и масштаб, далее при совпадении происходит корреляционная обработка фрагментов опорного и исходного изображений.

Алгоритм корреляционной обработки преобразованных фрагментов опорного и текущего изображений реализует две задачи обработки изображений – предварительное определение величины смещения и его уточнение.

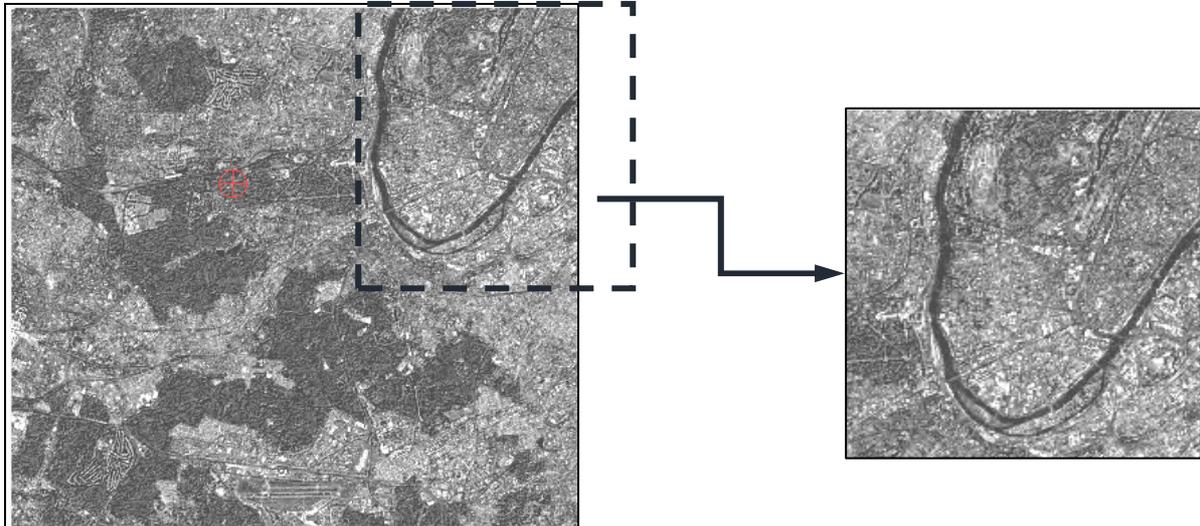


Рис. 1. Выделение региона интереса

Предварительное определение величины смещения:

- вычисление корреляционной функции методом обобщенной фазовой корреляции $R(x', y')$;
- выбор из совокупности значений функции $R(x', y')$ максимального значения по модулю (R_{\max});

Выбор параметров (x_R и y_R), характеризующих положение R_{\max} .

Для определения степени сходства изображений применяется метод корреляционной обработки двух изображений, в котором в качестве критериальной функции, позволяющей оценить степень тесноты стохастической связи фрагментов текущего $I_c(x, y)$ и опорного $I_r(x, y)$ изображений используется двумерная функция взаимной корреляции $R(x, y)$. Признаком стохастической связи является наличие глобального максимума функции взаимной корреляции.

В классическом корреляционном алгоритме функция взаимной корреляции определяется зависимостью:

$$R(x, y) = \sum_{i=-N_x/2}^{N_x/2} \sum_{j=-N_y/2}^{N_y/2} I_r(x+i, y+j) * I_c(i, j) \quad (3)$$

Результатом наличия стохастической связи является наличие глобального максимума критериальной функции, существенно превышающего уровень боковых лепестков корреляционной функции, а позиция глобаль-

ного максимума является точкой привязки изображения. Классический корреляционный алгоритм требует значительных вычислительных затрат.

Существенное сокращение вычислительных затрат обеспечивается применением при обработке изображений методом обобщенной фазовой корреляции.

В этом случае получение корреляционной функции осуществляется в результате обработки изображений в спектральной области.

Текущее изображение $I_c(x, y)$ размером $(N_x \times N_y)$ представляется в виде двумерного спектра $S_c(\omega_x, \omega_y)$:

$$S_c(\omega_x, \omega_y) = \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} I_c(x, y) * W_{N_x}^{x\omega_x} W_{N_y}^{y\omega_y} \quad (4)$$

для $\omega_x=0 \dots N_x-1$, $\omega_y=0 \dots N_y-1$,

$$W_N = \exp(-j \frac{2\pi}{N}) \quad (5)$$

Таким образом вычисляется корреляционная функция методом обобщенной фазовой корреляции

$$R(x', y') = \text{Corr}\{I_c(x', y'), I_r(x', y')\} \quad (6)$$

Из совокупности значений функции $R(x', y')$ выбирается максимальное по модулю значение (R_{\max}), положение которого задано параметрами x_R и y_R . Далее происходит выбор фрагмента исходного опорного изображения с центром, положение которого задано параметрами x_R и y_R , а исходного изображения с центром, соответствующим геометрическому центру. После проводится корреляционная обработка вырезанных частей фрагментов опорного и исходного изображений, из совокупности значений функции $R(x', y')$ выбирается максимальное значение по модулю (R_{\max}), положение которого задано параметрами x_{RI} и y_{RI} .

В преобразования со спектром проходят при сохранении фазовой составляющей спектральных компонент информация о сдвиге изображений сохраняется.

На основании теоремы о сдвиге положение главного максимума (x_R и y_R) указывает на взаимное смещение изображений.

Таким образом, решение задачи определения смещения одного из изображений относительно другого сводится к нахождению вектора смещения в виде координат x_R и y_R , определяющих положение корреляционного максимума относительно центра корреляционной матрицы.

Результирующее смещение исходного фрагмента текущего изображения относительно исходного фрагмента опорного изображения определя-

ется как

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R}{k} \\ \frac{y_R}{k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{R1} \\ y_{R1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Примечание: если, $\sqrt{x_{R1}^2 + y_{R1}^2} > \frac{2}{k}$ то результат корреляционной обработки изображений считается ошибочным.

Алгоритм определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности представлен на рисунке 2.

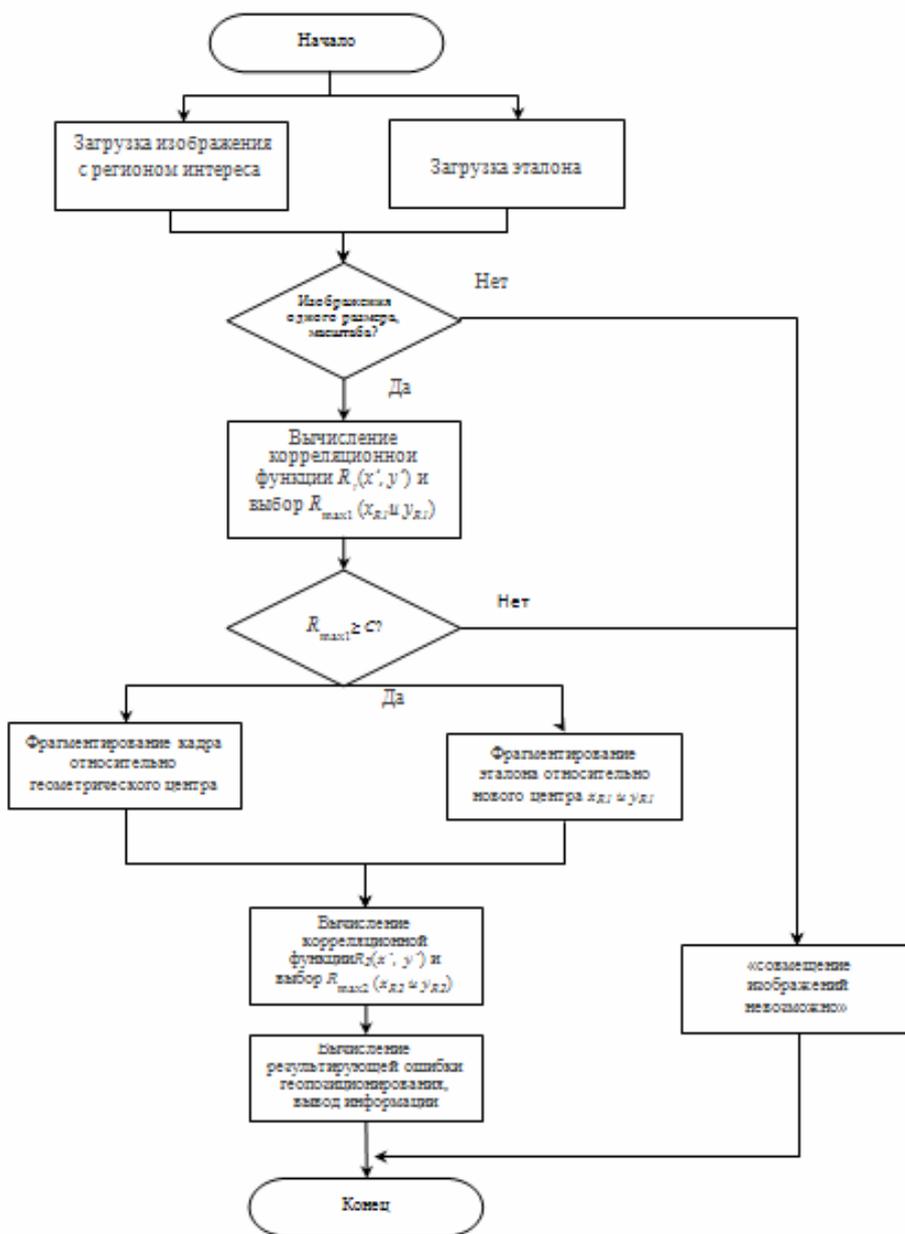


Рис. 2. Алгоритм определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности

Ниже представлен макет интеллектуальной информационной системы определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности. На рисунке 3 показан пример сопоставления исходного и эталонного изображений, содержащих природный объект «Река».

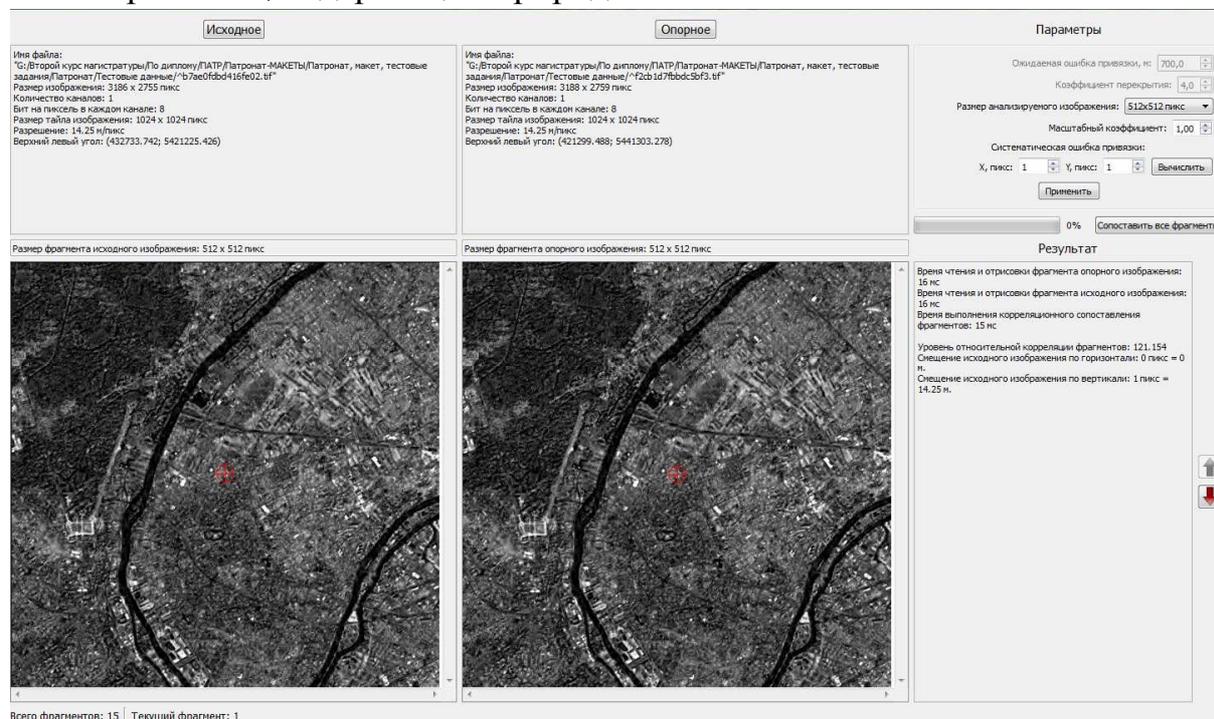


Рис. 3. Макет интеллектуальной информационной системы определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Учебное пособие. – Мн.: Амалфея, 2000.
2. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / Изд-во Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012.
4. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах./ Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.-168 с.
5. Кирпичников А.П., Мифтахутдинов Д.И., Ризаев И.С. Решение задачи геопозиционирования методом корреляционного сопоставления [Текст] // Вестник Казанского технологического университета. Т18, №3 – 2015 – С.226-228. ISSN 1998-7072
6. Кирпичников А.П., Мифтахутдинов Д.И., Ризаев И.С. Решение задачи корреляционной привязки изображения и цифровой карты местности

[Текст] // Вестник Казанского технологического университета. Т18, №17 – 2015 – С.186-189. ISSN 1998-7072

7. Мифтахутдинов Д.И., Ризаев И.С. Особенности реализации алгоритмов совмещения изображений с цифровыми картами местности // Перспективы интеграции науки и практики: Материалы II Международной научно-практической конференции, 27 августа 2015 г.: материалы конференции.- Ставрополь:Логос,2015.-С. 44-48. ISBN 978-5-905519-03-1

8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012.

9. P. Coppin, I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review [Текст] / P. Coppin, I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys // Int. J. Remote Sensing. – 2004. – Vol. 25. – № 9. – pp. 1565–1596.

10. D. Lu, P. Mausel, E. Brondi'Zio, E. Moran Change detection techniques [Текст] / D. Lu, P. Mausel, E. Brondi'Zio, E. Moran // Int. J. Remote Sensing. – 2003. – Vol. 25. – №12. – С. 2365–2407.

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**
V.C. Moiseev, L.T. Moiseeva (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань,
К. Маркса, 10), E-mail: em131@yandex.ru

**UNMANNED AERIAL VEHICLES GROUP
OPERATIONAL CONTROL SOFTWARE PACKAGE**
V.C. Moiseev, L.T. Moiseeva (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,
K. Marx str., 10)
E-mail: em131@yandex.ru

Keywords: UAV group, operational control, software.

В настоящее время групповое применение различных видов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является перспективным и актуальным направлением их использования при решении широкого круга военных и гражданских задач. На это указывается без конкретизации в работе [1]. Проведенные нами исследования показали, что групповое применение БЛА будет эффективным в следующих областях [2]:

- проведение разведки (мониторинга) районов наземной и надводной территории за минимальное время;
- осуществление полетов авиационных ложных целей для обеспечения максимального уровня вскрытия и истощения средств ПВО противника;
- создание помех и подавление средств связи и управления противника на значительных территориях;
- повышение качества обучения и боевой квалификации расчетов средств ПВО и летчиков-истребителей путем имитации групповых налетов средств воздушно-космического нападения;
- повышение боевой эффективности ударов боевых БЛА по наземным и надводным целям;
- минимизация времени выполнения боевых задач вспомогательными БЛА (установка дымовых и аэрозольных завес, минирование и разминирование местности, доставка грузов и т.п.).

Групповое применение БЛА требует комплексного решения достаточно сложной организационно-технической проблемы, которая включает в себя следующие задачи:

1. Создание беспилотных подразделений различного уровня и определение их задач, структур и статусов.

2. Разработка методик расчета потребной численности группировок БЛА при проведении различных операций.

3. Определение необходимого и достаточного количества операторов управления при групповом применении БЛА.

4. Постановка и разработка методик решения задач логистики беспилотных подразделений при планировании и проведении операций с использованием крупных группировок БЛА.

5. Разработка теоретических основ и методик организации и выполнения групповых полетов БЛА при проведении конкретных операций.

6. Разработка методов группового управления БЛА.

Предварительные рекомендации к решению первой задачи приведены в монографии [3]. Там же предлагаются математические модели и методы, которые могут быть использованы при решении второй и третьей задач сформированной проблемы.

Особо актуальной с точки зрения современной теории и практики управления является шестая задача проблемы.

При управлении БЛА применяются следующие его виды [1, 2]:

- программное управление движением БЛА;
- радиокомандное (дистанционное) управление полетами БЛА;
- управление БЛА в режиме самонаведения.

Формирование программного управления каждого БЛА группы, полет которой имеет определенную организацию («рой», «колонна», «строй»), предлагается реализовать с использованием траекторного подхода и концепции теории обратных задач управления динамическими объектами [2].

Методы радиокомандного управления отдельными БЛА группировки применяются в ситуациях, когда метод автоматической корректировки программного управления не дает требуемых результатов и в режиме дистанционного управления отдельными БЛА на некоторых интервалах времени выполнения группой полетных заданий.

В первой ситуации такое управление должно привести БЛА в область допустимых отклонений его фазовых координат с последующей стабилизацией их значений системой автоматического управления (САУ) БЛА.

Вторая ситуация возникает в случаях, когда за счет существенных внешних возмущений и наличия ошибок в программах полетов БЛА возникает опасность их столкновения в воздухе, а также при необходимости повторения некоторой важной части траектории определенного БЛА группы.

Радиокомандное (ручное) управление отдельными БЛА в диалоговом режиме осуществляется с помощью АРМ оператора управления, входящего в состав наземного или воздушного пункта управления (ПУ) соответствующего беспилотного авиационного комплекса (БАК) [3].

Структура радиокомандной системы управления группой БЛА приведена на рис. 1.

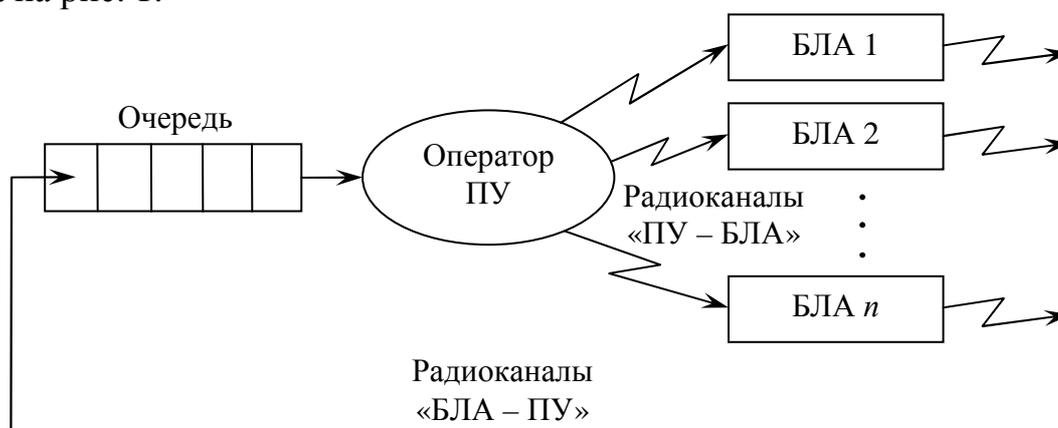


Рис. 1

Следует заметить, что в существующих работах по управлению БЛА отсутствуют рекомендации по созданию программного обеспечения радиокомандного (оперативного) управления не только группой БЛА, но и одиночными БЛА. Поэтому основной задачей доклада является обсуждение структуры и функций такого перспективного программного продукта.

На рис. 2 представлен общий вид основной видеоформы, используемой оператором при управлении подгруппой из n БЛА.

В центре экрана монитора его АРМ высвечивается карта местности, на которой группировка из N БЛА выполняет запланированную операцию. На этой карте нанесены требуемые программные траектории полета каждого БЛА, на которых в форме движущихся кружков белого цвета отражается их положение в каждый момент времени.

На левом поле экрана для каждого из n БЛА группы, выделенных для управления конкретному оператору, с определенной периодичностью отображаются программные (расчетные) и фактические значения полетных параметров (скорость, высота, тяга двигателей, углы ориентации БЛА в пространстве, время полета и т.п.). Значения этих параметров, высвечиваемых в соответствующих окнах, имеют одинаковый цвет (например, черный). При недопустимом отклонении значений некоторых параметров они отображаются красным мерцающим цветом. При этом на траектории движения такого БЛА белый кружок изменяет цвет на красный.

В нижнем поле экрана визуализируется общая информация о текущем состоянии находящихся в воздухе n БЛА. Если все параметры БЛА находятся в норме, то все кружки «БЛА№1», «БЛА№2», ..., «БЛА№n» имеют один цвет (белый, зеленый). При нарушении ограничений параметрами некоторого БЛА соответствующий кружок становится красным. При ликвидации этих нарушений устанавливается первоначальный цвет кружка.

Поле вспомогательной информации	
БЛА № <input type="text"/>	Кнопки управления БЛА и силовой установки
Программные и фактические значения параметров полета	
БЛА № <input type="text"/>	
Программные и фактические значения параметров полета	
..... БЛА № <input type="text"/>	Карта местности с траекториями движения группы БЛА
Программные и фактические значения параметров полета	
БЛА № <input type="text"/>	
Программные и фактические значения параметров полета	
БЛА № <input type="text"/>	Время <input type="text"/>
БЛА № <input type="text"/>	Состояние группы БЛА
БЛА № <input type="text"/>
БЛА № <input type="text"/>

Рис. 2

Если методы автоматической корректировки программы полета «красного» БЛА не дают требуемых результатов, то оператор ликвидирует соответствующие отклонения путем использования панели управления, расположенной в правом поле монитора его АРМ. На этом поле размещаются доступные ему кнопки с мнемоническим изображением либо органов управления БЛА и его двигателя, либо соответствующих режимов типа «увеличить/сбросить скорость», «увеличить/уменьшить высоту», «увеличить/уменьшить угол курса» и т.п.

Поле вспомогательной информации содержит такие электронные кнопки, как «журнал» «обучение», «тренировка» и т.п.

Отметим, что при завершении полетного задания определенным БЛА группы информация о нем исключается из левого и нижнего полей видеформы, а также «стирается» с карты траекторий движения группы БЛА. Такой подход, на наш взгляд, позволит снизить нагрузку на операторов управления группировкой БЛА.

В случае больших значений количества БЛА в группировке N и в каждой группе n применяются АРМ с несколькими экранами, на которые вводится более детализированная информация о состоянии n БЛА и их органов управления.

Для реализации процессов управления группой БЛА в составе АРМ каждого оператора управления применяется соответствующее функциональное программное обеспечение, которое оформляется в виде комплекса программ, состоящего из следующих прикладных модулей:

- модуль визуализации карты местности проведения операции с программными и фактическими траекториями движения каждого БЛА группы;
- модуль вывода программных и фактических текущих значений параметров полета каждого БЛА;
- модуль визуализации состояния БЛА группы;
- модуль работы оператора с кнопками управления БЛА и его силовой установки;
- модуль работы оператора с вспомогательной информацией;
- модуль связи с аппаратурой информационно-командной радиолинии (ИКРЛ) для получения бортовой информации и реализации команд управления выделенной оператору группе из n БЛА.

Головной модуль комплекса программ оператора управления БЛА предназначен для выполнения следующих функций:

- регистрация оператора в системе с обязательной проверкой вводимого им пароля;
- ввод в комплекс программ с АРМ командира расчета пункта управления группировкой БЛА бортовых номеров n БЛА, которые должны находиться под управлением зарегистрированного оператора;

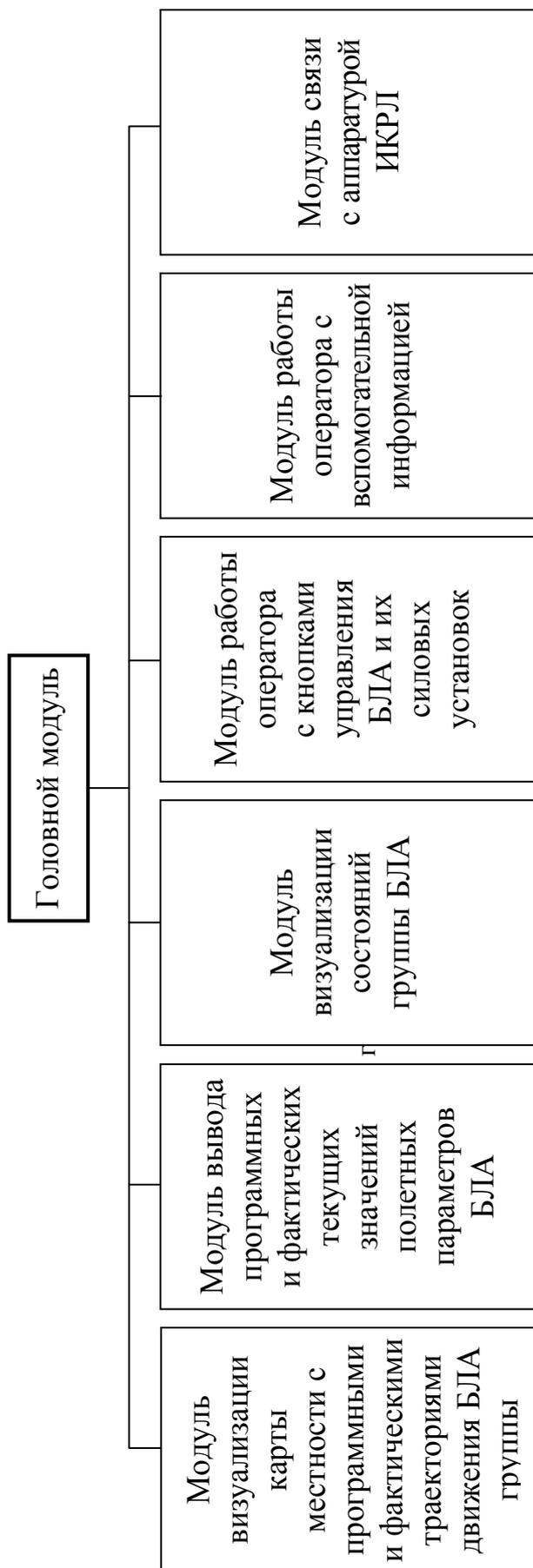


Рис. 3

- исключение БЛА, выполнивших полетные задания, из процесса отображения их состояния на экране монитора оператора;
- управление процессом исполнения прикладных модулей комплекса программ;
- фиксация состояний группировки БЛА и действий оператора по управлению конкретными БЛА и их силовыми установками с записью информации в «журнал».

Структура комплекса программ (КП) оператора управления группой БЛА представлена на рис. 3.

Модуль связи с аппаратурой ИКРЛ осуществляет непосредственное взаимодействие с находящимися в воздухе БЛА. Прием и передача данных производится посредством следующей общей структуры взаимодействия персонала ПУ с находящимися в воздухе БЛА, представленной на рис. 4.

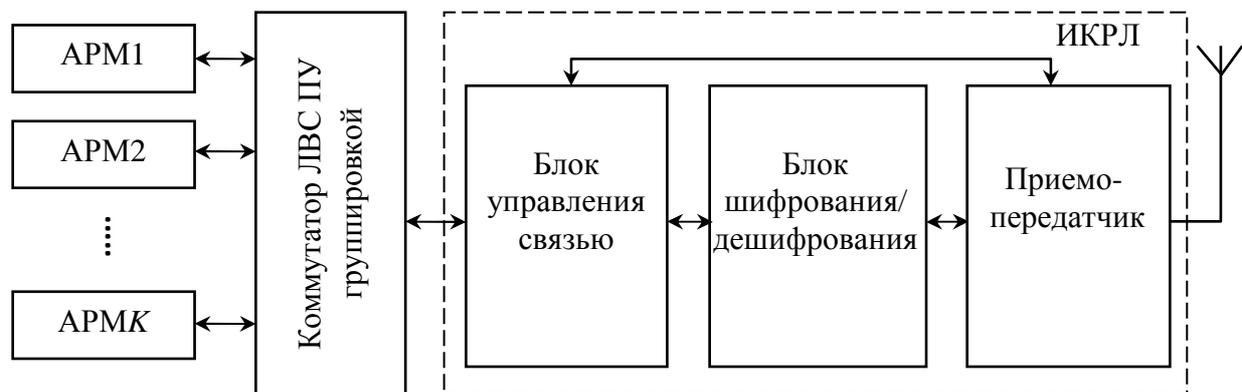


Рис. 4.

Отметим, что наряду с АРМ операторов управления БЛА в состав ПУ группировкой БЛА входят АРМ операторов управления целевыми нагрузками БЛА, АРМ штурмана группы, АРМ оператора связи, АРМ системного администратора (математика - программиста) и АРМ командира расчета [3]. Все они объединены в локальную вычислительную сеть (ЛВС) пункта управления и взаимодействуют с ИКРЛ с помощью коммутатора этой сети.

Блок управления связью обеспечивает симплексную цифровую радиосвязь в выбранном диапазоне частот в режимах фиксированной (ФРЧ) или перестраиваемой псевдослучайной (ППРЧ) рабочей частоты.

Блок шифрования/дешифрования ИКРЛ обеспечивает крипто- и имитозащиту передаваемых и принимаемых по радиолинии данных.

Общая структура бортовой части ИКРЛ приведена на рис. 5.

Кодирование текстов модулей комплекса программ оперативного управления группой БЛА предлагается проводить с применением технологии объектно-ориентированного программирования [4].

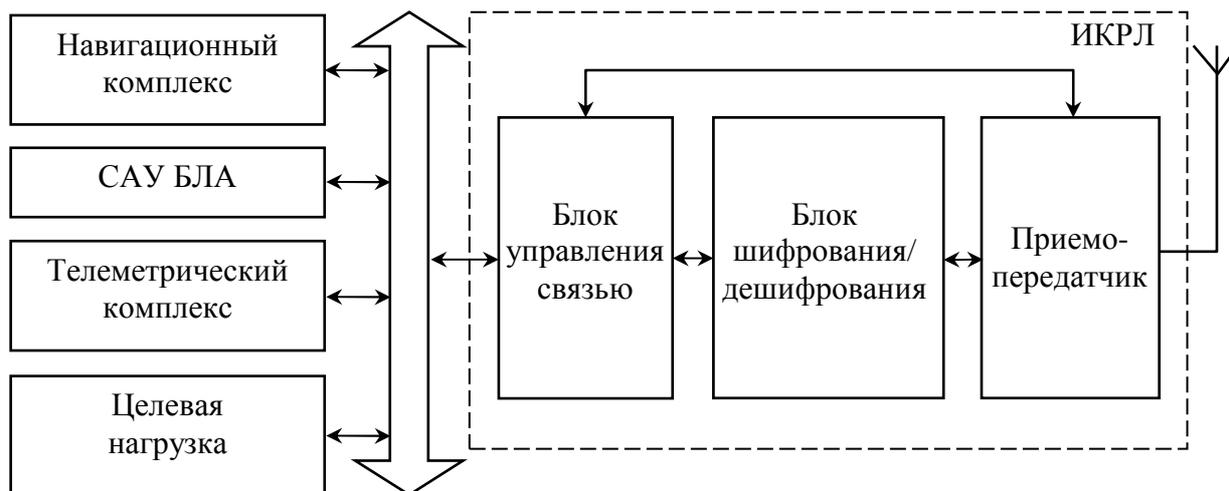


Рис. 5

При решении проблемы группового применения БЛА актуальной является задача формирования единых стандартов используемых каналов связи (см. рис. 1).

Работы над решением этой задачи в настоящее время продолжают у нас в стране и за рубежом. Для ее эффективного решения необходимо использовать существующие зарубежные разработки [5].

В настоящее время разрабатываются математические модели и алгоритмы программного имитатора движения группы БЛА при воздействии таких возмущений как порывы ветра, отказы бортовых комплексов, уничтожение отдельных БЛА средствами ПВО и др., необходимого для отладки предлагаемого комплекса программ оперативного управления группой находящихся в воздухе БЛА и в последующем для обучения (тренировки) операторов группового управления БЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. Под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М.: Изд-во МАИ, 2008. 656 с.

2. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. – Казань: РЦМКО, 2013. 768 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).

3. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. – Казань: РИЦ «Школа», 2015. 444 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).

4. Медведев В.И. Особенности объектно-ориентированного программирования на C++/CLI, C# и Java: Изд. 4-е, испр. и доп. – Казань: РЦМКО, 2013. 450 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).

5. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: наука, технология, бизнес (НТБ), 2010, № 3. С. 80-86.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВИЗУАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

К.Д. Надеждин (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань,
К.Маркса, 10), e-mail: cyrilltoeboe@gmail.com

Л.М. Шарнин (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10), e-
mail: LMSharnin@kai.ru

VISUAL METHODS OF AERONAUTICAL EQUIPMENT STRUCTURAL TESTS

K.D. Nadezhdin (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10), e-mail:
cyrilltoeboe@gmail.com

L.M. Sharnin (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10), e-mail:
LMSharnin@kai.ru

Keywords: structural tests, DIC, SDF

Введение. При проведении прочностных испытаний в любой прикладной области решается ряд задач, обладающих существенным сходством. Одной из основных задач является определение относительного и абсолютного смещения отдельных частей конструкций или деталей под влиянием нагрузки. Обладая данными о подобных перемещениях можно с помощью математического аппарата определить производные параметры испытаний - напряжения в конструкции, возможные центры разрывов или излишнего сжатия. Таким образом наибольшее значение при проведении испытаний является получение начальных данных о перемещении. Традиционно вопрос решается с помощью тензометрических датчиков, которые прикрепляются на поверхность испытываемой конструкции. Один такой датчик позволяет определить относительное растяжение или сжатие одной точки на поверхности конструкции. Очевидно, что чем больше точек требуется исследовать, тем больше датчиков должно быть установлено - это существенно усложняет задачу определения напряжений в сложных конструкциях. Другим подходом для определения информации о перемещениях являются различные визуальные методы, основанные на получении метрических данных с помощью обработки изображений (например Digital Image Correlation). Либо полностью визуальных, без возможности проведения точной численной оценки, но позволяющих наглядно оценить происходящие в моменты нагрузки процессы (интерферометрия). В докладе рассмотрены визуальные методы, основанные на обработке изображений, позволяющие получить точные данные о перемещениях.

Постановка задачи. Есть несколько основных задач, которые пытаются решить визуальные методы определения деформаций:

1. Точное определение относительных и абсолютных перемещений любого вида и формы, которые можно зарегистрировать на оптическую аппаратуру

2. Получение полнокадровой картины перемещений (сетка перемещений)

3. Отказ от физического вмешательства в испытываемую конструкцию

4. Минимизация времени, требуемого на подготовку к испытаниям

Основные принципы визуальных методов проведения прочностных испытаний. Стандартный метод корреляции цифровых изображений предполагает наличие одной или двух камер (для определения компланарных либо объёмных перемещений на поверхности модели). Поверхность испытываемой модели должна представлять собой набор случайным образом распределённых яркостей - так называемую спекл структуру - и не должна иметь видимых полостей или отверстий. Съёмка объекта испытания производится через равные промежутки времени, либо в зависимости от исследования требуемых нагрузок, например через каждые N пунктов нагрузочной силы. Так же предъявляются требования к освещению - в идеале оно не должно варьироваться от кадра к кадру. Алгоритм корреляции цифровых изображений предполагает обработку отснятых кадров попарно. Вся видимая на изображениях область разбивается на доменную сетку, ячейки которой являются квадратами. Размер квадратов задается в зависимости от требуемой плотности поля перемещений, а также от других параметров, таких как качество изображения, качество освещения и др. Для каждой ячейки доменной сетки находится окрестная область большего в 1.5 раз размера. На парной фотографии производится поиск доменной ячейки внутри окрестной области с помощью различных статистических методов (вычисление коэффициентов корреляции). [2] В случае нахождения искомого точки с заданным доверительным результатом (коэффициент корреляции должен быть достаточно высоким в зависимости от требований к точности системы), текущее значение перемещения доменной ячейки записывается в общее поле перемещений. Алгоритмический расчёт ведётся в пикселях, поэтому требуется дополнительный процесс перевода абстрактных пикселей в реальную физическую величину. Это достигается путём интерактивного ввода калибровочных данных - съёмка эталонных объектов с известными габаритами, либо ручная отметка отрезка с известной длиной.

Использование одной камеры для проведения испытаний предполагает возможность получения только плоскостных (компланарных) перемещений. Плоскость поверхности испытываемой детали в данном случае долж-

на быть параллельна плоскости светочувствительной поверхности фотоаппарата. Любые деформации, выходящие за пределы начальной плоскости, будут определены неверно, с высокой степенью погрешности (из-за перспективной природы обычных оптических систем). Однако есть возможность использовать дорогостоящие ортогографические объективы, позволяющие избавиться от недостатков обычных объективов. Также, в случае если есть возможность увеличения интенсивности освещения, попадающего на испытываемую модель, можно использовать теле- и супер телеобъективы, которые в намного меньшей степени подвержены перспективным искажениям.

Использование двух камер дает возможность проведения прочностных испытаний в трехмерном пространстве. Любые деформации, в т.ч. и выходящие за пределы начальной плоскости, регистрируются корректно в случае если требуемые участки объекта испытания видны с обеих испытательных камер. В случае использования двух камер появляется необходимость начальной калибровки относительного их положения. Необходимо задать начальные матрицы поворота и относительного смещения камер для точного определения расстояния до каждой точки поверхности объекта испытания. Калибровка перед проведением трехмерных испытаний предполагает использование эталонных сеток с известными значениями различных параметров, таких как расстояние между линиями, точками или ячейками. Алгоритмы распознавания таких сеток обычно зависят от конкретных требований к системе и часто придумываются и реализуются с нуля.

Одним из общепринятых алгоритмов начальной калибровки трехмерных систем является алгоритм блочного уравнивания (bundle adjustments), формально описать который можно следующим образом [1]:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{ij} (\|p_i - p_j\| - \rho_{ij})^2(1),$$

где n 3D точек наблюдаются с m различных представлений, а ρ_{ij} - проекция точки i на изображение j . ω_{ij} определяет двоичные переменные, равные 1 в случае если точка i видна для изображения j и равные 0 в другом случае. Каждая камера j определена набором параметров, находящихся в векторе p_j , а каждая точка i определяется вектором p_i . ρ_{ij} - предполагаемая проекция точки i на изображение j , а $\|p_i - p_j\|$ определяет евклидово расстояние между точками изображения, представленными векторами x и y . Таким образом блочное уравнивание минимизирует общую ошибку повторного проецирования.

Дальнейший алгоритм работы с изображением похож на 2D версию того же алгоритма. Отличием является обязательная триангуляция для определения интерполированных значений перемещения, находящимися между доменными ячейками.

Стоит отметить, что оба подобных метода не предполагают использование пористых объектов испытания (сетка или ребра жесткости), а также наличия разрывов, отверстий или других существенных нарушений целостности поверхности объекта испытания. Такие элементы объектов испытания не обладают свойством случайности поверхности объекта - невозможно нанести спекл структуру на отверстие. Попытка использования стандартных методов корреляции цифровых изображений не будет иметь успеха в подобных случаях. Вместо этого предлагаются аналитические методы определения формы отверстий с помощью поточечного восстановления замкнутого контура и проверки степени изменения общей формы данного отверстия.

Авторами был предложен новый способ определения перемещений в объекте с отверстиями с помощью промежуточных расчетов знаковых полей расстояний (signed distance field). Поскольку в конечном итоге цель визуальных методов заключается в определении расстояний, на которые переместилась та или иная точка, есть возможность сравнивать относительные расстояния от краёв отверстий на поверхности объекта испытания. Метод использующий поля расстояний не требует промежуточных алгоритмов распознавания и аппроксимации границ отверстий с помощью замкнутой кривой, а сразу определяет относительные расстояния пикселей до границ этих отверстий. Таким образом появляется возможность сравнивать значения расстояний, находящихся в искомым пикселях напрямую, минуя процесс нахождения коэффициентов корреляции и поиска подходящего места сдвига по окрестной области доменной ячейки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R.I. Hartley and A. Zisserman (2004). *Multiple View Geometry in computer vision* (2nd ed.). Cambridge University Press. ISBN 0-521-54051-8.
2. McGinnis, M.J., S. Pessiki, and H. Turker. Application of Three-dimensional Digital Image Correlation to the Core-drilling Method. *Experimental Mechanics*. Vol. 45, No. 4. August 2005. pp359-367

КОМАНДНЫЕ ТЕСТЫ ПО ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАК СРЕДСТВО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Н.А. Пакшина (АПИ (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Россия,
607227, г. Арзамас, Нижегородской обл., ул. Калинина, 19)
E-mail: Nataliapakshina@mail.ru

А.С. Копосов (АПИ (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Россия, 607227,
г. Арзамас, Нижегородской обл., ул. Калинина, 19)
E-mail: koposov96@yandex.ru

TEAM TESTING ON AUTOMATIC CONTROL THEORY AS MEANS VERIFICATION OF STUDENT KNOWLEDGE

N.A. Pakshina (API NNSTU of R.E. Alekseev 19, Kalinina Str., Arzamas,
607220)

A.S. Kopusov (API NNSTU of R.E. Alekseev, 19, Kalinina Str., Arzamas,
607220)

Keywords: automatic control, e-learning tools, testing program, teams.

Введение. Промежуточный контроль знаний – незаменимый атрибут учебного процесса, в какой бы форме он ни проводился. Именно текущая проверка позволяет создать обратную связь и сделать процесс обучения управляемым. Этот контроль делает возможным увидеть пробелы в знаниях и своевременно внести корректировки в учебный процесс., например, рассмотреть дополнительные примеры, пройти тренинги, если это окажется необходимым. В данной работе выбор был остановлен на проверке в виде компьютерного командного публичного тестирования. Почему?

Командные формы проведения занятий способствуют развитию таких качеств, как умение работать группе, руководить небольшим коллективом, а также учат сопереживать и оказывать взаимную поддержку. По мнению ряда авторов как зарубежных, так и российских авторов, именно эти свойства (collaboration, communicating, creativity, compassion and curiosity - a key for success) и являются ключевыми для успеха в образовательной деятельности [1-4].

А любая организация занятия, включающая элементы публичных действий, способствует более ответственной работе студентов. Это относится не только к публичным защита курсовых работ и проектов, к выступлениям перед сокурсниками с сообщениями и докладами, к участию в науч-

ных конференциях, но и к публичному компьютерному тестированию [5]. Публичность является мощным мотивационным фактором. Студенты не столь старательны, если им предстоит демонстрировать свои знания или работу только преподавателю [6]. Предстоящее тестирование перед однокурсниками заставляет их работать с полной отдачей, без каких либо усилий со стороны преподавателя.

Подобные тесты могут выполнять не только контролирующую функцию, но и служить для повторения изученного. В данном случае зрелищность способствует лучшему усвоению учебного материала всеми студентами группы. Работа студентов в таком варианте деятельности разнообразит учебный процесс, делает его живым и интересным. Такое тестирование напоминает скорее шоу для всех, и для студента, когда он выступает в качестве зрителя или болельщика, для отвечающего и для преподавателя.

Постановка задачи. Целью данной работы было оснастить курс «Теория автоматического управления» необходимыми электронными методическими средствами и создать студентам благоприятные условия для его освоения. Перед авторами стояла задача разработать программный продукт для тестирования группы студентов, который должен оживить процесс обучения. Эта тестирующая программа, должна позволять проводить публичное командное тестирование. Необходимо было также разработать тесты по отдельным разделам теории управления.

Рассмотрим подробнее порядок работы с этой системой.

Процедура публичного тестирования. На первом этапе оглашается тема занятия и студентов информируют о том, какими электронными или бумажными пособиями следует пользоваться при самостоятельном изучении этой темы.

На втором этапе, студенты изучают предложенный материал тем или иным способом. Чаще всего для этих целей используется небольшое по объему электронное мини-пособие или глава электронного учебника, или методические указания для практических или лабораторных занятий.

Далее группа студентов разбивается на команды (лучше, если в алфавитном порядке - это удобнее для фиксации результатов), выбирают капитанов и обсуждают название каждой команды. После чего рассказываются друг напротив друга. Эту организационную процедуру следует проводить не более, чем за 5 минут.

После этого преподаватель запускает тест (тестирующий блок доступен только преподавателю), который проецируется на большой экран аудитории. На главной странице оговариваются условия соревнования.

В начале игры происходит авторизация, т.е. капитаны вводят названия своих команд. Экран разбит на две части, на каждую из которых выводятся вопросы, выбранные в случайном порядке, из общей базы. После чего, студенты из каждой команды поочередно подходят к компьютеру и отвечают на вопросы компьютерного теста.

При возникающих затруднениях у команды имеется возможность (единственная дополнительная попытка) обратиться за подсказкой к другим членам команды, т.е. своеобразная «помощь клуба». Если, команда не задействовала эту возможность, то, в конечном счете, добавляется балл к общей накопленной сумме.

На этот этап отводится 12-15 минут, в зависимости от количества тестовых вопросов. В конце тестирования на экране появляется окончательный командный результат. Выигрывает команда, набравшая наибольшее количество правильных ответов.

Для ускорения процесса тестирования, возможен вариант, что у компьютера стоят только капитаны команд, а игроки называют им правильный, на их взгляд, ответ.

Если группа студентов состоит более, чем из 15 студентов, то целесообразно проводить тестирование в два этапа, по аналогии со спортивными соревнованиями (сначала полуфинал, потом уже финал).

Другими словами группа студентов разбивается на 4 команды. Сначала отвечают на тестовые вопросы две первые команды, потом две вторые. Победившие команды будут состязаться между собой.

Для иллюстрации такой организации занятия подходит модель не учитель-ученик, а скорее преподаватель-группа студентов. Преподаватель наблюдает одновременно всю группу студентов, т.е. получает более объективную информацию об усвоении материала, нежели, когда видит успехи-неуспехи одного конкретного студента.

Реализация. Для создания этой системы использовался язык разметки HTML. Для дизайна были применены каскадные таблицы стилей CSS, которые предоставляют большое количество инструментов для оформления Web-страниц. Кнопки и некоторые другие графические элементы были созданы в программе Adobe Photoshop. Тестирующая программа разрабатывалась с использованием языка JavaScript.

Прототип подобной системы изначально был разработан авторами и прошел опытную эксплуатацию в ряде групп АПИ НГТУ по курсу «Сетевые технологии» [7]. Он получил положительную оценку студентов и сейчас система внедрена в учебный процесс.

То, как организована система тестирования можно увидеть на рис. 1. Следует отметить, что вопросы из базы задаются студентам в случайном порядке.

По курсу «Теория управления» было разработано несколько тестов, предназначенных для промежуточного контроля знаний студентов. Имеется тест «Применение линейных матричных неравенств в теории управления», «История теории управления» и др.

Пример командного теста. Одним из тестов, который реализован как публичный командный тест и используется в нашем институте, является тест по теме «Возможности MATLAB и YALMIP» (рис. 2, 3). В нем представлены функции MATLAB и YALMIP, изучив которые студент в дальнейшем сможет успешно смоделировать систему управления и проанализировать ее свойства.

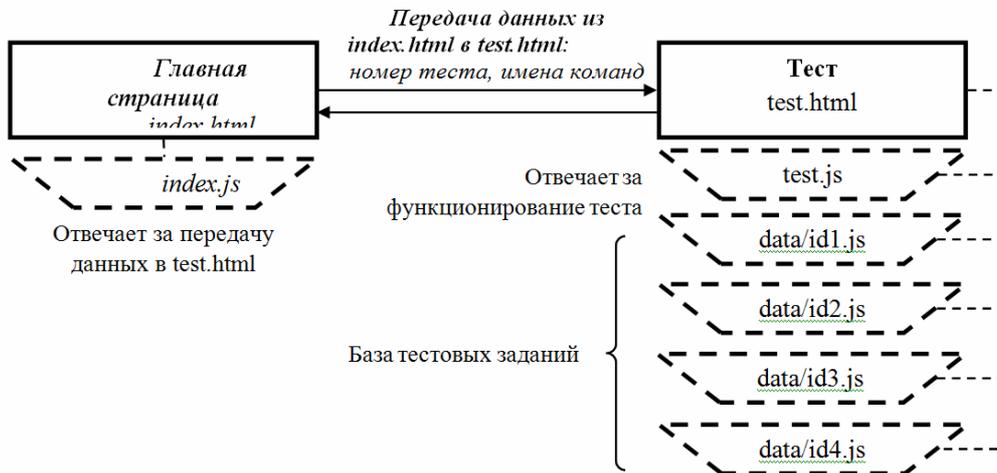


Рис. 1. Структурная схема системы тестирования

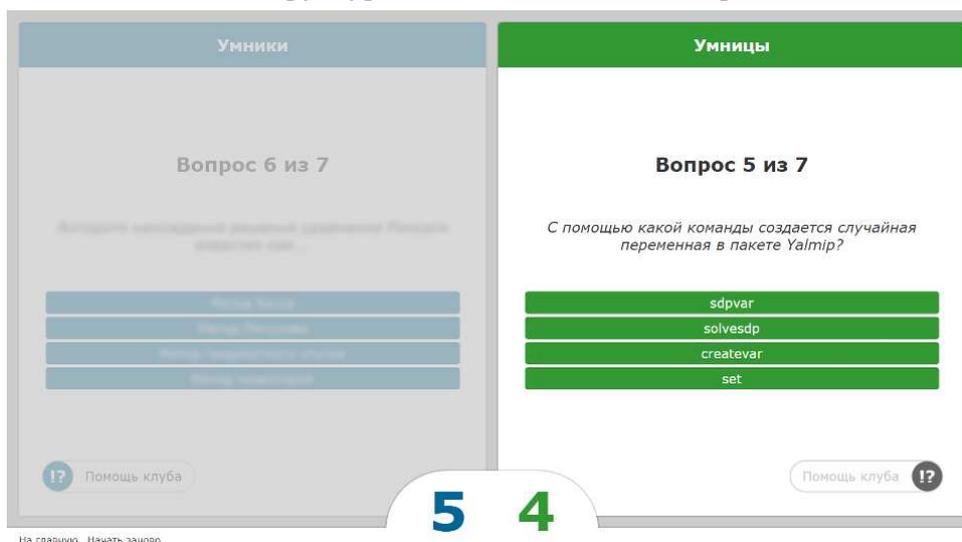


Рис. 2. Интерфейс командного теста на знание возможностей пакетов MATLAB и YALMIP

Результаты опытной эксплуатации. Как показала опытная эксплуатация, использование в учебном процессе командного публичного теста делает занятие более оживленным и интересным. Проведение промежуточного контроля с применением такого командного соревнования оказалось достаточно эффективным.

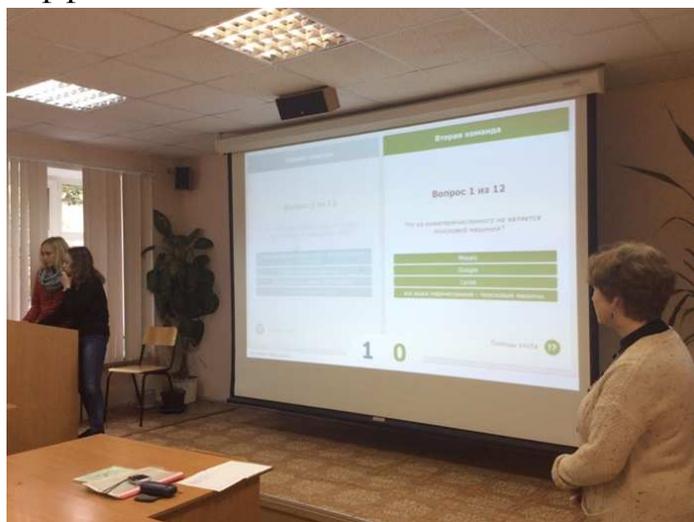


Рис. 3. Апробация командного теста в группе АСИ 14-1

Заключение. Итак, разработан контрольно-оценочный ресурс на основе компьютерных технологий. Какие выводы можно сделать по результатам опытной эксплуатации?

Такой формат занятий позволяет сформировать обратную связь и усилить внутреннюю мотивацию студентов. А мотивация, безусловно, влияет на качество обучения, поскольку она действует как помощник учебному процессу и успеху в нём.

Студенты предпочитают коллективные формы работы на занятиях. И в чем мы, совершенно, согласны с автором статьи «Геймификация и образование» А. Ницем, так в том, что «как компьютерные игры учат нас командному взаимодействию, так и обучение должно стать командным» [3].

Игровые и соревновательные элементы можно рекомендовать к включению в структуру, как электронных средств обучения, так и в традиционные формы проведения занятий в высших учебных заведениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pasik-Duncan, Bozenna and Duncan Tyrone E. (2016). Stochastic Adaptive Control – Integrating Research and Teaching // Preprints of the 11th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Bratislava, Slovakia, June 1-3, 2016, P. 105-109.

2. Loera, G., Nakamoto, J., Rueda, R., Oh, Y. J., Beck C., Cherry C. (2013). Career and Technical Education Research, vol. 38, n. 3, p. 191-209. 2013. [Online]. Available at <http://www.ingentaconnect.com/content/acter/cter/2013/00000038/00000003/art00004>. (accessed 12 June 2013).

3. Ниц А. Геймификация в образовании. <http://te-st.ru/2012/12/21/gamification-education/>

4. Пакшина Н.А., Емельянова Ю.П. О целесообразности применения игровых технологий обучения в высшей школе. // Инновационные технологии в образовательной деятельности: материалы Всероссийской НПК. Н. Новгород. 3 февраля 2016 г. / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016, С. 107-114.

5. Пакшина Н.А., Емельянова Ю.П., Копосов А.С. Применение публичного компьютерного тестирования // Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития: сборник статей участников Международной научно-практической конференции (13-15 мая 2016 г.) / Под общ. ред. С.В. Мироновой, С.В. Напалкова; Арзамасский филиал ННГУ. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. С. 47-52.

6. Pakshina N.A., Emelianova J.P., Pravdina M.V, and Pakshin P.V. Modification of Traditional WebQuests with Applications to the Study of the Control History // IFAC-PapersOnLine. 48-29. 2015, PP. 313-318.

7. Копосов А.С. Командный тест по теме «Сетевые технологии» // Будущее технической науки: сборник материалов XV Международной молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – С.83-84.

**СОЗДАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ-
МАНИПУЛЯТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ОДНОКОВШОВЫХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ)**

П.А. Побегайло (ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Россия, 101990,
Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4)
E-mail: petr214@yandex.ru

**CREATION OF METHODOLOGY OF AUTOMATED DESIGN
OF MOUNTAIN AND CONSTRUCTION ROBOTS MANIPULATORS
(ON THE EXAMPLE OF HYDRAULIC EXCAVATORS)**

P.A. Pobegailo (Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute
of RAS, Russia, 101990, Moscow, Maly Haritonyevsky Lane, 4)

Keywords: hydraulic excavator; design methodology

Введение. Развитие современной цивилизации в привычном нам виде подошло к своему логическому завершению. При этом возможны различные сценарии дальнейшего её бытия. Оптимистичный вариант сценария предполагает, кроме всего прочего, переход к новому технологическому укладу. Такого рода переход невозможен без появления принципиально новых технологий и машин их реализующих. Создание же последних невозможно без применения современных информационных технологий. Однако "прямолинейное", не продуманное, не обоснованное их внедрение не способно дать нам нужных результатов. Что же тогда нам делать?

На наш взгляд, сейчас нужно разрабатывать вопросы методологии проектирования того или иного потребного нам объекта (классов объектов).

Постановка задачи. Так как сегодня мы не способны, в рамках одной этой работы, рассмотреть все нюансы связанные с методологией проектирования, необходимо сузить проблемное поле и конкретизировать его. Для этого ниже мы остановимся на важной в третьем тысячелетии технической системе - работе манипулятора. При этом под последним мы будем понимать широко распространенный в нашей стране и в мире объект - одноковшовый гидравлический экскаватор (ОГЭ). Мы считаем, что это типичный робот манипулятор.

Для того, что бы оценить состояние вопроса с методологией проектирования ОГЭ нами был выполнен литературный анализ. На его основе были сделаны следующие основные выводы:

- оценка состояния мышления и знаний в области экскаваторостроения являются не удовлетворительными;

- методологии проектирования мощных ОГЭ не существует; также нет и методологии проектирования его отдельных подсистем;

- методология проектирования строительных ОГЭ также не создана; есть один единственный вариант методологии для проектирования рабочего оборудования (РО);

- отсутствует нормативный документ (-ы), описывающий (-ие) методологию проектирования как ОГЭ, так и РО;

- не существует четкого понимания основных терминов, которые часто используются при разговоре о проектировании экскаваторов;

- давно назревшая, на наш взгляд, необходимость в "методологическом повороте" сообществом специалистов не обсуждается, что говорит как об их низком уровне, так и об отсутствии стимула к дальнейшему движению в рамках сложившейся социальной и экономической ситуации в мире;

- из-за отсутствия методологии область исследований машин для земляных работ так и не превратилась в единую науку, ибо никому так и не удалось определить ни её предмет, ни её объект, которые породили бы адекватные и взаимосвязанные способы познания, раскрытия сущности явлений данного круга;

- многие исследователи и учёные следуют дурной моде писать везде "системный подход". Однако, ни в одной из работ, известных нам в области землеройных машин, полноценного и оправданного применения системного подхода нет. Создается впечатление, что никто из уважаемых авторов не знает что это такое;

- детальное рассмотрение методологии проектирования всего ОГЭ и отдельно всех его подсистем в настоящей работе невозможно. Ограничимся далее лишь РО. Также невозможно в рамках нашей работы рассмотреть и все стадии проектирования. Остановимся поэтому на стадии предпроектного анализа (ПА);

- вопросы полномасштабной и профессиональной реализации предлагаемой методологии на компьютере, так же как и вопросы представления разрабатываемой методологии с помощью того, или иного стандарта являются задачей сугубо инженерной и выходят за границы настоящей работы. Так же как и выходят за её границы вопросы внедрения методологии и её стыковки с программами, используемыми на предприятиях.

Таким образом, вполне очевидно, что тема настоящей работы актуальна и востребована.

Учитывая тот факт, что настоящая работа имеет существенные ограничения на её объем отметим, что вопросы уточнения терминологии; разъяснения того, что мы понимаем под процессом проектирования на стадии ПА (и того, что это такое); как мы видим наполнение и взаимосвязь категорий Анализ и Синтез при этом; какие основные требования к САПР РО ОГЭ нами сформулированы; что такое сложность процесса проектирования и пр., и т.д. рассмотрены нами в монографии [1], и сейчас тут не приводятся.

Ниже мы остановимся лишь на основных этапах проектирования РО ОГЭ на стадии ПА. Итак.

Вокруг методологии. Создание оптимальных конструкций ОГЭ, обеспечивающих полную механизацию земляных и прочих работ в строительстве, на открытых горных работах и т.д., при минимальных приведенных затратах на разработку кубометра грунта - проблема весьма сложная и многофакторная. В рамках одной (настоящей) работы рассмотреть её не представляется возможным.

Поэтому сейчас мы только наметим маршрут движения, который, возможно, приведет исследователя и проектировщика к искомой цели. Для этого сначала мы представим набросок общей схемы проектирования ОГЭ (за основное мы в этой работе примем РО обратного копания). После этого мы более подробно рассмотрим этап проектирования РО на стадии ПА (иными словами, произведем декомпозицию процесса проектирования).

Подчеркнем! Перечисляя ниже основные этапы и исходные данные для проектирования ОГЭ, мы не претендуем на исчерпывающую полноту (ни в стадиях, ни в исходных данных). Это не требуется для нашей настоящей работы. Более или менее точный перечень стадий мы приведем только для проектирования РО на стадии ПА.

Итак, на рис. 1 представлена общая схема процесса проектирования ОГЭ. Дадим к ней ряд комментариев, и сделаем это поэтапно.

Первый этап. На нём следует рассмотреть вопрос оптимизации (если проектировщик к этому конечно готов) процесса взаимодействия рабочего органа с рабочей средой. Решение этой задачи позволит более обосновано определить необходимое усилие копания P_{01}^{MAX} (которым все равно придется как-то задаться, если не определить его тут) и диапазон изменения вместимости основного ковша.

На этой стадии проектировщику потребуется знать:

- удельную энергоёмкость процесса копания;
- среднеарифметическое значение удельного сопротивления грунта копанию;
- удельное сопротивление грунта копанию с заданной вероятностью стопорения ковша в забое;

- зависимость максимальной толщины срезаемой стружки от площади поперечного сечения ковша и угла его поворота при копании;
- зависимость максимального момента сопротивления повороту рабочего органа при копании от угла его поворота.

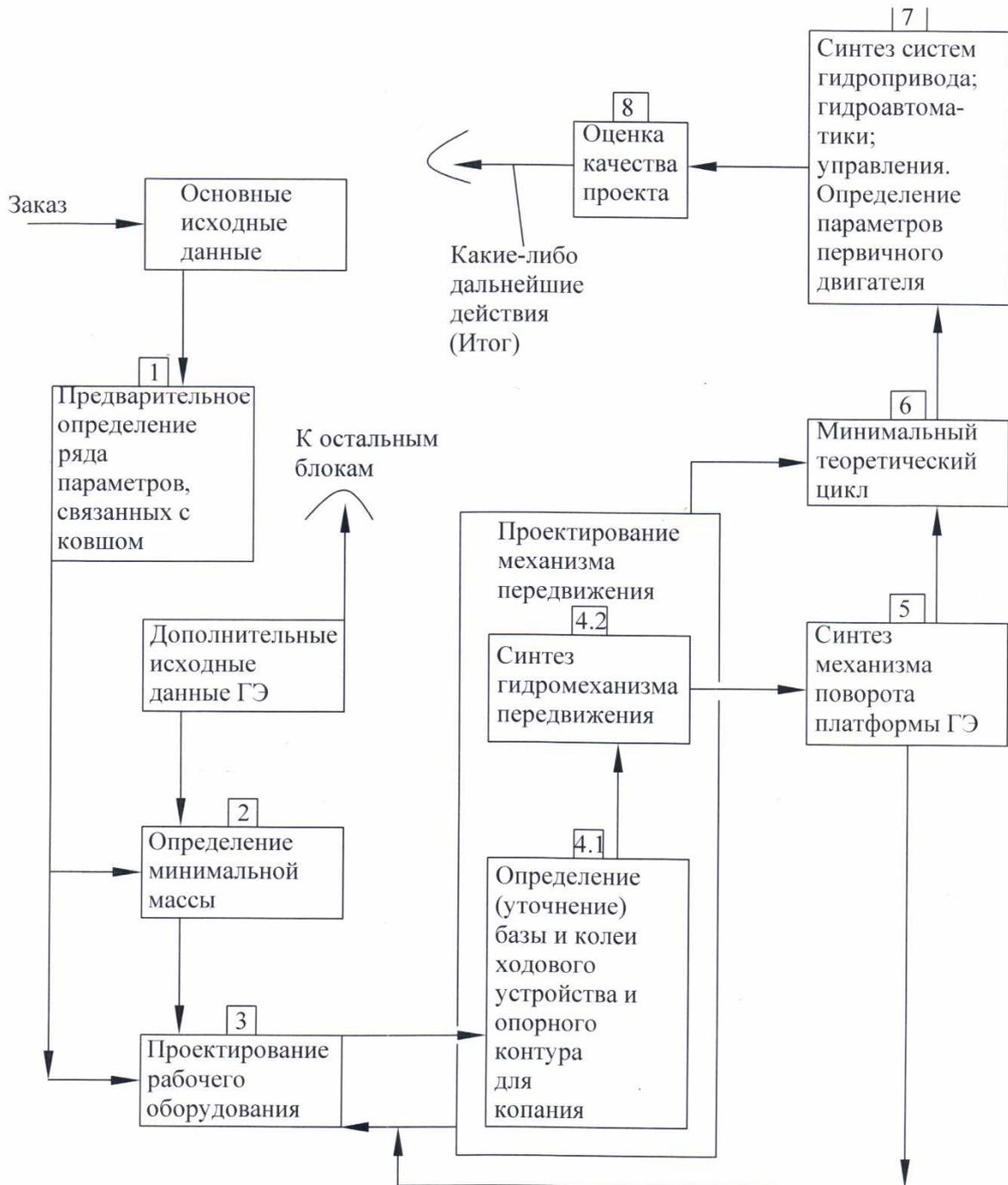


Рис. 1 Общая схема процесса проектирования ОГЭ

Второй этап. На этом этапе необходимо определить минимальную массу машины по условию сцепления её движителя с грунтом при копании.

На этой стадии проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): коэффициент сцепления движителя с грунтом.

Третий этап. Проектирование РО. Детально, для стадии ПА, этот этап мы рассмотрим ниже.

Для разработки РО на дальнейших стадиях проектирования этот этап может быть разбит на три основные части: уточнение характеристик рабочей зоны; улучшение значений линейных размеров элементов РО и координат пяты стрелы; оценка и уточнение основных параметров (в том числе и параметров привязки) исполнительных механизмов РО.

На этих стадиях проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): максимальную глубину копания; расстояние от опорного контура ОГЭ до бровки забоя; вместимости сменных ковшей; расчётный угол естественного откоса грунта; максимальную передвижку ОГЭ; расчётный угол откоса канала; минимальные высоту и радиус выгрузки; полный угол поворота стрелы, рукояти и ковша; зависимость максимального усилия копания от угла поворота ковша; то же при копании поворотом ковша совместно с рукоятью; максимальный момент, реализуемый стрелоподъемным механизмом при максимальном усилии; углы давления в исполнительных механизмах РО; максимальное давление рабочей жидкости; закон изменения массы РО при разных схемах компоновки исполнительных механизмов.

Четвертый этап (состоит из двух частей, см. рис. 1). Определение (уточнение) параметров опорно-ходового устройства, синтез гидромеханизмов хода и определение (уточнение) местоположения оси поворотной платформы.

На этой стадии проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): уточненную минимальную массу ОГЭ, определяемую максимальным усилием копания и коэффициентом сцепления движителя с грунтом; несущую способность грунта при копании; максимальный момент, удерживающий ОГЭ при копании; максимальный момент, удерживающий ОГЭ при повороте платформы на выгрузку; максимальный момент, удерживающий ОГЭ на максимально допустимом уклоне; скорость перемещения ОГЭ в забое; транспортные скорости ОГЭ (если они есть); значение динамического фактора; максимальные углы подъема и спуска при передвижении и экскавации.

Пятый этап. На нем должен быть произведен синтез гидромеханизмов поворота платформы.

На этой стадии проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): расчётный угол поворота платформы на выгрузку; закон изменения момента инерции поворотной платформы; ускорения разгона и торможения.

Шестой этап. Зная длительность и энергоёмкость основных операций малого рабочего цикла, а также требования технологии ведения работ, на этом этапе определяется значение минимального теоретического цикла.

На этой стадии проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): энергоёмкость каждой из операций в цикле; длительность каждой из операций цикла; технологический алгоритм совмещения операций в цикле; эргономически допустимый алгоритм совмещения операций.

Седьмой этап. Это этап синтеза систем гидравлического привода, гидроавтоматики и управления. Кроме этого, тут же осуществляется выбор мощности насосной установки и первичного двигателя.

На этой стадии проектировщику потребуется знать (дополнительно к параметрам, указанным выше): максимальное расчётное давление для каждого из механизмов; заданный ресурс для каждого из механизмов; КПД операций цикла; установочную мощность каждого из агрегатов.

Восьмой этап. Тут осуществляется оценка качества (эффективности) созданного ОГЭ.

Теперь мы перейдем непосредственно к рассмотрению процесса проектирования РО на стадии ПА. По отношению к схеме, представленной на рис. 1, это следующий (как бы нижележащий) уровень проектирования. На рис. 2 представлена схема для рассматриваемого нами сейчас вопроса. Дадим её краткое описание.

На рис. 2 а мы показываем, что этап проектирования РО на стадии ПА состоит из двух частей: основной и дополнительной. Последняя часть, по нашему мнению, на стадии ПА, не обязательна. В нее мы включаем задачи, связанные непосредственно с синтезом и анализом металлоконструкций РО; оценкой скоростей и ускорений элементов РО, вычислением КПД РО и пр., и т.д. Кроме того, эта схема может быть дополнена этапом "Формирование исходных данных". В него могут быть включены вопросы сбора и обработки статистических данных по экскаваторам - аналогам и т.д., и т.п. Мы сейчас это на рис. 2 (и на а, и на б) не указываем. Также, на этом рисунке, мы не показываем обратные связи, возвращающие проектировщика к уже рассмотренным ранее вопросам, если у него возникли какие-либо в этом потребности.

Подчеркнем, что в иных наших работах, с разной степенью глубины проникновения в предмет, в основном рассматривается лишь этап "Основные этапы проектирования", к описанию которого мы сейчас и перейдем - опираясь на рис. 2 б. Итак.

Синтез кинематической схемы РО. На этом этапе осуществляется формирование множества единичных вариантов РО.



Рис. 2 Схема проектирования РО на стадии ПА

Для каждого единичного варианта РО тут определяются значения: кинематических длин элементов РО; экстремальных углов перемещения элементов РО относительно друг друга и экскаватора (для стрелы); координат пяты стрелы.

Детали этого этапа рассмотрены, например, в нашей книге [2]. Поэтому подробно останавливаться на данной стадии проектирования мы сейчас не будем.

Анализ геометрических свойств РО (все основные нюансы и детали по этому этапу приведены в монографии [3]). На этом этапе, для каждого из единичных вариантов РО, синтезированных ранее, осуществляется ана-

лиз геометрических свойств. Для этого выполняются следующие действия: строится осевой профиль рабочей зоны; определяется площадь осевого профиля рабочей зоны; рассчитывается манипулятивность РО; ищется потеря манипулятивности для традиционного РО относительно "идеального РО"; вычисляются значения аффинных пропорций и золотого вурфа.

Оценка полученных вариантов. На этом этапе, на базе всей гаммы данных, полученных ранее, осуществляется сокращение множества единичных вариантов РО (можно конечно ограничиться и некоторым ранжированием вариантов). Для этого могут использоваться предложенные нами локальные оценки качества РО: на основании теоремы Ли - Янга; на базе определения объема грунта, доступного для экскавации в рамках малого рабочего цикла; с помощью понятия "достижимость" и др.

Также, тут могут быть использованы ограничения на значения вычисленных ранее параметров РО. Например, это ограничения на максимальное и/или минимальное значение манипулятивности; или экстремальные значения угла подъема и опускания стрелы и пр., и т.д.

Учитывая итеративный характер процесса проектирования, при его существенно негативной оценке на этом этапе, тут возможен и возврат, либо к этапу "Синтез кинематической схемы РО", либо даже во вне, к блоку "Исходных данных" и далее к Заказчику (на рис. 2 это не показано).

Синтез исполнительных механизмов РО. На этом этапе для каждого единичного варианта РО осуществляется синтез исполнительных механизмов.

Более конкретно, речь тут идет об определении основных параметров гидроцилиндров, месте их привязки к РО и базовой машине, подборе части параметров гидропривода.

Последовательность действий на этом этапе такова: синтез механизма привода рукояти; синтез механизма привода ковша; синтез механизма привода стрелы.

В полном своем объеме описание этого этапа будет включено в соответствующую монографию, над которой мы сейчас работаем.

Сейчас же отметим на наш взгляд главное: при синтезе исполнительных механизмов РО основная идея состоит в том, чтобы рассматривать РО как единую механическую систему, что подразумевает отказ от локальной оптимизации отдельных механизмов и учёт взаимовлияния механизмов друг на друга. При этом необходимо обеспечить реализацию активного давления насоса как минимум по всей фактической рабочей зоне.

Анализ нагруженности ОГЭ (РО). На этом этапе для каждого единичного варианта РО осуществляется анализ нагруженности.

Иными словами, тут, в первую очередь, производится вычисление максимально реализуемого усилия на зубьях ковша в каждой точке рабочей зоны (количество точек зависит от заданного шага сетки, например квадратной).

Кроме этого, здесь же может быть осуществлено: определение реакций в шарнирах РО; оценка напряжений в сечениях РО; расчет удельных давлений под гусеницами (с учётом или без учета свойств грунта); статическая оценка устойчивости машины (возможно, подбор контргруза) и т.д.

Оценка полученных вариантов. На этом этапе, на базе всей гаммы данных, полученных ранее, осуществляется дальнейшее сокращение множества единичных вариантов РО (или выполняется ранжирование вариантов). Для этого могут использоваться предложенные нами локальные оценки качества РО: возможность реализации "избранных" траекторий (в некотором смысле это расширение понятия "достижимость"); обеспечение требуемого уровня максимального усилия в какой-либо части рабочей зоны и др.

Также тут могут быть использованы ограничения на вычисленные ранее значения параметров РО.

Учитывая итеративный характер процесса проектирования, при его существенно негативной оценке на этом этапе, тут возможен и возврат, либо к этапу "Синтез кинематической схемы РО", либо к этапу "Синтез исполнительных механизмов РО", либо даже во вне, к блоку "Исходных данных" и далее к Заказчику (на рис. 2 это не показано).

Выводы. В настоящей работе, в её начале, выявлена проблема с отсутствием у нас методологии проектирования ОГЭ и его подсистем. Хуже того, выяснилось, что для работы с этой проблемой у нас нет и однозначного и подходящего языка.

Поэтому далее автор настоящей работы сделал первые шаги в направлении разрешения выявленных лакун и проблем (подробно об этом можно узнать из работы [1]). В перспективе это поможет и при рассмотрении иных машин и механизмов - в первую очередь роботов манипуляторов, к коим и относятся, на наш взгляд, ОГЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: методология проектирования рабочего оборудования (на ранних стадиях проектирования). -М.: СвР - АРГУС, 2017. 108 с.

2. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. М.: ЛЕНАНД, 2014. 296 с.

3. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: анализ геометрических свойств рабочего оборудования. -М.: СВР - АР-ГУС, 2017. 140 с. (в печати)

**СИСТЕМНЫЙ ИНЖИНИРИНГ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
СТАНДАРТОВ MESA ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫМ ПАРКОМ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

С.Ф.Рудницкий (ПАО "КАМАЗ", Россия, 423827, Набережные Челны,
пр-т Автозаводский, 2), E-mail: rudnitsky@kamaz.ru

**SYSTEM ENGINEERING AND MESA STANDARDS FOR BUILDING
SYSTEM OF MANAGEMENT OF MACHINE-TOOL FLEET OF THE
MANUFACTURING ENTERPRISE**

Sergei Rudnitskii (KAMAZ PTC, Russian Federation, 423827, Naberezhnye
Chelny, Avtozavodskiy Prospect, 2), E-mail: rudnitsky@kamaz.ru

Keywords: system engineering, MESA, manufacturing system, machine-tool fleet, IT-technology, real-time control, manufacturing execution systems.

В докладе предлагается новый подход к созданию системы оперативного управления станочным парком машиностроительного предприятия - с использованием инструментов системного инжиниринга и стандартов MESA. Данный подход позволяет значительно сократить сроки создания и разработки такой системы наряду с обеспечением высокого качества функционала системы на протяжении всего жизненного цикла.

Введение. В работе [1] была предложена концепция комплексной системы оперативного интегрированного управления для решения задач, стоящих перед современным металлообрабатывающим производством, за счет синхронизации связей всех производственных систем в единой базе данных, управления ими на основе автоматического сбора производственной информации и оптимизации технологического процесса на каждой единице оборудования и всего станочного парка предприятия в целом в реальном времени. Принципиальная новизна концепции заключается в том, что она строится на основе автоматического сбора информации от *каждой* единицы оборудования и последующей *оптимизации* техпроцессов на основе этой информации. Акцент – автоматизированное получение обратной связи от каждого станка и оптимальное управление каждым станком на базе этой информации.

Такая разработка прежде всего необходима для российских предприятий, поскольку существующие зарубежные разработки не предназначены, во-первых, для работы со старым оборудованием (без ЧПУ), и, во-вторых,

они рассчитаны на то, что процессы настроены правильно и функционируют правильно, без сбоев. Для России более актуальна автоматизация управления оборудования в основном без электронной составляющей и в условиях более частых поломок оборудования, более нестабильного «человеческого фактора» и т.п. Такова ситуация на подавляющем большинстве российских машиностроительных предприятий.

В настоящее время актуальность разработки такой системы адаптивного контроля и оперативного управления станочным парком производственного предприятия еще более возрастает в связи активно распространяющейся концепцией Industry 4.0. Согласно этой концепции, европейская экономика находится на пороге четвертой промышленной революции – "умных" предприятий (предшествующие революции – механизация, индустриализация и автоматизация соответственно.) Знаковые моменты Industry 4.0 - внедрение киберфизических систем и переход к персонализированному производству. [2] Самое существенное в киберфизических системах - наличие двусторонней связи между физическими процессами и управляющими программами (вычислительными средствами). Элементы такой системы могут находиться как рядом, например, в одной производственной зоне, так и далеко друг от друга, а взаимодействие между ними – осуществляться на всех стадиях «жизненного цикла» (планирование, производство, эксплуатация, ремонт, утилизация). Сбор и анализ собираемой информации могут служить множеству целей: диагностика состояния, прогнозирование необходимости тех или иных изменений, автоматическая настройка, адаптация и пр.

Ожидается, что с реализацией концепции Industry 4.0 существенно изменится традиционная инфраструктура уровней управления производством. Нижний уровень (с датчиками, приводами и прочими исполнительными механизмами) сохранится, однако число устройств на этом уровне экспоненциально вырастет. Кроме того, что даже более важно, устройства этого уровня будут наделяться все большим интеллектом. Они станут частью киберфизических систем и будут способны автономно выполнять многие функции. Большинство же функций, которые в сегодняшних системах реализуются устройствами вышестоящих уровней, будут переноситься на высокопроизводительные серверы, которые будут располагаться в серверных кластерах, ЦОДах или облаках. Вообще, взамен АСУ ТП предлагается термин IIoT (Industrial Internet of Things, «Промышленный интернет вещей»), или просто «Промышленный интернет». [3]

Постановка задачи. В условиях, когда необходимо обеспечить в разработке системы выполнение как специфических для российских металло-

обрабатывающих предприятий требований (по крайней мере частично описанных на уровне пользователя), так и пока еще четко сформулированных требований, происходящих от таких новых трендов, как Industry 4.0 и ПоТ – необходим новый инструментарий разработки. Обычный "водопад-ный метод" разработки ПО для такой системы, регламентированный ГОСТ 19 «Единая система программной документации» и ГОСТ 34 «Стандарты на разработку и сопровождение автоматизированных систем» - неприменим. "Водопад" ориентирован на последовательный подход к разработке ПО, разработка проводится по этапам, каждый из которых предполагает выполнение строго определенных работ, и завершается выпуском достаточно большого числа весьма формализованных и обширных документов. Не удивительно, что такие системы медленно внедряются на промышленных предприятиях России.

Самой большой проблемой при их внедрении является отсутствие либо недостаточность жестко структурированной нормативно-справочной информации (НСИ), без которой невозможно запустить систему в эксплуатацию. Вторая проблема – это пересечение функциональности различных подсистем и областей ответственности в случае комплексного проекта, когда участвуют несколько интеграторов. Каждый из субподрядчиков в этом случае должен четко понимать границы своего проекта и зоны ответственности различных подрядчиков за предоставление полной и своевременной информации, необходимой для реализации системы [4].

Кроме того, специалисты приводят ряд технических причин, по которым внедрение подобных аппаратно-программных систем происходит неудачно, сроки внедрения затягиваются, бюджет значительно превышает [12]:

Нестыковка модулей программного обеспечения. Зачастую возможность интеграции информационных систем, декларируемая вендором, является мнимой и необходима серьезная доработка программного кода.

Дороговизна интеграции. Вполне возможно, что стоимость интеграции ручного станка с MES будет сопоставима со стоимостью самого станка.

Закрытые системы ЧПУ. Не исключена высокая сложность интеграции системы с системой ЧПУ, информация о которой либо закрыта производителем оборудования, либо утеряна и не может быть восстановлена.

Гарантия на оборудование. Бывают ситуации, когда все готово для реализации проекта, однако производитель оборудования запретил вносить изменения и осуществлять установку дополнительного ПО в систему ЧПУ.

Недостаток функционала. Речь идет об отсутствии реализованного решения для интеграции системы с системами ERP и PLM.

Решение – системный инжиниринг. Чтобы избежать вышеуказанных проблем при разработке и внедрении системы управления станочным парком, необходим более совершенный инструментарий, т.е. процесс разработки и внедрения.

Таким инструментарием автору видится системный инжиниринг, новое и перспективное для России направление. Согласно определению, системный инжиниринг – это междисциплинарный подход, используемый для контроля за разработками сложных, инновационных изделий и систем [5], а также способы обеспечения воплощения успешной системы (А.Левенчук, [6]).

Системную инженерию от всех других инженерных дисциплин отличают ответственность за всю систему как целое и связанная с этим межпредметность/междисциплинарность подхода к другим инженерным областям (механической, электрической, программной, предприятия и т.д.). Соответственно, главный признак, отличающий системных инженеров от всех других инженеров в том, что они отвечают за проект в целом, сразу во всех его деталях. Они ответственны за то, чтобы не было пропущено какой-нибудь мелочи, ведущей к провалу. [6]

Системная инженерия основывается на ключевых следующих принципах, именно они отличают ее от традиционного конструирования/проектирования:

1. Подход сверху-вниз;
2. Инженерия требований;
3. Фокусирование на жизненном цикле;
4. Оптимизация и баланс системы;
5. Интеграция специализаций и дисциплин;
6. Управление

Рассмотрим некоторые из этих аспектов немного подробнее.

Подход сверху-вниз (top-down approach). Традиционные инженерные дисциплины основываются на подходе снизу-вверх, когда разрабатываются известные компоненты, которые затем интегрируются в элементы более высокого уровня, сборки, затем в подсистемы еще более высокого уровня, и т.д. до тех пор, пока не будет получена необходимая система. Это очень эффективный подход при решении частной, хорошо определенной проблемы. При подходе сверху вниз начинают с обзора системы в целом, чтобы получить полное понимание системы, ее окружения и ее интерфейсов. Затем разрабатываются требования к системе в целом. Далее

аналогичным образом рассматриваются подсистемы и определяются требования уже к каждой индивидуальной подсистеме. При необходимости эти системы далее разбиваются на сборки, под сборки, компоненты и т.д. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено такое полное представление о системе сверху донизу, которое позволит 1) разработать дополнительные (порожденные) требования и 2) идентифицировать все интерфейсы между подсистемами.

Следует отметить, что, хотя разработка идет сверху вниз, интеграция разработанных подсистем идет снизу-вверх. При этом на каждом этапе такой интеграции должно разрабатываться определенные формы интеграционного тестирования, чтобы удостовериться (verify) в том, что интеграция проведена успешно. (Рис.1)

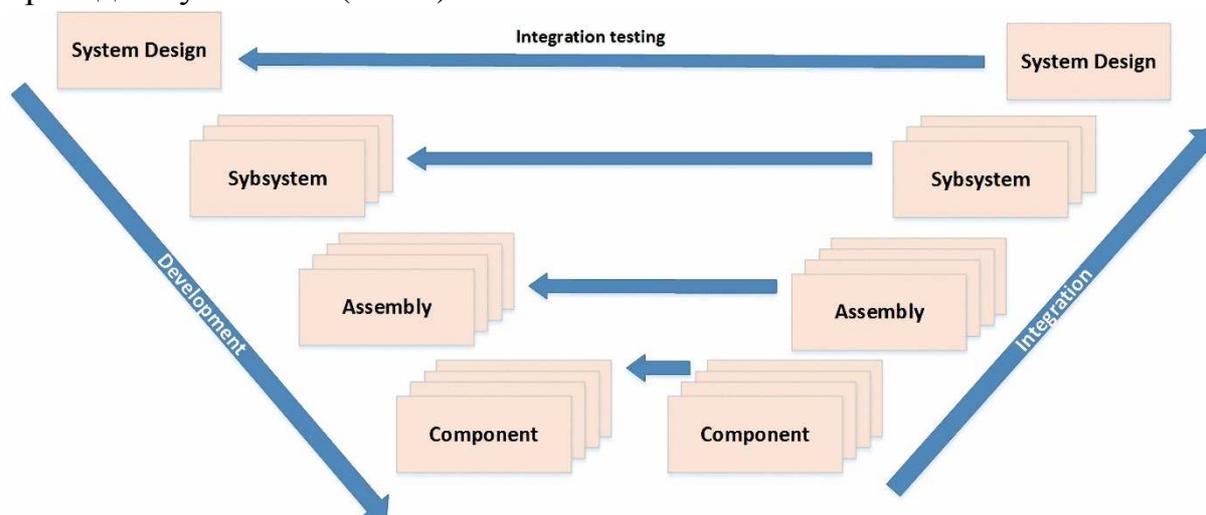


Рис. 1. Подходы сверху-вниз (при разработке) и снизу-вверх (при интеграции) [11]

Управление требованиями. Важнейшим элементом системной инженерии является управление требованиями. Требования являются основой для любого проекта. Они определяют те потребности «заинтересованных сторон» (stakeholders) – пользователей, потребителей, поставщиков, разработчиков и самого бизнеса, - которые являются для них необходимыми, а также тот функционал, которым система должна впоследствии обладать, чтобы удовлетворить эти потребности. [14]

Применительно к проекту создания системы управления станочным парком, целесообразно в качестве основы для создания списка требований воспользоваться стандартом функциональной модели MES-систем, разработанную международным консорциумом Manufacturing Execution Systems Association (MESA). (В качестве отправной точки хороша вся серия стандартов ISA-95.)

Согласно этой модели (MESA-11), опубликованной в 1994 г., выделяется 11 базовых функций, реализуемых MES-системами. [15]

Описание этой модели легко превратить в требования, при этом существенно сокращается время на корректную разработку требований, остается удалить ненужные и добавить дополнительные требования к системе.

На основании списка требований был сделан вывод, что все функции модели MESA-11 нужны (в процессе дальнейшей проработки конкретная реализация этих функций была уточнена). Кроме этого, было сформулировано дополнительное требование к оптимизации технологического процесса (которое точно не входит в MESA-11), а также дополнительные требования к технической диагностике оборудования, и к мониторингу производства (специфические возможности ввода информации оператором посредством мобильной связи).

Сам процесс управления требованиями достаточно сложен и распространяется от корпоративного уровня до операционного (в цехе), относится как к системе в целом, так и к каждой подсистеме в целом. Более того, прежде чем приступить к требованиям, нужно разобраться с потребностями, которые затем необходимо правильно преобразовать в требования. К этому также нужно добавить, что в процессе выработки требованиями происходит переход из проблемной области в области решений, затем в область решений, и наоборот.

Инжиниринг (инженерия) требований является важнейшей частью системного инжиниринга. Проблемы в работе с требованиями ведут к излишним доработкам и переделкам, плохому качеству, задержкам и провалу проектов. Известно, что более 80% разработок заканчиваются плачевно только из-за неудовлетворительного формирования требований, их анализа и управления ими, и почти 80% ошибок в разработку вносится на стадии формирования требований.

В заключение, можно отметить, что, несмотря на кажущуюся сложность этого процесса, если его сделать добросовестно, в дальнейшем получается ощутимая выгода от отсутствия ошибок в разработке.

Концептуальная разработка. Разработка и анализ требований (один из элементов общего процесса управления требованиями) – это основная, но не единственная часть этапа концептуальной разработки.

Концептуальная разработка (conceptual design), в свою очередь, - первая стадия в фазе приобретения (acquisition phase). Эта стадия, возможно, самая важная из всех других, поскольку на ней происходит развертывание системных определений от коротких утверждений о потребности в функциональную структуру, описание которой может занимать сотни страниц.

Концептуальная разработка обычно является сферой ответственности покупателя, вовлеченного в эту деятельность. Рис. 2. иллюстрирует 5 главных шагов (заданий), выполняемых на этой стадии, включая формулирование требований правообладателя (stakeholder), анализ осуществимости, анализ требований, синтез системы и обзор системной разработки.

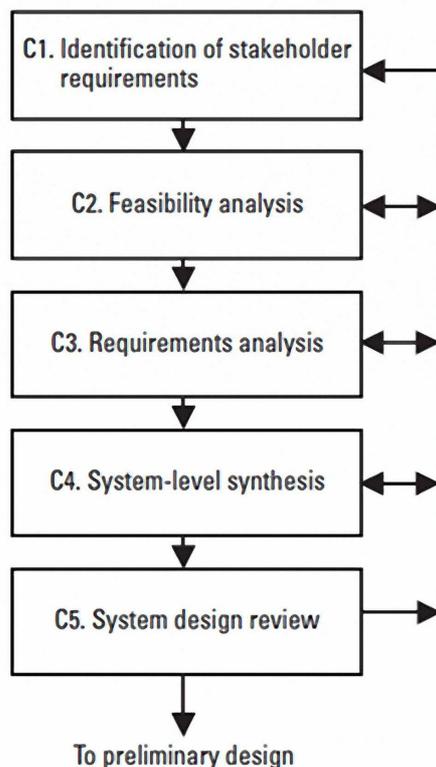


Рис. 2. Пять главных заданий на стадии концептуального проектирования [7]

Фокусирование на жизненном цикле. Главнейшим объектом, с которым работает системная инженерия в конкретном сложном техническом проекте, является жизненный цикл разрабатываемой системы (изделия). Жизненный цикл системы начинается с объявления потребности и заканчивается выводом ее из употребления. Нет никакого официально утвержденного соглашения, сколько фаз (стадий) должно быть в жизненном цикле системы, а также о том, как они должны называться. Так, стандарт MIL-STD-499В выделены следующие последовательные фазы и виды деятельности (рис. 3.) Такое разделение фаз жизненного и видов деятельности жизненного цикла очень популярно в учебниках по системному инжинирингу.

В базовом российском стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» (так же, как и в аналогичном международном) рекомендовано выделять 6 стадий жизненного цикла, как наиболее часто встречающихся на практике [8]:

1. *Стадия замысла.* Цель этой стадии - оценка новых возможностей в деловой сфере, разработки предварительных системных требований и осуществимых проектных решений.

2. *Стадия разработки.* Цель - создание такой рассматриваемой системы, которая удовлетворяет требованиям приобретающей стороны и может быть создана, испытана, оценена, применена по назначению, поддержана при применении и списана.

3. *Стадия производства.* Цель - производство или изготовлении продукта, испытании продукта и производстве соответствующих необходимых поддерживающих и обеспечивающих систем.

4. *Стадия применения.* Цель - использовать продукт, предоставлять услуги в заданных условиях функционирования и гарантировать продолжительную результативность.

5. *Стадия поддержки применения.* Осуществление материально-технического снабжения, технического обслуживания и текущего ремонта, которые обеспечивают непрерывное функционирование рассматриваемой системы и устойчивое предоставление услуг, поддерживающих ее применение.

6. *Стадия прекращения применения и списания.* Цель - обеспечение удаления рассматриваемой системы и связанных с ней обслуживающих и поддерживающих служб из среды применения, непосредственного оперирования самой списываемой системой и поддержка процесса ее изъятия и списания.

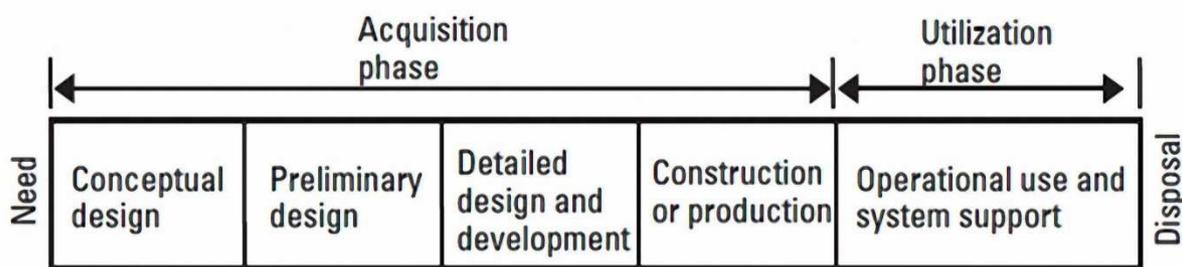


Рис. 3. Жизненный цикл системы [7]

При фокусировании на жизненном цикле необходимо подчеркнуть, что при разработке таких систем, как управление станочным парком, зачастую не принимают во внимание весь жизненный цикл системы. Например, разработчики могут не учитывать того, что со временем станочное оборудование может устаревать, выводиться из эксплуатации, устройства, используемые для передачи информации между станком и управляющей системой, могут заменяться на более современные. Если не предусмотреть

это при разработке системы, то тогда каждый раз систему придется дописывать/переписывать, держать штат программистов. Хотя, если предусмотреть такие возможности заранее, можно этого избежать. Например, выставив требование к интерфейсу обмена информацией между любыми элементами системы. Здесь также в помощь приходит стандарт от MESA ISA-95, где такие требования уже описаны. Так что фокусирование на жизненном цикле – это не просто лозунг и пустые слова.

В итоге, на стадии разработки было принято решение, что функционально интегрированная адаптивная система контроля и оперативного управления производительностью станочного парка предприятия должна состоять из следующих подсистем:

- Оперативное планирование производства
- Диспетчеризация и управление производством
- Мониторинг производства
- Контроль и оптимизация технологического процесса
- Техническая диагностика оборудования

Здесь можно упомянуть о еще одном принципе системного инжиниринга – оптимизация и баланс системы. Известно, что комбинация хорошо оптимизированных подсистем не обязательно приводит к оптимизированной системе. Системный инжиниринг обеспечивает оптимальную производительность на системном уровне. Это означает, реализация данных подсистем должна обеспечить оптимальное функционирование всей системы в целом.

Альтернативный способ к разработке аналогичных систем управления. В книге [13], путеводителю по MES для CIO, рекомендуется использование V-модели от GAMP (Good Automated Manufacturing Practice) при внедрении MES. В течении многих лет GAMP является общепринятой методологией для реализации проверенных (validated) управляющих систем. Разработка GAMP была инициативой ISPE (International Society for Pharmaceutical Engineering) для того, чтобы иметь единую, стандартную интерпретацию крайне абстрактных нормативных документов. Это строгий метод, с обширной документацией и проверочными мероприятиями. Новая фаза может начаться только после того, как предыдущая фаза полностью завершена и обеспечена гарантия качества (QA). Требуется прослеживаемость как вперед, так и назад. Когда на фазе проектирования пользовательское требование не будет удовлетворено полностью, весь фрагмент (пользовательское требование, функциональная спецификация, спецификация на разработку) должен быть переработан. Для компаний,

которые не должны подчиняться жестким нормативным документам, все эти предписания и процедуры тестирования казались слегка избыточными.

Несмотря на эти строгие правила, V-модель от GAMP и ее терминология полезны для определения фаз MES-проекта. Можно воспользоваться упрощенной версией, если индустриальная компания не подлежит жесткому регулированию, т.е. использовать только наименования фаз и терминологию GAMP, без следования жестким правилам GAMP для проведения проверок и обеспечения качества.

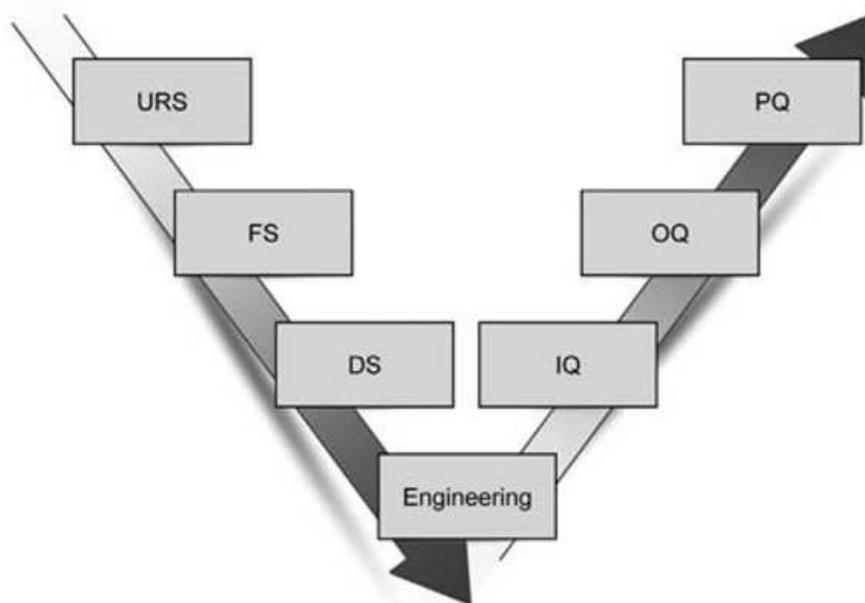


Рис. 4. V-модель от GAMP [13]

Эта известная модель от GAMP (рис. 4) разъясняет, что любой проект автоматизации различные фазы. На первой клиент определяет пользовательские требования (URS), далее вендор пишет функциональные спецификации (FS), затем переходит к спецификациям разработки (DS). После того, как произошла разработка по спецификациям, следует несколько квалификационных (подтверждающих) фаз – установочная (installation, IQ), где проверяется, что все оборудование соответствует спецификациям и установлено, далее – операционная (operational, OQ), и, наконец, - выполнимости (performance, PQ)

Очевидно, что это один из вариантов системных подходов - "сверху-вниз" и "снизу-вверх" (см. рис.1), т.е. в книге [13] системный инжиниринг используется неявно.

Общая схема системного инжиниринга и выгоды от его использования. Для лучшего понимания и реализации подхода на основе системной инженерии полезно воспользоваться общей схемой системного инжи-

инжиниринга, которая иллюстрирует взаимосвязи между его тремя главными элементами: процессы системной инженерии, управление системной инженерией и инструменты системной инженерии, а также место родственных инженерных дисциплин (Рис.5).

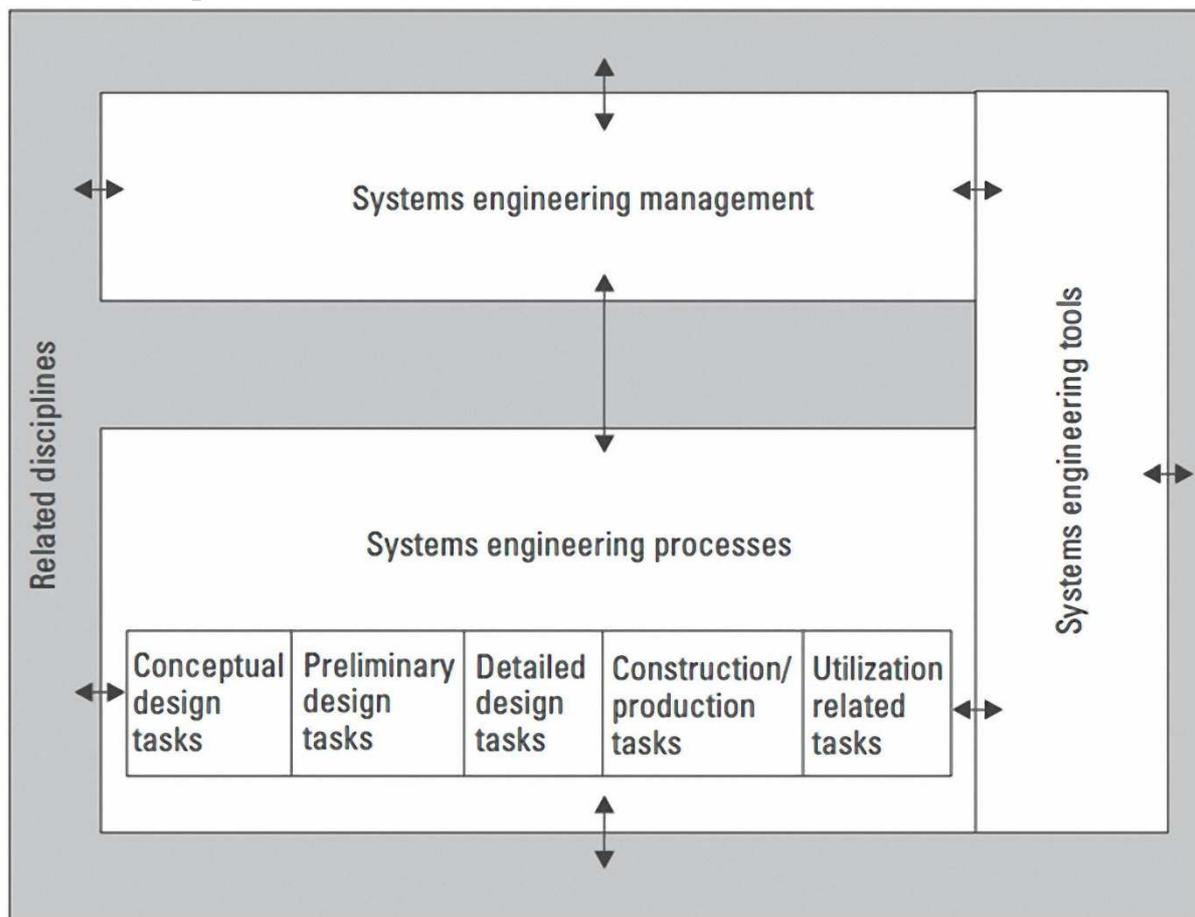


Рис. 5. Общая схема системного инжиниринга [7]

Зачастую понятия "управление системным инжинирингом" и "процессы системного инжиниринга" рассматриваются как взаимозаменяемые, однако их следует разделять. Процессы системного инжиниринга ответственны за вопросы "как", ответы на которые создают фундамент для инженерных разработок. Над этими процессами располагается функция управления системным инжинирингом, которая ответственна за направления в инженерных разработках, мониторинг и выдачу отчетов об этих разработках в соответствующих областях, а также за пересмотр и аудирование разработок на критически важных стадиях во всем процессе. Оба эти элемента поддерживаются большим набором инструментов системного инжиниринга, а все три элемента взаимодействуют с такими родственными дисциплинами, как традиционное конструирование, управление проектами, поддержкой интегрированной логистики и обеспечение качества. [7]

Хочется надеяться, что комплексное применение этих методов позволит перейти к новому качеству разработок и выйти в авангард мировых рынков с конкурентоспособной продукцией.

К сожалению, приходится двигаться в логике «догоняющего» развития и только сейчас приступать к использованию глобальных стандартов и практик эффективного проектирования и производства, информационных системы, ряда областей дизайна и инженерии, давно уже хорошо известные и применяющиеся на Западе.

Видимо, именно отставанием в этой сфере объясняются столь немногочисленные примеры успешных внедрений программно-технических систем на российском производстве. И в целом конкурентоспособность систем, создаваемых отечественными специалистами в последние годы, имеет тенденцию к снижению. По мнению экспертов, причина такого положения дел в значительной мере определяется недостатками отечественного образования в системной инженерии. [16]

По данным INCOSE, 8% затрат на внедрение системной инженерии дают выигрыш в 20% стоимости проектов, и на 50% увеличивают вероятность окончания проекта в срок. Это достигается через введение общего языка, описывающего проект и сознательный сдвиг усилий на ранние стадии проекта, где цена ошибки экспоненциально меньше.

Применение системного инжиниринга позволяет решать сложнейшие задачи при сокращении сроков и стоимости разработок в 2 раза, снижении ошибок в КД в 3-5 раз. [17]

По другим данным, неиспользование системного инжиниринга ведет к тому, что только 28% проектов отвечают запланированным срокам и бюджету. Более 45% бюджета на разработку может «уйти» на исправление и переделки. От 35 до 50% общего объема работ тратится на исправление ошибок в дизайне. Исправление ошибок, обнаруженных на этапе эксплуатации, обходится в 200 раз дороже ошибок, обнаруженных на ранних этапах. [1]

Есть и другие, качественные, преимущества от системного инжиниринга [17]:

- Декомпозиция, разбиение сложной проблемы на более простые позволяет легче найти решение и четко сформулировать задачи для каждого сотрудника.

- Декомпозиция времени, разбиение проекта на фазы с указанием конкретных результатов позволяет эффективно контролировать процесс разработки, измерять эффективность и вовремя применять корректирующие меры.

- Декомпозиция продукта, разделение самых сложных продуктов на системы, сегменты, элементы сборки, под сборки и части позволяет эффективно управлять конфигурацией и поставщиками.

Декомпозиция действий с последующей интеграцией позволяет определить четкую последовательность необходимых действий: требования, спецификация, декомпозиция, проект, интеграция, эксплуатация, вывод из эксплуатации.

Объединение компьютеров, станков и персонала («смешались в кучу кони, люди») – это под силу только системному инжинирингу, по моему мнению. Использование стандартов системного инжиниринга и MESA способствуют эффективной разработке системы управления станочным парком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boris Morozov, Sergei Rudnitckii, Rustem Sabitov, Gulnara Smirnova, Bulat Sirazetdinov, Shamil Sabitov "System of adaptive control and operational management of machine-tool fleet of the manufacturing enterprise" - 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM 2015

2. Шваб Клаус «Четвертая промышленная революция» - М.: "Эксмо", 2016 – 208 с.

3. А.Барсков "Промышленный интернет вещей. Готовы ли сети?" (Дата публикации 28.12.2016) [Электронный ресурс] URL: <https://www.osp.ru/LANspecial/2016/01/13051535/> (Дата обращения 01.04.2017)

4. В. Максимов, Д. Прудников "MES в России: проблемы и решения" // "ИСУП" 2010 №1(25)

5. Волохов, А. Системный инжиниринг [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/ru/events/presentations/9p/9p2.pdf> (Дата обращения 22.10.2016)

6. А. Левенчук "Системноинженерное мышление" (сайт TechInvestLab.ru, редакция от 2 апреля 2015г)

7. R.I. Faulconbridge and M.J. Ryan, "Managing complex technical projects: a systems engineering approach", Artech House, Inc., 2003.

8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем»

9. "Ещё раз про семь основных методологий разработки" (Дата публикации 3.11.2015) [Электронный ресурс] URL: <https://habrahabr.ru/company/edison/blog/269789/> (Дата доступа 1.04.2017)

10. Батоврин В.К. "Стандарты системной инженерии"

11. R.I. Faulconbridge and M.J. Ryan, "Systems Engineering Practice", Argos Press, Canberra, 2014

12. Аркадий Дильман "Мифы и реальность внедрения MES-систем" // "Директор информационной службы (CIO.RU)" 2012. №1

13. Bianca Scholten "MES Guide For Executives: Why And How To Select Implement And Maintain A Manufacturing Execution System", International Society of Automation, 2009

14. Элизабет Халл, Кен Джексон, Джереми Дик "Разработка и управление требованиями. Практическое руководство пользователя", 2-е изд., Telelogic, 2005

15. "MESA Model" [Электронный ресурс], URL: <http://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp>

16. "Президент Boeing в России и СНГ провёл мастер-класс в Высшей школе МФТИ" [Электронный ресурс]. URL: http://vprk.name/news/129426_sistemnyii_inzhiniring.html

17. "Магистерская образовательная программа "Прикладной системный инжиниринг" Высшей школы системного инжиниринга МФТИ" [Электронный ресурс] URL: http://se.mipt.ru/wp-content/themes/academica_pro/images/slider/pres_ru/Presentation-HSSE_MIPT.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Р.Т.Сиразетдинов (КНИТУ-КАИ, 420111, Казань,

К.Маркса, 10)

E-mail: tm@tm.kstu-kai.ru

MODELING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES

R. T. Sirazetdinov (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marks str., 10)

Keywords: mathematical modeling, dynamic models, modeling of enterprises

Ведение. Данные научные исследования ведутся в рамках научной школы моделирования и управления сложными системами академика Академии наук Республики Татарстан Т.К.Сиразетдинова, которая развивается в КНИТУ-КАИ с конца 60-х годов прошлого века. На кафедре ДПУ существовала отраслевая НИЛ «Динамика и управление экономическими объектами», которая насчитывала около 50 научных сотрудников и инженеров и выполняла работы по разработке перспективных планов развития таких отраслей промышленности, как электронная промышленность и авиационная промышленность, а также отдельных предприятий этих отраслей.

На кафедре ДПУ были разработаны новые подходы к математическому моделированию производственных систем, предприятий, отраслей, экономических объектов как динамических, трансформирующихся, развивающихся систем [1-17].

Динамическое моделирование функционирования предприятия. Одним из подходов к задачам планирования и прогнозирования производственных предприятий, который развивается в последнее время, является применение *динамических моделей финансово-хозяйственной деятельности* предприятия, в основу которых положена *структура бухгалтерского учета*. В основу математической модели предприятия положена математическая модель счета, которая в алгебраическом виде описывается следующим образом:

$$S(t) = S(t - \Delta t) + U_{in}(t) - U_{out}(t) , \quad (1)$$

где U_{in} – входящий объем ресурсов, оборот по дебету за период Δt , U_{out} – выходящий объем ресурсов, оборот по кредиту за период Δt , Δt - рассматриваемый период времени.

Перенеся $S(t - \Delta t)$ в лево, разделив на Δt и, перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим непрерывную модель бухгалтерского счета:

$$\frac{dS(t)}{dt} = u_{in}(t) - u_{out}(t) , \quad (2)$$

где u_{in} – входящий поток ресурсов, u_{out} – выходящий поток ресурсов.

На рис. 1 представлена общая структурная модель функционирования предприятия на основе регистров бухгалтерского учета. Каждый блок модели на рис. 1 может быть математически представлен в приведенном выше виде. Таким образом, модель предприятия описывается в виде системы алгебраических уравнений, представляющей собой дискретную динамическую математическую модель функционирования предприятия, либо непрерывную модель функционирования предприятия в виде системы дифференциальных уравнений и линейных неравенств.

Особенностью подхода является возможность идентификации моделей по бухгалтерской отчетности, а также получения результатов на языке, понятном для экономистов и финансистов, и проведения финансового анализа деятельности предприятия.

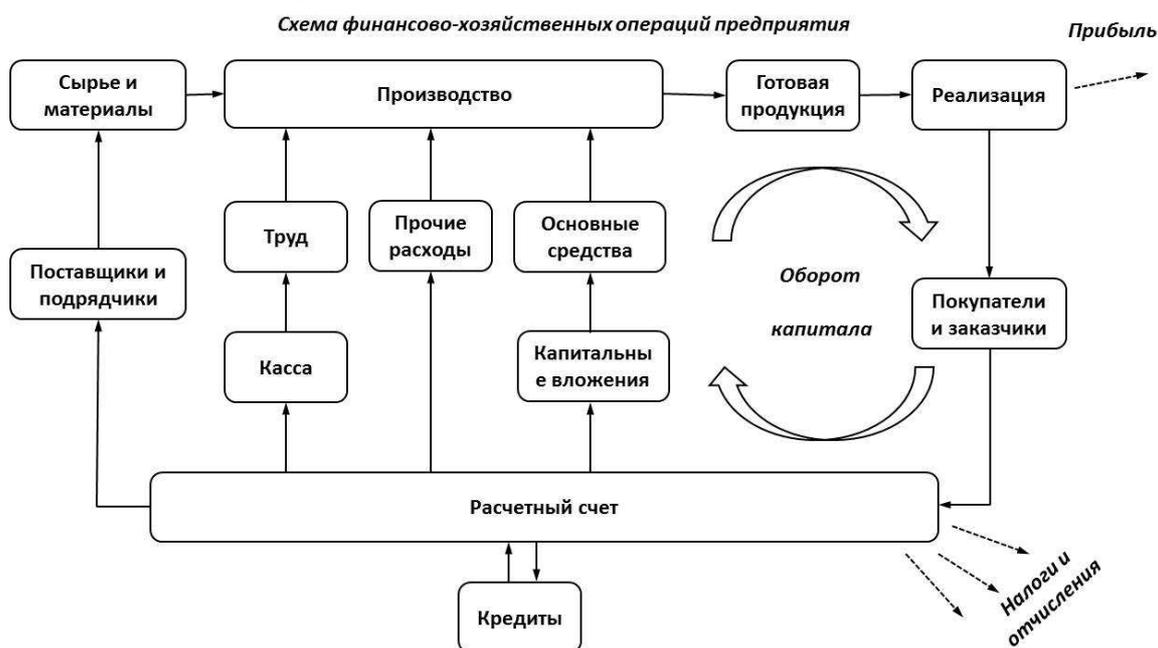


Рис. 1. Инфологическая модель финансово-хозяйственной деятельности предприятия

Типовой производственный агрегат. Для *моделирования сложных процессов*, в том числе бизнес-процессов, производственных и технологических процессов, разработан подход, так называемого, *типового производственного агрегата (ТПА)*, структурная модель которого приведена на рис. 2.

В рамках рассматриваемой проблемы основным исследуемым процессом является процесс производства. Рассмотрим отдельные блоки.

Блок «Выход», характеризующий результат выполнения процесса, определяет требования ко всем остальным блокам производственного агрегата. Выход определяется выпускаемой продукцией. Задаются требуемые характеристики выпускаемой продукции, основной из которых является объемы выпуска, рыночные цены и сроки выполнения заказа, которые существенно влияют на устойчивость предприятия и тянут за собой требования к остальным блокам производственного агрегата. Переход к новым видам продукции, обеспечивающий процесс развития предприятия также определяется этим блоком.

Блок «Вход» представляет собой процесс организации поставки сырья, материалов, комплектующих. К нему относятся процессы закупок, происходящие в подразделениях снабжения. Стабильность этого блока также существенно влияет на устойчивость предприятия.

Блок «Основные средства» представляет предприятие как единый производственный механизм, т.е. средство, с помощью которого осуществляется производственный процесс. Модернизация этого механизма определяет основные направления развития предприятия.

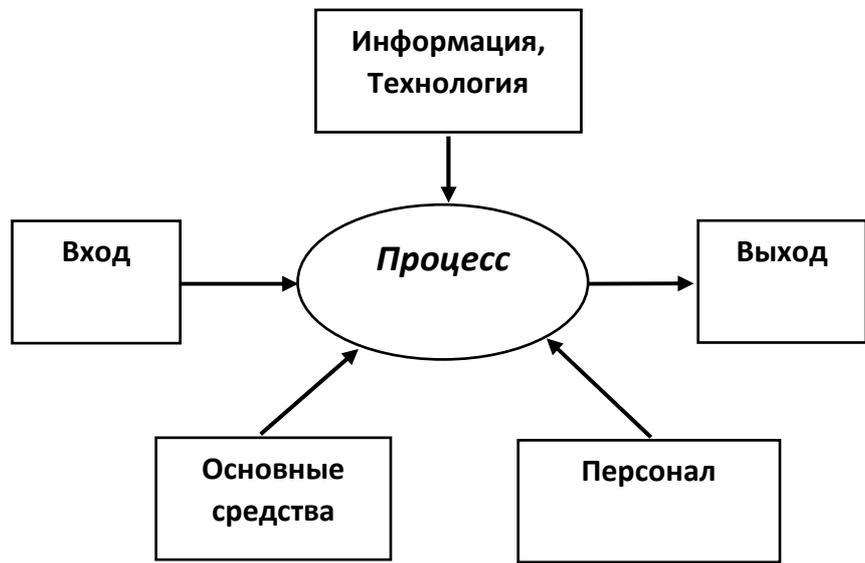


Рис. 2. Типовой производственный агрегат

Блок «Персонал» представляет собой персонал предприятия, который можно разбить на категории рабочих и служащих. Разработка и внедрение новых систем мотивирования персонала, подбор и обучение персонала оказывает существенное влияние на устойчивость и развитие предприятия.

Блок «Информация-Технологии» осуществляет общую взаимоувязку всех процессов предприятия на основе основных производственных технологий и структуры управления. Этот блок определяет как внедрение новых технологий производства, так и управления предприятием. Он предполагает совершенствование общей системы управления предприятием, внедрения автоматизированной системы управления и документооборота, внедрение современных информационных и инфо-коммуникационных технологий, включая облачные вычисления.

Нами разработаны методы математического моделирования каждого блока и их взаимной увязки. Особенностью данного подхода является то, что данная структура ТПА свойственна как отдельным рабочим местам, так и производственным участкам, цехам, и предприятию в целом. Это позволяет собирать математические модели высокого уровня из моделей более низкого уровня, при этом структура модели остается прежней.

Математическая *модель взаимосвязанных производственных агрегатов* представляет собой систему алгебраических уравнений типа *балансовой модели Леонтьева*. При этом, добавление новых производственных агрегатов может нарушать общий баланс и требует увеличения мощностей отдельных инфраструктурных объектов. Математический анализ модели предприятия как дискретной динамической системы позволяет оценивать изменение степени продуктивности балансовой матрицы при структурном изменении системы. На основании этого имеется возможность оценки эффективности использования той или иной технологии и синтеза инфраструктуры предприятия с этой точки зрения. Критерием эффективности является близость собственных чисел балансовой матрицы к границе круга радиусом единица на комплексной плоскости.

Устойчивое развитие. Конструктивный подход к понятию *устойчивое развитие предприятия*, заключающийся в раздельном использовании системных понятий «устойчивое» и «развитие», позволяет применить *понятия надежности* технических систем к производственным предприятиям.

Развитие предприятия может происходить только при условии выпуска новых видов продукции, выхода на новые рынки сбыта. Это сопровождается повышенными рисками. Если же предприятие придерживается старых наработанных видов бизнеса, которые обладают определенной надежностью, устойчивостью, то, со временем, рентабельность этого бизнеса снижается. Принцип устойчивого развития предприятия заключается в создании такого сочетания старого стабильного и нового рискованного бизнеса, чтобы предприятие развивалось, осваивая новые рынки, но при этом оставалось устойчивым, надежным.

Для описания надежности бизнеса применим методы теории надежности технических систем. Как известно, интенсивность отказов технических систем имеет вид, приведенный на рис. 3.

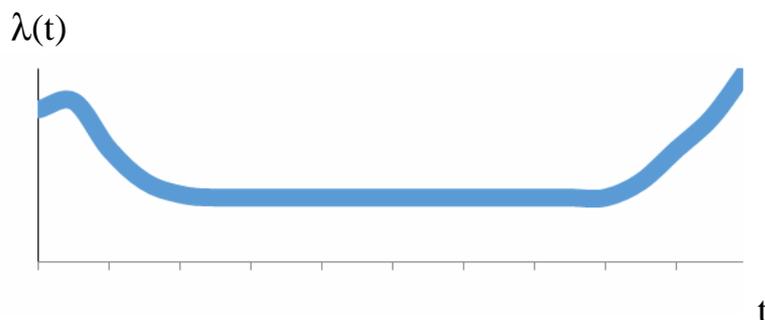


Рис. 3. Интенсивность отказов системы

Как видно из графика, имеется начальный период, где наблюдается большая интенсивность отказов, связанная с приработкой элементов системы, затем идет длительный процесс стабильной работы системы, а в конце жизненного цикла снова интенсивность отказов возрастает.

Эти же тенденции наблюдаются и при функционировании предприятий. Имеется начальный период, когда риски потери бизнеса достаточно велики, затем идет более или менее стабильный период, а затем, начинается «старение» бизнеса, и риски резко растут. До наступления этого момента для обеспечения развития предприятия необходимо запустить производство нового вида продукции. Тогда на предприятии параллельно протекают два процесса: один - стабильный, связанный со старым производством, достаточно надежный, но не имеющий будущего, и второй - инновационный, имеющий достаточно большие риски, но обладающий большими перспективами. Риски предприятия складываются из рисков этих двух процессов, и ставится задача гармоничного сочетания этих двух процессов, обеспечивающего, с одной стороны, достаточную общую надежность работы предприятия, а, с другой, развития инновационной составляющей.

Разрабатываемые на кафедре ДПУ подходы позволяют на основе динамического моделирования оценивать риски отдельных бизнесов, развиваемых на предприятии и определять общую, суммарную надежность функционирования предприятия, как критерий устойчивого развития.

Задачи анализа и прогнозирования. Описанные выше, а также ряд других подходов к математическому моделированию и управлению различными аспектами деятельности предприятия, разрабатываемых на кафедре ДПУ, позволяют решать следующие задачи прогнозирования и анализа функционирования производственного предприятия.

1. Прогнозирование функционирования и анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Строится динамическая математическая модель финансово-хозяйственной деятельности предприятия на основе структуры бухгалтерского плана счетов, представляющая собой систему дифференциальных (либо разностных) уравнений и линейных неравенств. Задавая различные возможные условия сбыта, снабжения, ценовой политики и т.п., на основе решения системы дифференциальных уравнений, строятся варианты прогнозных траекторий состояния предприятия за требуемый период. Это позволяет обоснованно принимать оперативные управленческие решения. При этом связь моделей с системой бухгалтерского учета позволяет, с одной стороны, легко идентифицировать модели по бухгалтерской отчетности предприятия, с другой стороны, специалистам-экономистам удобно интерпретировать результаты моделирования для проведения финансового анализа.

2. Прогнозирование и анализ рисков предприятия.

На первом этапе оцениваются вероятности возникновения тех или иных неблагоприятных ситуаций, внешних по отношению к предприятию, либо внутренних. Далее, на основании результатов динамического моделирования функционирования предприятия в условиях реализации неблагоприятной ситуации, оценивается степень влияния ее на результаты деятельности предприятия, например, по критерию возможного банкротства, либо по возможному материальному ущербу. Таким образом, вычисляются соответствующие риски предприятия, что позволяет своевременно осуществлять контрмеры по снижению этих рисков.

3. Прогнозирование устойчивого развития предприятия на основе оценки надежности бизнеса.

Под устойчивым развитием предприятия понимается постепенная замена «старого», устойчивого, но уже не столь эффективного бизнеса на новый (инновационный), более эффективный, но и более рисковый, с обеспечением в течение переходного периода приемлемой степени совместных рисков, т.е. надежности функционирования предприятия. На основе динамического моделирования определяются риски вновь развиваемого бизнеса и старого, устойчивого бизнеса. Далее оценивается суммарная надежность функционирования предприятия и принимается решение о целесообразности запуске нового бизнеса.

4. Прогнозирование и анализ развития предприятия.

Здесь под *развитием* предприятия, в отличие от функционирования, понимается изменение структуры станочного парка, оборудования, инфраструктурных объектов, которые приводят к изменению (развитию) произ-

водственной мощности предприятия. Предприятие моделируется как сложная трансформирующаяся система. Каждая единица оборудования имеет свою производственную мощность, из которых и складывается мощность предприятия в целом. Для многопродуктовых производств мощность представляет собой некоторое *множество* в *пространстве* выпускаемой продукции, которое эволюционирует во времени, описывая развитие предприятия. Динамическое моделирование развития предприятия позволяет прогнозировать изменение производственной мощности предприятия в зависимости от вариантов инвестирования, т.е. закупки тех или иных видов оборудования или развития инфраструктуры предприятия. Таким образом оцениваются требуемые инвестиции и возможные сроки выхода предприятия на новые производственные мощности и новые виды выпускаемой продукции, новые рынки сбыта.

5. Анализ и синтез мощности инфраструктуры предприятия.

Введение в строй новых производственных объектов, станков, оборудования, зданий и сооружений на предприятии требует наличие соответствующей инфраструктуры, например, подвод электроэнергии, сжатого воздуха, пара, производственных площадей и т.п. Для моделирования мощности инфраструктуры применяется балансовая модель, математический анализ которой также позволяет оценивать эффективность того или иного оборудования, инфраструктурного объекта. На основе математического моделирования мощностей инфраструктуры предприятия и составления модели вновь вводимого оборудования определяется, достаточно ли мощности имеющейся инфраструктуры предприятия для ввода в эксплуатацию нового оборудования. А в случае, если не достаточно, то определяется требуемая дополнительная мощность и состав дополнительного оборудования.

6. Анализ и синтез мощности персонала предприятия.

На основе ведения базы данных компетенций персонала предприятия моделируется мощность персонала подразделений и предприятия в целом. При появлении новых заказов на предприятии осуществляется оценка возможности выполнения их с точки зрения наличия компетенций у персонала и достаточности мощности персонала подразделений, участвующих в выполнении нового заказа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиразетдинов Т.К. Динамическая модель прогнозирования и оптимальное управление экономическим объектом// Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 1972, №4. С.32-38.

2. Сиразетдинов Т.К., Джаксыбаев С.К. Динамическая модель взаимодействующих экономических объектов // Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 1974, №1. С.25-30.
3. Сиразетдинов Т.К. Сложные системы и задача аналитического проектирования. I, II // ИВУЗ авиационная техника, 1980. № 4. С. 59-64. 1981. № 2. С.51-55.
4. Сиразетдинов Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М. Машиностроение 1988г. 160с.
5. Сиразетдинов Т.К. Динамическое моделирование экономических объектов // ФЭн, 1996.
6. Сиразетдинов Р.Т. Математическое моделирование мощности инфраструктуры сложных систем. // Известия академии наук. Теория и системы управления, 1998. N 3, с.96-104.
7. Сиразетдинов Т.К., Родионов В.В., Сиразетдинов Р.Т. Динамическое моделирование экономики региона. ФЭн Академия Наук РТ, 2005.
8. Р.Т. Сиразетдинов. Методы формализации функционирования и развития сложных трансформирующихся систем. В сб. Системный анализ в проектировании и управлении: Труды VIII Междунар. науч.-техн. Конф. СПб.: Изд-во "Нестор", 2004, с.109-110.
9. Ершов К.В., Кушарев А.А., Сиразетдинов Р.Т. Виртуальное предприятие по реализации ремонтных технологий на технологическом оборудовании. - Изв. вузов "Авиационная техника". Казань, 2005, N 4, с.54-56.
10. Сиразетдинов Т.К., Сиразетдинов Р.Т. Проблема риска и его моделирование. Проблемы человеческого риска, научный журнал. ИПР, Казань – М., №1, 2007, с.31-44.
11. Сиразетдинов Р.Т., Бражкина А.А. Универсальная структурная модель типового экономического кластера // Управление большими системами. Выпуск 29. М.: ИПУ РАН, 2010. С.152-166.
12. Сиразетдинов Р.Т., Еникеев И.А. Структурная схема динамической экономико-математической модели предприятия на основе бухгалтерского плана счетов. // «Общество, государство, личность: Проблемы взаимодействия в условиях рыночной экономике». // VII межвузовская научно-практическая конференция, Казань, 2006. С.224-226.
13. Сиразетдинов, Р.Т. Математическое моделирование функционирования конвейерной линии / Р.Т. Сиразетдинов, Т.К. Сиразетдинов, Р.А. Сабитов, Ш.Р. Сабитов // Вестник КГТУ. – Казань: КГТУ, 2010. – № 1. – С. 155–162.
14. Сиразетдинов Р.Т. Ризаев З.И. Алгоритмы оценки выполнимости проекта и распределения заданий на основе математического моделирования компетенций работников. Нелинейный мир. 2012. Т. 10. № 5. С. 317-321.

15. Сабиллов А.Р., Сиразетдинов Р.Т. Определение приоритетных направлений применимости новых технологий при планировании и развитии инфраструктуры космической обитаемой станции. В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 582-585.

16. R T Sirazetdinov, A V Samodurov, I A Yenikeev and D S Markov. "Dynamic model of production enterprises based on accounting registers and its identification", Published under licence by IOP Publishing Ltd , IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 134, conference 1.

17. R. T. Sirazetdinov, A. V. Samodurov, A. N. Khusnutdinov, E. N. Tarchinskaya. Sustainable Development of Manufacturing Enterprises Based on Structural, Infological and Dynamic Modeling. 10-th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. 12-14 october 2016, Baku, Azerbaijan.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО
ПОВЫШАТЬ ТОЧНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ
В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

О.С. Смирнова (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, ул. К. Маркса, 10)

E-mail: mrsolkin@yandex.ru

**DEVELOPMENT SOFTWARE PRODUCT, ENABLING TO INCREASE
THE DETECTION ACCURACY FOR TUMORS IN THE HUMAN BODY
USING NEURAL NETWORKS**

O.S. Smirnova (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: detection, neural network, medicine, recognition

Медицина - наука вечно развивающаяся. Исследования и опыт расширяют наши познания. На сегодняшний день использование прикладной математики, статистики и информатики позволяет автоматизировать процессы и увеличивать точность диагнозов.

На сегодняшний день огромное количество людей по всему миру страдает от раковых заболеваний. Широкую популярность обретает сканирование тела человека при помощи КТ (Компьютерной томографии) и МРТ (Магнитно-резонансной томографии).

Основное отличие КТ и МРТ состоит в разных физических явлениях, которые используются в аппаратах. В случае КТ – это рентгеновское излучение, которое дает представление о физическом состоянии вещества, а при МРТ – постоянное и пульсирующее магнитные поля, а также радиочастотное излучение, дающее информацию о распределении протонов (атомов водорода), т.е. о химическом строении тканей.

Иногда результаты КТ могут отличаться от результатов других исследований с использованием рентгеновского излучения как, например, УЗИ или МРТ, поскольку сканирование дает картинку в другом ракурсе.

Используя полученную информацию и анализируя снимки, я определяю зоны, которые исследую при помощи методов определения размеров новообразований на органах человека. На снимках, полученных при обследовании МРТ, определяем границы образования, изучая, в какой зоне оно расположено. Для анализа снимков я использую фильтрацию изображений, а также методы подавления шумов изображения.

Для своего исследования я использую ряд методов для выявления размеров новообразований. Методы фильтрации, сегментации и обнаружения объектов.

Также один из методов анализа - это метод экспертных оценок. Процедура получения оценки проблемы основана на мнениях специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения (выбора). Данный метод обучает программу для дальнейшей автоматизации процесса распознавания, а также уменьшения количества ошибок распознавания.

Автоматическое обнаружение новообразований помогает обнаружить и все потенциальные образования на органах человека.

Основные проблемы, получаемые в ходе работы с изображением: контуры не обязательно замкнуты, возможны скрытые слои, зашумленность, однородность.

Текстура изображения может быть однородна по яркости и степени «шумности», а значит однородна для зрительного восприятия человеком. Но при этом, разные участки могут обладать различными значениями статистик более высокого порядка. А значит, программно можно построить границу между областями, которая не видна человеку. Данная технология применяется в диагностике рака лёгких для поиска границы между опухолью и здоровой но сжатой тканью лёгких (ателектаз).

Главной проблемой остается выявление скрытых границ. Снимки КТ и МРТ представляют собой черно-белые снимки, за частую они могут быть слабого качества. Скорее всего процент ошибки определения новообразования на подобном снимке будет велик, да и если наложить еще к этому человеческий фактор, то велика вероятность пропустить опасное новообразование. Компьютерная программа исключает моменты «усталости» или банальных ошибок, такие как невнимательность, и представляет собой выделение наиболее подозрительных участков снимка, где в явном или неявном виде будет видна опухоль.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Три шага в процессе выделения контуров: это фильтрация, усиление и выделение.

Фильтрация применяется, если изображения были повреждены шумом, импульсными помехами и Гауссовским шумом. Так же учитывается компромисс между прочностью края и снижением уровня шума при фильтрации.

Усиление подчеркивает пиксели там, где существует значительное изменение в локальной интенсивности и обычно выполняется путем вычисления градиента

Выделение. У многих точек на изображении есть ненулевое значение градиента, и не все из этих точек - края для заданного изображения. Пороговая обработка используется для обнаружения граничных точек.

Различные методы обнаружения края используются в операторах Собеля, Прюитта, Робертса, Кэнни, Лапласиана Гаусса, EM алгоритме, OSTU и генетическом алгоритме.

В сегментации изображения используются порождающие модели для того, чтобы решить, какую часть изображения занимает объект. Активная Модель Появления (AAMs) используется в качестве порождающих объектов и решает проблему объединенного обнаружения и сегментации объектов в изображениях [1,5]. Относительно распознавания каждая объектная гипотеза проверена на основе области изображения, присвоенной объекту, а также предполагаемые параметры модели, которые указывают на появление объекта. С одной стороны, знание области, занятой объектом, необходимо для оценки параметров модели, а, с другой стороны, - чтобы присвоить наблюдения модели. Так как ни один не известен заранее, мы не можем решить каждую проблему отдельно. Эта задача рассматривается как часть более широкой проблемы оценки параметра с недостающими данными. Известный инструмент для решения таких проблем - это алгоритм EM. Алгоритм Expectation-maximization (EM) используется для поиска максимального правдоподобия оценки параметров в вероятностных моделях, где модель зависит от ненаблюдаемой скрытой переменной. Для того чтобы найти оценки максимального правдоподобия мы должны найти плотность вероятности функции логарифмического правдоподобия.

Различные методы нахождения порогов:

- методов на основе формы гистограммы;
- методы кластеризации;
- методы на основе энтропии;
- объектный метод на основе атрибутов;
- пространственный метод;
- локальные методы.

Основная проблема порога заключается в том, что рассматривается только интенсивность, а не отношения между пикселями. Нет гарантии, что пиксели будут идентифицированы. А значит мы снова столкнемся с проблемой скрытого слоя.

Шаги алгоритма OTSU (для каждого потенциального порога T):

- Разделение пикселей на два кластера согласно порогу.
- Нахождение среднего значения для каждого кластера.
- Задание различной квадратной формы между средствами.

Умножение на число пикселей в кластере на число в другом.

Генетические алгоритмы можно рассматривать как программные средства, которые пытаются найти структуру данных, которая может показаться случайной или сделать, казалось бы, неразрешимую проблему более или менее разрешимой.

Генетический алгоритм может быть применен к областям где недостаточно данных и / или сложность слишком высока для аналитического решения.

В основном генетический алгоритм состоит из трех главных операций: выбор, перекрестное соединение, и мутация. Оценивается каждый выбор по отдельности и хранятся только самые подходящие данные. В дополнение полученному множеству некоторые менее подходящие значения могли быть выбраны соответственно с маленькой вероятностью. Другие - удалены из текущего множества.

Происходит перекрестный обмен данными для формирования более подходящих множеств. Оператор мутации вызывает изменения в небольшом количестве модулей хромосом. Его цель состоит в том, чтобы поддержать объекты множества для разностороннего развития достаточно во время процесса оптимизации.

Генетический алгоритм основан на следующих основных принципах:

- Воспроизведение
- Соответствие
- Перекрестное соединение
- Мутация

Алгоритмы кодирования перекрестного соединения как обмен битами, больше похожи на одиночную точку мутации, чем на «реальное перекрестное соединение», или нескольких битов (используемые в генетическом программировании) и различие между двумя родителями (строки битов, но называемые хромосомами в терминологии генетического алгоритма), кто идентичен, два различных родителя или родитель-одиночка. Во всяком случае, процесс имеет следующую процедуру:

4. Выбирается две битовые строки (хромосомы), или в случае генетического программирования: выбирается часть каждого родителя.

5. Удаляется хромосома (или часть) в конкретном месте.

6. Меняется местами бит/ветви двух родителей.

Но также возможна проблема появления артефактов после получения и обработки снимков. В связи с этим может возникнуть обнаружение незакрытых контуров, которые будут влиять на определение новообразований.

С данной задачей как раз должна помочь справиться нейронная сеть. Благодаря ей, будет представлена обучаемая база, в ходе которой нейронная сеть должна будет игнорировать подобные контуры, сбивающие специалиста в определении диагноза.

Было выяснено, что использование нейронных сетей в распознавании образов имеет не только ряд существенных преимуществ перед сравнением, но и недостаток: ИНС необходимо обучать, а этот процесс занимает большую часть времени. Это является целесообразным, когда входные данные имеют заранее предполагаемые вариации своих значений и их количество велико.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Iasonas Kokkinos, and Petros Maragos (2009), "Synergy between Object Recognition and image segmentation using Expectation and Maximization Algorithm", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), Vol. 31(8), pp. 1486-1501, 2009.

2. Magnetic Resonance Imaging, T. Vlaardingerbroek, Springer, 1996

3. Успехи физических наук, В.А. Ацаркин, 1981

4. Магнитный резонанс в медицине, П.А.Ринк, Лондон, 1993

5. Y.Ramadevi, B.Kalyani, T.Sridevi(2010), " Synergy between Object Recognition and Image Segmentation", International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 02, No. 08, 2010, 2767-2772.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА

С.В. Солодуша (ИСЭМ СО РАН им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Россия,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130)
E-mail: solodusha@isem.irk.ru

NUMERICAL SOLUTION OF POLYNOMIAL VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS

S. V. Solodusha (Melentiev ESI SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontov str., 130)

Keywords: automatic control, nonlinear dynamics, polynomial Volterra in-tegral equations, Newton-Kantorovich method.

Введение. Полиномиальное (N -степенное) уравнение Вольтерра I рода

$$\sum_{m=1}^N \int_0^t \dots \int_0^t K_m(t, s_1, \dots, s_m) \prod_{i=1}^m x(s_i) ds_i = y(t), \quad t \in [0, T], \quad (1)$$

где $x(t)$ – скалярная функция времени, возникает в приложениях при моделировании систем автоматического управления на базе полиномов Вольтерра. Переходные характеристики K_m , симметричные по переменным s_1, \dots, s_m , и отклик $y(t)$ в (1) считаются известными. Одна из типичных задач автоматического управления динамическим объектом типа черного ящика при отсутствии обратной связи – определение входного сигнала $x(t)$, которому соответствует заданный (желаемый) отклик $y(t)$.

При $N = 1$ вместо (1) имеем стандартное линейное уравнение Вольтерра I рода

$$\int_0^t K_1(t, s)x(s)ds = y(t), \quad t \in [0, T]. \quad (2)$$

Общеизвестно, что линейное уравнение (2) в предположении, что $K_1'(t, s) \in C_\Delta$, $\Delta = \{t, s / 0 \leq s \leq t \leq T\}$, $K_1(t, t) \neq 0$ для всех $t \in [0, T]$, $y(0) = 0$, $y'(t) \in C_{[0, T]}$, имеет единственное решение $x(t) \in C_{[0, T]}$ при любом $T < \infty$.

В работах [1, 2] дан обзор результатов в области теории уравнений вида (1) при $N = 2, 3$. Основная специфика полиномиального уравнения (1) при $N > 1$ состоит в том, что его (единственное) непрерывное решение имеет локальный характер, так что величина T , вообще говоря, должна

быть достаточно малой. Применению квадратурных методов (правых и средних прямоугольников) для численного решения (1) при $N = 2, 3$ посвящены статьи [2-4].

В настоящей работе показана применимость метода Ньютона-Канторовича [5] для численного решения уравнения (1).

Постановка задачи. Для понимания специфики (1) полезно рассмотреть тестовый случай постоянных ядер, когда $K_1(t, s) = 1$, $K_i(t, s_1, \dots, s_m) = K_i$, $i = \overline{2, N}$:

$$\int_0^t x(s) ds + \sum_{i=2}^N K_i \left(\int_0^t x(s) ds \right)^i = y(t), \quad t \in [0, T]. \quad (3)$$

Замена искомой функции

$$\theta(t) = \int_0^t x(s) ds$$

позволяет переписать (3) в виде

$$\theta(t) + \sum_{i=2}^N K_i \theta^i(t) = y(t), \quad t \in [0, T]. \quad (4)$$

В [3] для исследования существования и единственности решения (3), (4) в классе $C_{[0, T]}$ введено мажорантное функциональное уравнение

$$P(\theta) \equiv \theta(t) - \sum_{i=2}^N M_i \theta^i(t) - Ft, \quad t \in [0, T], \quad (5)$$

где $\theta(0) = 0$, $M_i = |K_i| > 0$, $F = \max_{t \in [0, T]} |y'(t)| > 0$, $T < T^*$, T^* – граница области существования непрерывного решения $\theta^*(t)$.

Требуется построить алгоритм приближенного решения (5) на базе метода Ньютона-Канторовича. Как известно, итерационный метод Ньютона нахождения корней алгебраических уравнений с успехом применим для решения нелинейных интегральных уравнений (см., например, [6-8]).

Численный метод. Итерационный процесс решения (5) методом Ньютона-Канторовича имеет вид:

$$\theta_m = \theta_{m-1} - [P'(\theta_{m-1})]^{-1}(P(\theta_{m-1})), \quad m = 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где

$$[P'(\theta_{m-1})](\theta) = \theta(t) - \sum_{i=2}^N i M_i \theta_{m-1}^{i-1}(t) \theta(t).$$

Следовательно, для поправки $\Delta\theta_1(t) = \theta_1(t) - \theta_0(t)$ на первой итерации (6) имеем уравнение

$$\Delta\theta_1(t) - \sum_{i=2}^N iM_i\theta_0^{i-1}(t)\Delta\theta_1(t) = -\theta_0(t) + \sum_{i=2}^N M_i\theta_0^i(t) + Ft,$$

где $\theta_0(t)$ – начальное приближение, которое является решением линейного уравнения $\theta(t) - Ft = 0$.

Продолжая процесс, получаем последовательность приближенных решений θ_m , определяемых из уравнений

$$\Delta\theta_m(t) - \sum_{i=2}^N iM_i\theta_{m-1}^{i-1}(t)\Delta\theta_m(t) = -\theta_{m-1}(t) + \sum_{i=2}^N M_i\theta_{m-1}^i(t) + Ft,$$

где $\Delta\theta_m(t) = \theta_m(t) - \theta_{m-1}(t)$, $m = 2, 3, \dots$

Таким образом, приближение $\theta_m(t)$ находится по формуле

$$\theta_m(t) = \frac{\Phi_{m-1}(t)}{1 - \sum_{i=2}^N iM_i\theta_{m-1}^{i-1}(t)}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где

$$\Phi_{m-1}(t) = \sum_{i=2}^N (1 - i)M_i\theta_{m-1}^i(t) + Ft. \quad (8)$$

Замечание 1. Очевидно, что при использовании модифицированного метода Ньютона-Канторовича

$$\widehat{\theta}_m = \widehat{\theta}_{m-1} - [P'(\widehat{\theta}_0)]^{-1} (P(\widehat{\theta}_{m-1})), \quad m = 1, 2, \dots, \quad (9)$$

вместо (7), (8) имеем

$$\widehat{\theta}_m(t) = \frac{\widehat{\Phi}_{m-1}(t)}{1 - \sum_{i=2}^N iM_i\widehat{\theta}_{m-1}^{i-1}(t)}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (10)$$

где

$$\widehat{\Phi}_{m-1}(t) = - \sum_{i=2}^N iM_i\widehat{\theta}_{m-1}^{i-1}(t)\widehat{\theta}_{m-1}(t) + \sum_{i=2}^N M_i\widehat{\theta}_{m-1}^i(t) + Ft. \quad (11)$$

Расчетные схемы (7), (8) и (10), (11) легко обобщить на случай векторного входного сигнала $x(t) = (x_1(t), \dots, x_p(t))^T$ в (3), где для определенности $x_i(t)$ при $i = \overline{2, p}$ считаются заданными.

В частности, для $N = 2$ вместо (3) имеем

$$\left[K_1 + \sum_{i=2}^p K_{1i} \int_0^t x_i(s) ds \right] \int_0^t x_1(s) ds + K_{11} \left(\int_0^t x_1(s) ds \right)^2 = f(t), t \in [0, T], \quad (12)$$

где

$$f(t) = y(t) - \sum_{i=2}^N K_i \int_0^t x_i(s) ds - \sum_{i=2}^p \sum_{j=2}^i K_{ji} \left(\int_0^t x_i(s) ds \right) \left(\int_0^t x_j(s) ds \right).$$

Мажорантное интегральное уравнение для (12) имеет следующий вид [9]:

$$P(\theta) \equiv \left(\mathbf{1} - t \sum_{i=2}^p M_{i1} G_i \right) \theta(t) - M_{11} \theta^2(t) - \tilde{F}t - t^2 \sum_{i=2}^p \sum_{j=2}^i M_{ji} G_j G_i, \quad (13)$$

$$\tilde{F} = F + \sum_{i=2}^p M_i G_i, \quad M_i = |K_i| > 0, \quad M_{ji} = |K_{ji}| > 0, \quad G_i = |g_i| > 0,$$

$$\theta(t) = \int_0^t x_1(s) ds, \quad x_l(t) \in X_l = \{g_l e(t), g_l \in R, t \in [0, T]\},$$

где $e(t)$ – функция Хевисайда, $l = \overline{2, p}$, $1 \leq j \leq i \leq p$.

Тогда приближение $\theta_m(t)$ решения (13) в итерационном процессе (6) находится по формуле

$$\theta_m(t) = \frac{\Phi_{m-1}(t)}{\mathbf{1} - t \sum_{i=2}^p M_{i1} G_i - 2M_{11} \theta_{m-1}(t)}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (14)$$

где

$$\Phi_{m-1}(t) = -M_{11} \theta_{m-1}^2(t) + \tilde{F}t + t^2 \sum_{i=2}^p \sum_{j=2}^i M_{ji} G_j G_i, \quad (15)$$

$$\theta_0(t) = \frac{\tilde{F}t}{\mathbf{1} - t \sum_{i=2}^p M_{i1} G_i}.$$

Замечание 2. Применение схемы (9) дает расчетную формулу

$$\hat{\theta}_m(t) = \frac{\hat{\Phi}_{m-1}(t)}{\mathbf{1} - t \sum_{i=2}^p M_{i1} G_i - 2M_{11} \hat{\theta}_0(t)}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (16)$$

где

$$\hat{\Phi}_{m-1}(t) = -2M_{11} \hat{\theta}_0(t) \hat{\theta}_{m-1}(t) + M_{11} \hat{\theta}_{m-1}^2(t) + \tilde{F}t + t^2 \sum_{i=2}^p \sum_{j=2}^i M_{ji} G_j G_i. \quad (17)$$

Вычислительный эксперимент. Проиллюстрируем полученные формулы на примерах.

Пример 1. Пусть в (5) $N = 2$, $F = M_2 = \mathbf{1}$. Тогда

$$\theta^*(t) = \frac{1 - \sqrt{1 - 4t}}{2}, \quad t \in [0, T^*), \quad T^* = \frac{1}{4}.$$

Результаты расчетов по схемам (7), (8) и (10), (11) приведены в таблице 1, где $\varepsilon_\delta = \max_{t \in [0, t_k]} |\theta_m(t) - \theta^*(t)|$, $\hat{\varepsilon}_\delta = \max_{t \in [0, t_k]} |\hat{\theta}_m(t) - \hat{\theta}^*(t)|$, m – число итераций, $t_k = T^* - \delta$, $\delta = 0,03$, начальные приближения $\theta_0(t) = \hat{\theta}_0(t) = t$.

Таблица 1

m	$\theta_m(t_k)$	ε_δ	$\hat{\theta}_m(t_k)$	$\hat{\varepsilon}_\delta$
1	0,30643	$0,20366 \cdot 10^{-1}$	0,30643	$0,20366 \cdot 10^{-1}$
2	0,32572	$0,10714 \cdot 10^{-2}$	0,31977	$0,70272 \cdot 10^{-2}$
3	0,32679	$0,32934 \cdot 10^{-5}$	0,32420	$0,25921 \cdot 10^{-2}$
4	0,32679	$0,31310 \cdot 10^{-10}$	0,32582	$0,97665 \cdot 10^{-3}$

Пример 2. Пусть в (13) $p = 2, F = M_2 = M_{11} = M_{22} = M_{12} = G_2 = 1$. Тогда

$$\theta^*(t) = \frac{1 - t - \sqrt{-3t^2 - 10t + 1}}{2}, \quad t \in [0, T^*), \quad T^* = \frac{2\sqrt{7}-5}{3}.$$

В качестве начальных приближений выберем $\theta_0(t) = \hat{\theta}_0(t) = \frac{2t}{1-t}$. Расчеты по формулам (14)-(17) при $\delta = 0,007$ указаны в таблице 2.

Таблица 2

m	$\theta_m(t_k)$	ε_δ	$\hat{\theta}_m(t_k)$	$\hat{\varepsilon}_\delta$
1	0,28961	$0,27821 \cdot 10^{-1}$	0,28961	$0,27821 \cdot 10^{-1}$
2	0,31509	$0,23400 \cdot 10^{-2}$	0,30599	$0,11436 \cdot 10^{-1}$
3	0,31741	$0,19569 \cdot 10^{-4}$	0,31237	$0,50648 \cdot 10^{-2}$
4	0,31743	$0,13917 \cdot 10^{-8}$	0,31513	$0,23059 \cdot 10^{-2}$

Результаты расчетов показывают, что итерационный алгоритм с выбранными начальными приближениями сходится к точному значению $\theta^*(t)$.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-01-01425а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарцин А.С. К исследованию устойчивости решения полиномиального уравнения Вольтерра I рода // Автоматика и телемеханика. 2011. № 6. С. 95-102.
2. Апарцин А.С. Полилинейные уравнения Вольтерра I рода: элемен-

ты теории и численные методы // Известия Иркутского гос. университета. Математика. 2007. Т. 1. С. 13-41.

3. Апарцин А.С. О сходимости численных методов решения билинейного уравнения Вольтерра I рода // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. № 8. С. 1378-1386.

4. Апарцин А.С. О полилинейных уравнениях Вольтерра I рода // Автоматика и телемеханика. 2004. № 2. С. 118-125.

5. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. М.: Физматгиз, 1959.

6. Поляк Б.Т. Метод Ньютона и его роль в оптимизации и вычислительной технике // Труды ИСА РАН. 2006. Т. 28. С. 48-66.

7. Бельтюков Б.А. К решению нелинейных интегральных уравнений методом Ньютона // Дифференциальные уравнения. 1966. Т. II. № 8. С. 1072-1083.

8. Бойков И.В., Тында А.Н. Приближенное решение нелинейных интегральных уравнений теории развивающихся систем // Дифференциальные уравнения. 2003. Т. 39. № 9. С. 1214-1223.

9. Солодуша С.В. Моделирование систем автоматического управления на основе полиномов Вольтерра // Моделирование и анализ информационных систем. 2012. Т. 19. № 1. С. 60-68.

К ВОПРОСУ РЕАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНОСТИ КОНТЕНТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

И.Н. Урахчинский, А.Ю. Александров

(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: uralex86@mail.ru

ABOUT THE IMPLEMENTATION MOBILITY CONTENT OF AUTOMATED TRAINING SYSTEMS

I.N. Urakhchinskiy, A.Y. Alexandrov

(KNRTU- KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: learning system, system administration, operating and network environment, virtual machines, learning content.

В настоящее время термин E-learning (электронное, дистанционное или автоматизированное обучение) получил широкое распространение. Под дистанционным обучением понимается взаимодействие преподавателя и учащихся между собой на расстоянии, отражающее все присущие учебному процессу компоненты и реализуемое посредством инфокоммуникационных технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность.

Для организации такого взаимодействия используется специальное программное обеспечение (Системы Дистанционного обучения), которое представляет собой сложные системы управления обучением (Learning Management System) и учебным контентом (Learning Content Management System).

Популярность дистанционное обучение объясняется повышением доступности и эффективности образования при общем снижении затрат, возможностью систематизировано обучать сотрудников без отрыва от производства, использовать однажды созданный курс неограниченное количество раз любым числом сотрудников или студентов одновременно и в удобное для них время.

Как любая сложная система, обучающая система обладает множеством свойств и характеристик. Рассмотрим подробнее одно из них – мобильность. Мобильность обучающей системы следует рассматривать в двух аспектах:

Во-первых, это возможность использования всей обучающей системы или ее части (отдельных курсов) на разных аппаратных площадках, коммуникационно не связанных с друг с другом.

Во-вторых – использование контента учебного курса, созданного в среде одной обучающей системы, в других, отличных от нее по архитектуре и реализации. При этом под контентом понимается не только набор связанных учебно – методических документов, но активное содержимое обучающей системы – выполняемые тесты контроля знаний, программы и операционная и сетевая среда для выполнения практических, лабораторных и курсовых работ. К сожалению, большинство обучающих систем не балуют пользователей встроенными средствами экспорта учебного контента.

В течение ряда лет, на кафедре «Прикладной математики и информатики» университета, авторами было разработано несколько мобильных обучающих систем по курсам, связанным с системным администрированием и программированием: «Операционные системы», «Компьютерные сети», «Проектирование, внедрение и сопровождение операционной и сетевой инфраструктуры», специфическими особенностями которых, являются [1]:

- необходимость выполнения лабораторных работ под учетной записью администратора;
- одновременное использование в лабораторных работах нескольких компьютеров, объединенных в локальную сеть;
- наличие специального программного обеспечения;
- восстановление операционных систем и сетевой инфраструктуры в начальное состояние, после выполнения лабораторных работ.

Обучающие системы для данного класса дисциплин реализованы с использованием средств виртуализации [2] и состоят из трех взаимодействующих частей [1]:

- собственно, обучающей системы с контентом теоретического материала, методических указаний и тестов контроля знаний, построенной на базе IBM Lotus LearningSpace;
- мобильной операционной и сетевой среды, представленной набором предустановленных и специальным образом настроенных виртуальных машин;
- сценариев настройки и установки, обеспечивающих взаимосвязанную работу системы в целом.

Реализация самой системы IBM Lotus LearningSpace также на виртуальной машине, придает всей обучающей системе свойство мобильности –

то есть возможности довольно легкого ее переноса, например, при работе с филиалами [2].

Виртуальные машины, используемые для реализации мобильной операционной и сетевой среды при выполнении лабораторных работ, созданы и функционируют под управлением средств виртуализации Microsoft. Для каждой из лабораторных работ курса и курсовой работы, созданы и настроены отдельные виртуальные машины. Количество виртуальных машин для каждой работы зависит от ее содержания, типа задания и варьируется от трех до пяти.

При этом работа виртуальных машин реализована таким образом, что студентам нет необходимости копировать все виртуальные жесткие диски этих машин на свой компьютер, что значительно уменьшает загруженность сети (рис.1.). Для осуществления такой возможности, при построении и настройке виртуальных машин использовались специальные средства виртуальных машин Microsoft - диски изменений (differencing hard disks) и диски отката (undo disks) [1,3].

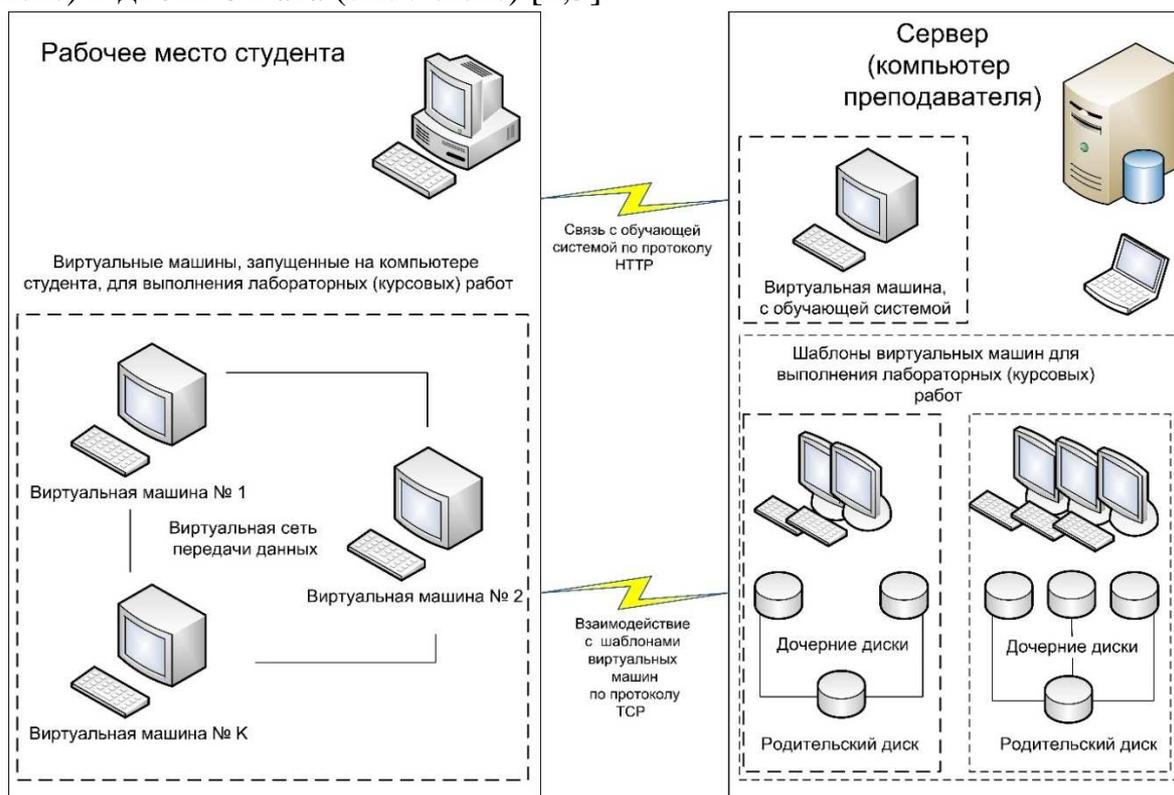


Рис. 1. Схема организации работы в учебных классах

Предложенный подход реализует мобильность обучающей системы первого типа. Для реализации мобильности второго типа необходимо разработать алгоритмы и программные средства переноса контента из IBM Lotus LearningSpace в целевую обучающую систему. В качестве последней

рассмотрим получившие в последние годы популярность, обучающую систему BlackBoard и открытую образовательную среду Moodle. Обе эти системы поддерживают импорт учебных курсов в соответствии со стандартом SCORM [4]. Согласно требованиям SCORM, импортируемый контент определяется архивным файлом «манифест/пакет», содержащим описание структуры, метаданные и сам контент курса.

В обучающей системе IBM Lotus LearningSpace могут функционировать несколько обучающих курсов. Материалы этих курсов хранятся в общем хранилище Learning Space. Поэтому, при экспорте конкретного курса, возникает проблема поиска материалов этого курса в общем хранилище.

IBM Lotus LearningSpace позволяет вывести информацию о структуре курса в соответствии со стандартом AICC [4]. Эта информация представляет собой набор текстовых файлов, один из которых содержит структуру курса с указанием внутреннего идентификатора LearningSpace для контента каждого элемента курса. По этим идентификаторам в общем хранилище можно найти непосредственно файлы с контентом учебных материалов.

Таким образом для экспорта контента учебных материалов курса из IBM Lotus LearningSpace и построения «манифест/пакета» SCORM получаем следующий алгоритм:

1. Построение файлов спецификаций стандарта AICC;
2. Анализ файлов AICC;
3. Построение описания структуры курса;
4. Извлечение файлов с контентом учебных материалов курса;
5. Преобразование файлов контента;
6. Построение метаданных курса;
7. Формирование «манифест/пакета» SCORM.

Файлы тестовых заданий контроля знаний, как и учебные материалы, хранятся в общем хранилище, однако информация о них скрыта глубже – в управляющей базе данных LearningSpace на базе MS SQL. Кроме того, контент этих файлов содержит помимо самих вопросов и ответов тестов еще и информацию о типе вопросов, количестве ответов, номерах правильных ответов и т.д. Вся эта информация хранится в специфичном для IBM Lotus LearningSpace формате.

С учетом этих особенностей, для экспорта контента тестов из IBM Lotus LearningSpace и построения пула вопросов целевой системы, получаем следующий алгоритм:

1. Построение файлов спецификаций стандарта AICC;
2. Анализ файлов AICC;
3. Построение описания структуры курса;

4. Извлечение внутренних идентификаторов тестов;
5. Поиск в базе данных ссылок на файлы с контентом тестов;
6. Извлечение файлов с контентом тестов;
7. Анализ файлов с контентом тестов;
8. Преобразование файлов контента тестов в формат целевой системы;
9. Построение пула вопросов целевой системы;

Предложенные алгоритмы реализованы в виде сценариев на языке Jscript и прошли успешную апробацию при переносе курсов «Операционные системы», «Компьютерные сети», «Операционные системы и сети» и «Технологии виртуализации» из среды обучающей системы IBM Lotus LearningSpace в обучающую систему BlackBoard.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. С.В. Сотников, Урахчинский И.Н., Применение технологий виртуализации для построения операционной и сетевой среды обучающихся систем. //Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2012. - V.15. - №4 - ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>.

4. Александров А.Ю., Урахчинский И.Н. К вопросу построения мобильной операционной среды автоматизированных систем дистанционного обучения // Материалы Всероссийской научной конференции "Информационные технологии в науке, образовании и производстве", КГТУ, Казань, 2007. – с.672-674.

5. Урахчинский И.Н. К задаче выбора состава дисков виртуальных машин. //Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2012. - V.15. - №4 - ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>.

6. Попов Д.И., Попова Е.Д., Певцов К.С. Обзор стандартов и спецификаций в электронном обучении и тестировании // материалы V Всероссийской научно-методической конференции «Инновационные методы и средства оценки качества образования», МГУП, Москва, 2007, URL: <http://www.ast-centre.ru/books/favorites/279/>

МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

М.П. Фархадов, С.В. Васьковский (Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, 117997, ул. Профсоюзная, д. 65)

E-mail: mais@ipu.ru, v63v@yandex.ru

MULTIMEDIA COMPUTER TECHNOLOGIES FOR INTERACTIVE DISTANCE LEARNING

M.P. Farkhadov, S.V. Vas'kovsky

Institute of Control Sciences.n.a. V.A. Trapeznikov RAS, Moscow,
Profsoyuznaya st., 65)

E-mail: mais@ipu.ru, v63v@yandex.ru

Keywords: Comprehensive training system, learning process effectiveness, graphical systems, interactive mode of teaching, speech recognition system.

Аннотация. В докладе кратко рассматривается архитектура и основные функции обучающего комплекса, а также основные подходы управления процессом дистанционного обучения. Разработанный обучающий комплекс обеспечивает эффективное и естественное взаимодействие человека с компьютером. Данный комплекс успешно использовался в процессе преподавания курса программирования, показав ряд достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методиками обучения. При этом подтверждается важное направление создания обучающих средств, использующих разнообразные современные методы взаимодействия человека с системой, такие как распознавание речи.

Введение. В настоящее время современные информационные технологии внедряются в различные сферы человеческой деятельности, в том числе и образование, и новейшие достижения из данной области следует задействовать при построении и реализации образовательных процессов. Важную роль при взаимодействии преподавателя и обучающегося могут играть современные речевые интерфейсы. Кроме того, внедрение новейших обучающих систем может увеличить эффективность процесса преподавания.

Одной из актуальных задач в системе образования является повышение эффективности очного и дистанционного обучения с применением интерактивных мультимедийных и интерфейсных технологий. Такая эффективность должна рассматриваться как с точки зрения слушателя, так и с

точки зрения преподавателя. Также достаточно остро встаёт проблема получения самостоятельного (заочного) образования, которое может быть эффективнее очного.

Под эффективностью обучения следует понимать быстрое и качественное усвоение преподаваемого курса определенной целевой аудиторией. Эффективность может оцениваться возможностью усвоения учебного материала с применением современных информационных технологий, по сравнению с обучением на основе классических традиционных подходов. На практике показано, что внедрение новейших обучающих систем увеличивает эффективность процесса преподавания различных дисциплин.

Другим критерием оценки эффективности новейших информационных технологий является оптимизация и организация дистанционного обучения и процессов его управления.

Исходя из опыта преподавания курса программирования одним из авторов доклада, при сравнении различных методов и подходов к обучению, были выявлены ряд проблем и особенностей, а также разработан обучающий комплекс, направленный на повышение эффективности проведения занятия.

В таблице 1 приведён сравнительный анализ некоторых существующих систем, с помощью которых можно проводить занятия, и разрабатываемой системы. Были рассмотрены следующие системы: Citrix (<https://global.gotowebinar.com>); Skype (<http://www.skype.com>); BigBlueButton (<http://bigbluebutton.org>); Teamviewer (<https://www.teamviewer.com>). Звёздочкой отмечены функции, учтённые в архитектуре разрабатываемой системы и находящиеся в стадии тестирования или разработки.

Из сравнения следует, что современные системы не раскрывают полные возможности элементной базы для планирования и проведения занятий.

Таблица 1

Сравнение существующих систем предоставления занятий

Функция	Наименование системы				
	Citrix	Skype	BigBlueButton	Teamviewer	Разрабатываемая система
Голосовое общение	VoIP + tel	VoIP + tel	VoIP	VoIP	VoIP
Трансляция с камеры	Один ко многим	До 10 человек	Один ко многим (без возможности записи)	Один ко многим	Несколько ко многим*
Трансляция экрана	Один ко многим	Один ко многим	Один ко многим (без возможности записи)	Один ко многим	Несколько ко многим*
Трансляция окна	Один ко многим (без возможности записи)	Один к одному	Один ко многим (без возможности записи)	Нет	Несколько ко многим*

Функция	Наименование системы				
	Citrix	Skype	BigBlueButton	Teamviewer	Разрабатываемая система
Отправка текстовых сообщений	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Интерактивная доска	Нет	Нет	Есть, с возможностью делать отметки на презентациях	Нет	Есть, с возможностью сохранять срез доски.
Отправка картинок	Нет	Обмен файлами	Нет	Обмен файлами	Есть
Обмен файлами	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть*
Синхронный просмотр видео	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть*
Проведение опросов	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть*
Проведение тестов	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть*
Контроль активности	Активность окна, набор сообщений, активность микрофона	Активность микрофона	Нет	Нет	Активность окна, набор сообщений, активность микрофона*, интерактивная доска*.
Визуализация настроения слушателя	Поднятие руки	Нет	Есть	Нет	Есть*
Оценка сообщений	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Возможность проведения занятия более чем одним преподавателем	Один презентатор с возможностью смены	Да (до 10 человек)	Нет	Возможна смена преподавателя	Есть*
Ассистенты и модераторы	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть
Управление расписанием занятий	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть*
Личная страница пользователя	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть*
Организация общения вне занятия	Нет	Есть, через личные чаты	Нет	Нет	Есть, доставка сообщений через Telegram
Планирование свободного времени слушателя	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть*
Планирование занятия	Управление общими файлами, управление опросами	Нет	Файлы презентаций	Нет	Есть*
Планирование курса, группы курсов	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть*
Доставка уведомлений	Email, клиентское приложение	Множество клиентских приложений	На веб-странице	Клиентское приложение	Notification api, email*, Telegram

Функция	Наименование системы				
	Citrix	Skype	BigBlueButton	Teamviewer	Разрабатываемая система
Повторное воспроизведение	Запись трансляции	Нет	Нет	Нет	Есть*, с возможностью повторного прохождения тестов*
Голосовой интерфейс	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть, потоковая речь, текстовый поиск по видео*, голосовые команды, подписи для интерактивной доски

Обучающий комплекс. Создание эффективной системы обучения, включающей и расширяющей возможности вебинара, способной одинаково эффективно применяться как при заочном, так и при очном занятии, по мнению авторов, является реальной задачей.

Рассмотрим архитектуру и основные функции разработанного обучающего комплекса, а также основные подходы управления процессом обучения.

Разработанный программный комплекс состоит из ряда модулей, среди которых: модуль проведения занятия, модуль управления курсом и модуль авторизации.

Центральным является модуль проведения занятий, в котором реализованы такие основные функции, как: групповое взаимодействие пользователей (чат), интерактивная доска, видеотрансляция и др.

Особенно важным аспектом является использование графической системы и диалогового режима ведения занятий. Реализованный подход с системой распознавания речи улучшает запоминание нового материала учащимися и увеличивает эффективности работы преподавателя, т.е. система не мешает, а помогает эффективному процессу обучения.

Коммуникация преподавателя и учеников. При очной форме обучения вопросы преподавателю можно задавать на лекции, но при этом могут возникать некоторые сложные ситуации, с которыми сталкиваются слушатели:

- приостановка лекции на время задания вопроса (т.к. нет возможности, не отвлекая остальных слушателей, приватно спросить преподавателя);
- трудности, связанные с формулировкой вопроса (например, не всегда возможно визуализировать свой вопрос);
- сомнение в уровне своей подготовки может быть поводом не задать даже интересный вопрос.

Часто бывает затруднительно обсуждение вопросов с аудиторией, т.к. не всем слушателям этот вопрос будет интересен.

В рамках обучающей системы легко организовать обсуждение возникающих в процессе занятия проблем с аудиторией и преподавателем, не нарушая процесс проведения занятия, по средствам чата.

Чат является самой обширной областью для изучения и инноваций. На рис. 1 изображён пример интерфейса группового взаимодействия пользователей на занятии.

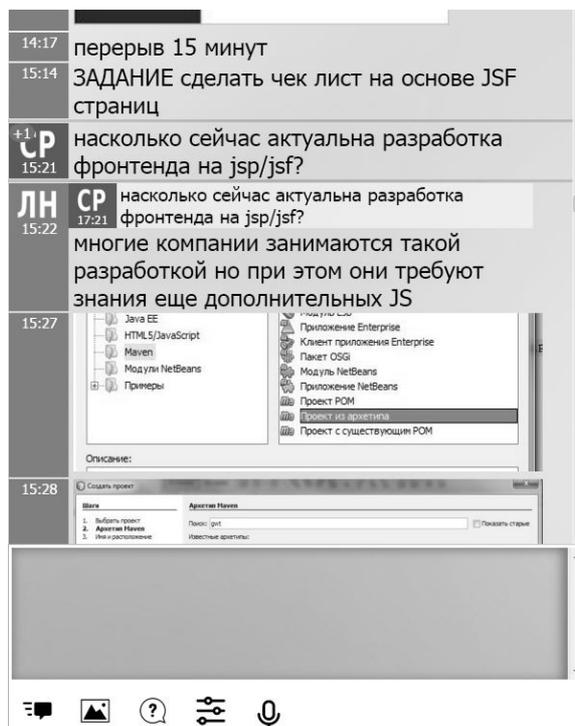


Рис. 1 Интерфейс группового взаимодействия

При проведении занятия чат может занимать важное место, являясь центром коммуникации преподавателя и ученика. Чат позволяет задавать вопросы и отвечать на сообщения (при этом сообщения отправляются согласно приоритету). При этом сами сообщения могут иметь различные типы (текстовые и гипертекстовые сообщения, сообщения с опросами, рисунки, ссылки на разнообразный контент).

Следует отметить, что также имеется возможность формирования шаблонов сообщений, например, шаблонов-заметок. Говоря о приоритете сообщений, имеется возможность закреплять сообщения поверх приходящих.

Мультимедийные возможности. Новейшие подходы преподавания с использованием графических возможностей в значительной степени позволяют быстро усваивать учебный материал целевой аудитории. Среди графических возможностей обучающего комплекса эффективным средством преподавания является интерактивная доска (рис. 2). Она позволяет преподавателю совместно со студентами рисовать разнообразные изображения и передавать их в чат.

К основным элементам проведения занятия также относится видео трансляция, позволяющая передавать видео изображение с веб-камеры или экрана монитора преподавателя всем слушателям обучающего комплекса.

К немаловажным дополнительным возможностям, которые можно реализовать в обучающем комплексе, относится формат показа презентаций.

Разработанный обучающий комплекс может предоставлять возможность «перемотки занятия» и производить индексацию, т.е. находить нужные фрагменты по полнотекстовому поиску. Повторный просмотр занятия может генерировать статистику о том, какие фрагменты занятия являются более интересными, а какие менее. Следует отметить, что фрагменты, которые просматриваются в ускоренном режиме, являются менее интересными, при этом повторное воспроизведение записанного занятия может включать в себя интерактивные задания и повторное прохождение тестов.

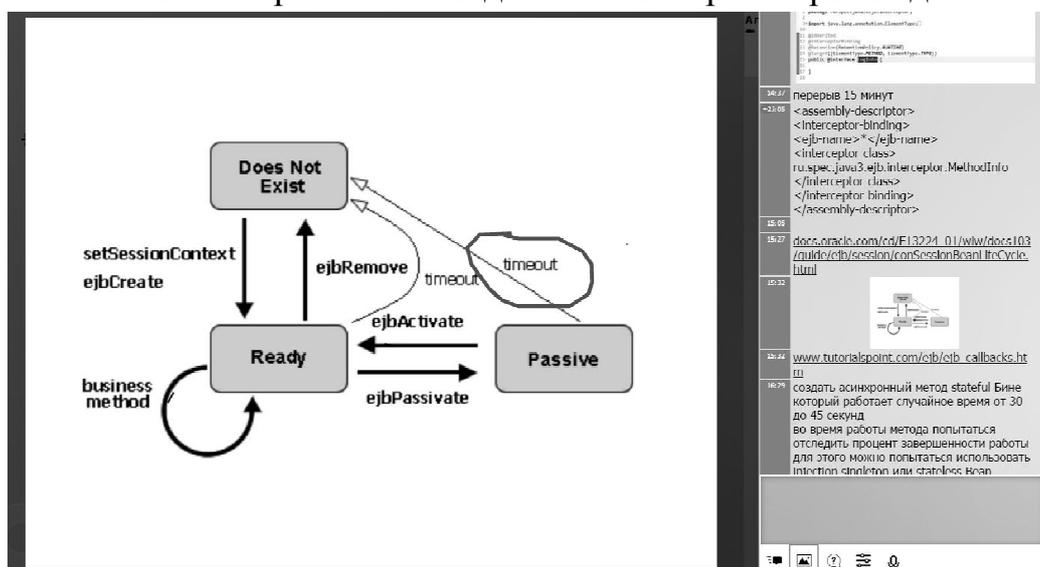


Рис. 2. Графические возможности обучающего комплекса (рисование на интерактивной доске)

Речевой интерфейс. Современным подходом в процессе обучения является использование методик, основанных на распознавании речи. Поэтому чрезвычайно важным элементом разработанного программного комплекса является модуль распознавания речи. Использование речи делает взаимодействие человека с компьютерной системой более эффективным и естественным. Необходимо подчеркнуть, что создание речевого интерфейса со слушателем сложный процесс, который требует от разработчика знаний в самых различных областях, среди которых свойства распознавателей, природа речи, основы лингвистики, особенности поведения человека в различных ситуациях и присущие ему ограничения в восприятии понятий и речи [1, 2].

В качестве системы распознавания речи можно использовать различные готовые реализации (например, распознавание на основе технологии google). Данные системы могут давать приемлемое качество распознавания общих фраз, однако, точность распознавания специфичных и редких терминов из предметной области занятия может быть не слишком высока. Более эффективно в современных обучающих комплексах можно использовать системы анализа неструктурированной речевой информации [3], которые могут поддерживать обработку неструктурированных речевых данных на русском языке.

При проектировании удалось найти наиболее приемлемый способ использования системы распознавания речи, помогающей на занятии. С помощью данной системы можно решить ряд задач, например, быстро диктовать вопросы и ответы.

Интерактивный план курса и занятия. Наличие интерактивного плана, как занятия, так и всего курса является важной составляющей в процессе преподавания. Следует отметить, что на очных занятиях, как правило, такой план отсутствует.

При самостоятельном обучении, в большинстве случаев, план занятия составляется редко. При этом выбирается определённая область, которая является одной из тем занятий и её освоение можно осуществить очень качественно, но существуют сложности привязки к уже пройденному материалу и систематизации. Кроме того отсутствие плана курса позволяет осваивать лишь какую-то небольшую область, т.к. изучение большого курса становится проблематичной задачей без заранее разработанного детального плана. Составить такой план самостоятельно может быть довольно сложно.

Современные обучающие системы, как правило, должны предоставлять детальный план занятия и всего курса в любой момент по запросу слушателя или преподавателя.

При очном обучении преподаватель должен запоминать много информации, которую он вынужден держать в голове во время лекции и при отвлечении его вопросами от аудитории, бывает сложно вернуться к прерванному месту. В этот момент отметка места в плане занятия, где сейчас находится преподаватель, является важным вспомогательным фактором.

Одновременно с этим преподавателю было бы удобно отслеживать план занятия с временным хронометражем, чтобы понимать, сколько времени у него осталось на объяснение той или иной темы. Это помогает принимать решение о возможности дать дополнительный материал или следовать строго плану занятия.

Даже если курсы начинаются в разное время, преподавать без плана занятий чрезвычайно сложно, т.к. приходится переключаться между курсами с разной интенсивностью. Постоянное наличие плана под рукой позволяет преподавателю вести несколько курсов параллельно.

Справочные мультимедийные материалы. На очных занятиях может быть затруднён доступ к онлайн материалам, например, к таким как Википедия, или же к справочно-нормативной документации.

При самостоятельном обучении можно многократно изучать материал, вдаваясь в мельчайшие детали и использовать дополнительную справочную информацию. При этом нет возможности спросить преподавателя об источниках дополнительного материала, и на какие наиболее важные аспекты следует обратить внимание.

В обучающей системе можно сделать легкодоступным использование дополнительных источников. Кроме того, существует возможность отправлять видеосообщения с синхронным управлением от преподавателя для всех подключённых к чату пользователей.

Проверка знаний и опросы. Особенно необходимо отметить проблемы, связанные с проверкой знаний и домашних заданий. С этой точкой зрения обучающая система содержит широкий спектр возможностей с различными вариациями, например, с тестами, содержащими вопросы с вариантами выбора ответа.

Проверка знаний при обучении, как правило, проводится в конце курса, что может приводить к смещению активного обучения на последнюю неделю курса, при этом проводить срез знаний на каждом занятии для преподавателя довольно сложная задача из-за временных ограничений, отводимых на курс. Реализованный обучающий комплекс эффективно позволяет проводить опросы, в рамках которых можно использовать даже игровые методы.

Приведём пример нескольких типов вопросов:

- вопрос с одним правильным ответом;
- вопрос, где из списка вариантов ответов нужно отметить несколько правильных;
- вопрос, где из списка можно выбрать один вариант, но нет чётко заданного правильного варианта ответа (опрос мнений);
- вопрос, где можно выбрать несколько вариантов, но нет правильных или неправильных (опрос мнений с несколькими вариантами ответа);
- вопрос с возможностью выбора варианта и возможности вписать свой вариант.

Таким образом, могут быть сформированы пулы (задания) из нескольких десятков сгруппированных вопросов. Такие задания могут быть в конце курса или перед лабораторной работой. Следует отметить, что эффективным решением является использование одного вопроса в конце маленькой темы на 10 минут, такой вопрос позволит отследить, кто из слушателей активен и какая скорость отклика слушателей.

Проверка домашних заданий при использовании дистанционного образования может проводиться различными способами, при этом с помощью специального программного обеспечения можно проверять корректность домашнего задания. Необходимо подчеркнуть, что домашние задания может проверять преподаватель лично, а также слушатели могут проверять друг у друга.

Контроль учеников. На занятии важно постоянно оценивать внимание слушателей, чему помогает, как отмечалось ранее, ряд реализованных возможностей по мониторингу и проведению опросов.

Контроль присутствия можно осуществлять по состоянию вкладки браузера слушателя. В качестве обратной связи с аудиторией можно проводить мгновенные опросы, с их последующей визуализацией.

При выполнении задания в другой программной среде также возможно отслеживать начало прохождения задания (по активности вкладки).

В момент проведения занятия преподаватель может отслеживать ряд параметров слушателей: статистика активности аудитории в списке группы; список подключённых пользователей (слушателей занятия); отображение качества интернет соединения каждого пользователя (время отклика); информацию о том, просматривает пользователь материалы или нет.

В дальнейшем планируется добавить информацию о статусе пользователя (технические параметры оконечного терминала, статистика ответов на вопросы, пишет ли пользователь сообщение в чате и т.д.).

Дополнительные возможности. В программе присутствуют горячие клавиши, которые упрощают работу с элементами приложения (например, с контекстным меню), а также уведомления, сигнализирующие о возникновении тех или иных важных событиях (приход нового сообщения в чат, открытие интерактивной доски и др.).

Отметим оставшиеся компоненты обучающего комплекса. В комплексе имеется модуль авторизации, позволяющий организовывать для пользователей различную иерархию доступа к ресурсам. Модуль управления курсами позволяет пользователям искать интересующие курсы (и записываться на них), создавать и редактировать свои курсы. Личная страница пользователя является точкой входа в приложение.

Заключение. Разработанный обучающий комплекс успешно использовался в процессе преподавания курса по подготовке программистов и показал ряд достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методиками [4]. При этом важным направлением является создание обучающих средств использующих не только системы распознавания речи, но и комплексное применение с традиционными подходами, широко применяющимися графика.

С точки зрения отладки такого класса обучающих систем приходится решать трудоемкие задачи, учитывающие фактор реального времени [5]. Возрастает разнообразие и сложность предъявляемых к таким системам требований и ограничений, среди которых наиболее критичными являются ограничения, связанные с естественным взаимодействием человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухова Н.В., Васьковский С.В., Фархадов М.П. COMPUTER SPEECH TECHNOLOGIES IN MODERN INFORMATION AND SERVICE SYSTEMS (Компьютерные речевые технологии в современных информационных и сервисных системах) // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. 3. С. 61–67.

2. Фархадов М.П., Петухова Н.В., Васьковский С.В., Смирнов В.А. Архитектура и характеристики систем распознавания речи // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 12. С. 22-30.

3. Фархадов М.П., Васьковский С.В., Смирнов В.А. Проектирование системы анализа неструктурированной речевой информации // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 14. С. 25-36.

4. Надеинский Л.А., Абраменков А.Н., Васьковский С.В. Интерактивная система обучения на основе мультимедийных и речевых интерфейсных технологий // Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016, Санкт-Петербург) СПб: ГНЦ РФ АО «Концерн ЦНИИ Электроприбор», 2016. С. 824-830.

5. Васьковский С.В., Морозов В.П., Зайцев А.А. Программирование систем отладки электронных устройств // Датчики и системы, 2006, № 9, С. 18-20.

**АФФИННЫЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ СТРАТЕГИИ
В КВАЗИЛИНЕЙНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
ДИФФУЗИОННОГО ТИПА**

М.М. Хрусталеv, А.С. Халина (ИПУ им. В. А. Трапезникова, 117997,
Москва, ул. Профсоюзная, д. 65), E-mail: an.khalina@gmail.com

**AFFINE STABILIZING CONTROL OF QUASI-LINEAR DIFFUSION
STOCHASTIC SYSTEM**

M.M. Khrustalev, A.S. Khalina (V. A. Trapeznikov Institute of Control
Sciences of Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya st., Moscow
117997, Russia)

Keywords: stochastic system, optimal control, affine control, quasi-linear stochastic system, stochastic system with state-dependent noise, necessary optimality conditions.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-07-09091; 16-08-00472).

Введение. В [1] изложен общий подход к задаче синтеза оптимальной квазилинейной стохастической системы, функционирующей на неограниченном интервале времени, при неполной информации о состоянии. Здесь исследуются квазилинейные управляемые по выходу стохастические системы. Коэффициенты диффузии рассматриваемых систем могут зависеть линейно от вектора состояния системы и управления. В литературе такого рода системы также называются линейными с мультипликативными шумами; линейными системами с шумами, зависящими от состояния; билинейными системами. Мы будем придерживаться предложенного Ю.И. Параевым [2] термина – квазилинейная система, который хорошо подчеркивает фактическую нелинейность таких систем.

Еще одна особенность изучаемых задач состоит в том, что как и в детерминированной теории А. М. Летова (АКОР) система функционирует на неограниченном интервале времени. Но здесь изучается не летовская бесконечность, которая в практических задачах стабилизации заканчивается за 3-5 или 20 секунд, а «постлетовская» бесконечность, где классические «первичные» критерии типа времени переходного процесса, пере-регулирувания и т.д. теряют смысл и единственным критерием стабилизации является мера отклонения от желаемого состояния системы,

в качестве которой принят осредненный по времени квадратичный критерий.

Приводятся необходимые условия оптимальности, полученные в [1]. Интересно отметить факт необходимости использования в общем случае асимметричной аффинной оптимальной стратегии управления, характеризующейся появлением дополнительного коэффициента смещения, и приводящей к асимметрии колебаний относительно стабилизируемого состояния (равного нулю), но значительно уменьшающей среднеквадратичное отклонение от этого состояния.

Указанный эффект встречается в линейных стохастических системах при наличии аддитивных неслучайных возмущений (дрейфа), действующих на объект [3]. При отсутствии дрейфа смещение управления отсутствует.

Для рассматриваемого здесь вида стохастических систем, которые по существу являются нелинейными, ситуация с возникновением смещения управления намного интереснее. Даже при отсутствии дрейфа, когда детерминированная система, получающаяся при обнулении случайных возмущений, и стохастическая разомкнутая система (управление равно нулю) имеют равновесное состояние равно нулю, оптимальная стратегия управления может иметь ненулевое смещение.

Такое изменение структуры управления вызвано тем, что для квазилинейных систем, в отличие от линейных, обыкновенное дифференциальное уравнение для матрицы ковариаций зависит от математического ожидания состояния. В результате имеются случаи, когда искусственное введение ненулевого математического ожидания, и как следствие смещение управления, существенно уменьшает элементы матрицы ковариаций. Это, несмотря на возникающую асимметрию колебаний относительно нулевого состояния системы, существенно уменьшает среднеквадратичное отклонение от нуля. Математическим признаком такой ситуации является то, что коэффициенты диффузии в уравнениях системы, зависящих от состояния, обращаются в нуль на плоскости не проходящей через начало координат. Это создает скрытую асимметрию возмущений.

Указанная особенность квазилинейных систем демонстрируется на примере 1, в котором производится сравнение стратегий различной структуры.

Постановка задачи. Рассматривается стохастическая динамическая управляемая по выходу система, описываемая уравнением Ито

$$dx = (A_{0c}x + B_{0c}u + B_{0c}^1)dt + \sum_{k=1}^{n_w} (A_{kc}x + B_{kc}u + B_{kc}^1)dw_k. \quad (1)$$

Здесь $x \in R^n$ – состояние системы; $u \in R^{n_u}$ – вектор управления; $w \in R^{n_w}$ – стандартный винеровский процесс; A_{kc}, B_{kc}, B_{kc}^1 ($k = \overline{0, n_w}$) – постоянные матрицы соответствующих размеров.

Управление u задается равенством

$$u = -Ly + v, \quad (2)$$

$$y = Cx, \quad (3)$$

где $y \in R^{n_y}$ – выход системы, матрица C задана. Функцию вида (2) будем называть стратегией управления или регулятором.

Задача состоит в определении коэффициентов регулятора неполной обратной связи, исходя из условий минимума критерия оптимальности

$$J(P^*(\cdot), u) = \frac{1}{2} \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \int_{R^n} f^c(x, u) P(t, dx) dt, \quad (4)$$

$$f^c(x, u) = x^T Q_c x + 2x^T S_c u + u^T D_c u,$$

где $x^T Q_c x$ – неотрицательная квадратичная форма; Q_c – симметричная матрица размеров $n \times n$; $S_c, D_c > 0$ – матрицы размеров $n_u \times n, n_u \times n_u$ соответственно. Внутренний интеграл в (4) представляет собой математическое ожидание «мгновенных потерь».

Введем следующие обозначения, $k = \overline{0, n_w}$:

$$A_k = A_{kc} - B_{kc} LC,$$

$$B_k = B_{kc} v + B_{kc}^1,$$

$$Q = Q_c - S_c LC - C^T L^T S_c^T + C^T L^T D_c LC,$$

$$S = v^T S_c^T - v^T D_c LC.$$

Устойчивость системы и необходимые условия оптимальности.

Уравнение (1) порождает вероятностную меру $P^*(t) = P(t, \cdot)$, задающую распределение случайного состояния x системы (1) в момент времени $t \in [0, +\infty)$. Начальное распределение $P_0(\cdot) = P(0, \cdot)$ состояния $x_0 = x(0)$ считается заданным. Начальная мера $P_0(\cdot)$ выбирается из заданного множества P_0 , которое задается условиями:

1. борелевская мера $P_0(\cdot)$ абсолютно непрерывна относительно меры Лебега в R^n (имеет плотность);
2. существуют конечные вектор математического ожидания и матрица ковариаций.

В работе [2] показано, что в этом случае текущая мера $P(t, \cdot)$ процесса также обладает свойствами 1, 2 и справедливы уравнения для первого $m(t)$ и второго центрального $\Gamma(t)$ моментов

$$\dot{m} = A_0 m + B_0, \quad (5)$$

$$\dot{\Gamma} = A_0 \Gamma + \Gamma A_0^T + \sum_{k=1}^{n_w} A_k \Gamma A_k^T + \sum_{k=1}^{n_w} (A_k m + B_k)(A_k m + B_k)^T, \quad (6)$$

которые имеют единственные решения. Начальные условия $m(0) = m_0$, $\Gamma(0) = \Gamma_0$, где m_0 , Γ_0 – математическое ожидание и матрица ковариаций начального состояния $x_0 = x(0)$ системы.

Определение 1. Обозначим U_a совокупность стратегий управления u вида (2), для которых уравнения (5), (6) асимптотически устойчивы относительно положения равновесия m^∞ , Γ^∞ , определяемого выражениями

$$A_0 m^\infty + B_0 = 0, \quad (7)$$

$$A_0 \Gamma^\infty + \Gamma^\infty A_0^T + \sum_{k=1}^{n_w} A_k \Gamma^\infty A_k^T + \sum_{k=1}^{n_w} (A_k m^\infty + B_k)(A_k m^\infty + B_k)^T = 0 \quad (8)$$

Заметим, что уравнение (5) является линейным относительно $m(t)$ и будет асимптотически устойчивым, если матрица A_0 – гурвицева. Если решение $m(t)$ уравнения (5) найдено и подставлено в (6), то (6) также линейно относительно $\Gamma(t)$ и его устойчивость может быть исследована классическими методами. Очевидно, что при $u \in U_a$ решения m^∞ и Γ^∞ уравнений (7), (8) существуют и система (1) устойчива в средне-квадратичном.

Для управляемой по выходу системы (1)-(3) оптимизируемыми параметрами, являются элементы матрицы L и вектора v . Для нее справедлива следующая теорема [1], дающая необходимые условия оптимальности аффинного регулятора.

Теорема 1. Если стратегия управления $u = -\bar{L}y + v \in U_a$, определяемая (2), является оптимальной, то выполнены следующие условия

$$C[\Gamma^\infty \Pi_1 + m^\infty \Pi_2] = 0, \quad (9)$$

$$m^{\infty T} \Pi_1 + \Pi_2 = 0, \quad (10)$$

где предельные математическое ожидание m^∞ и матрица ковариаций Γ^∞ определяются равенствами (7), (8),

$$\Pi_1 = -MB_{0c} - \sum_{k=1}^{n_w} A_{kc}^T MB_{kc} - S_c + C^T L^T \left(\sum_{k=1}^{n_w} B_{kc}^T MB_{kc} + D_c \right),$$

$$\Pi_2 = -\xi^T B_{0c} - \sum_{k=1}^{n_w} B_{kc}^{1T} MB_{kc} - \nu^T \left(\sum_{k=1}^{n_w} B_{kc}^T MB_{kc} + D_c \right),$$

а матрица M и вектор ξ находятся из уравнений

$$A_0^T M + MA_0 + \sum_{k=1}^{n_w} A_k^T MA_k + Q = 0,$$

$$\xi^T A_0 + \sum_{k=1}^{n_w} B_k^T MA_k + B_0^T M + S = 0.$$

Оптимальное значение критерия вычисляется по формуле

$$J = (B_{0c} \nu + B_{0c}^1)^T \xi + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n_w} (B_{kc} \nu + B_{kc}^1)^T M (B_{kc} \nu + B_{kc}^1) + \frac{1}{2} \nu^T D_c \nu. \quad (11)$$

Интересно отметить, что уравнения (9), (10) разрешимы относительно коэффициентов регулятора L и ν , если матрица ковариаций невырожденная ($|\Gamma^\infty| \neq 0$) и матрица L имеет полный ранг n_y .

Примеры.

Пример 1. Рассмотрим движение маятника, состоящего из жесткого стержня и закрепленной на нем пластинки, представленного на рис. 1. Наблюдатель видит ребро пластинки, которая закреплена под углом, что создает различное сопротивление при различных положениях маятника. Маятник отклоняется на угол α под действием горизонтального потока воздуха случайной мощности.

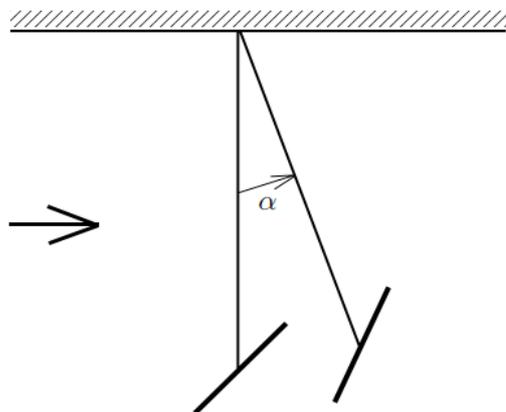


Рис. 1. Схема маятника

Движение маятника описывается системой уравнений

$$d\alpha = \omega dt$$

$$d\omega = (-0.5\alpha - 0.5\omega + u)dt + (0.6\alpha + 1)d\omega,$$

где $(\alpha, \omega)^T$ – состояние, u – управление, w – стандартный винеровский процесс.

Коэффициент диффузии зависит от компонент вектора состояния (а в общем случае от вектора состояния и управления) и обнуляется на прямой $0.6\alpha + 1 = 0$, не проходящей через начало координат.

Пусть измеряется только угловая скорость отклонения маятника ω . Тогда стратегия управления примет вид $u = -L\omega + \nu$.

Минимизируемый критерий имеет вид

$$J = \frac{1}{2} \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \int_{R^2} (\alpha^2 + u^2) P(t, dx) dt.$$

В табл. 1 представлены значения критерия, математического ожидания и матрицы ковариаций в зависимости от структуры оптимального управления. Как видно аффинная оптимальная стратегия управления $u = -L\omega + \nu$, приводит к асимметрии колебаний относительно стабилизируемого состояния ($m^\infty \neq 0$), но значительно уменьшает среднеквадратичное отклонение от этого состояния, что сказывается на величине критерия.

На рис. 2 и 3 представлен один из вариантов реализации зависимости от времени компонент вектора состояния системы.

Таблица 1

Результаты вычислений:

Вид u	Значения L, ν	Значение критерия	Значения m^∞, Γ^∞
$u = 0$	$L = 0$ $\nu = 0$	3.57	$m^\infty = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Gamma^\infty = \begin{pmatrix} 7.14 & 0 \\ 0 & 3.57 \end{pmatrix}$
$u = \nu$	$L = 0$ $\nu = -0.56$	1.17	$m^\infty = \begin{pmatrix} -1.12 \\ 0 \end{pmatrix}, \Gamma^\infty = \begin{pmatrix} 0.76 & 0 \\ 0 & 0.38 \end{pmatrix}$
$u = -L\omega$	$L = 1.28$ $\nu = 0$	0.64	$m^\infty = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \Gamma^\infty = \begin{pmatrix} 0.70 & 0 \\ 0 & 0.35 \end{pmatrix}$
$u = -L\omega + \nu$	$L = 1.28$ $\nu = -0.22$	0.47	$m^\infty = \begin{pmatrix} -0.45 \\ 0 \end{pmatrix}, \Gamma^\infty = \begin{pmatrix} 0.38 & 0 \\ 0 & 0.19 \end{pmatrix}$

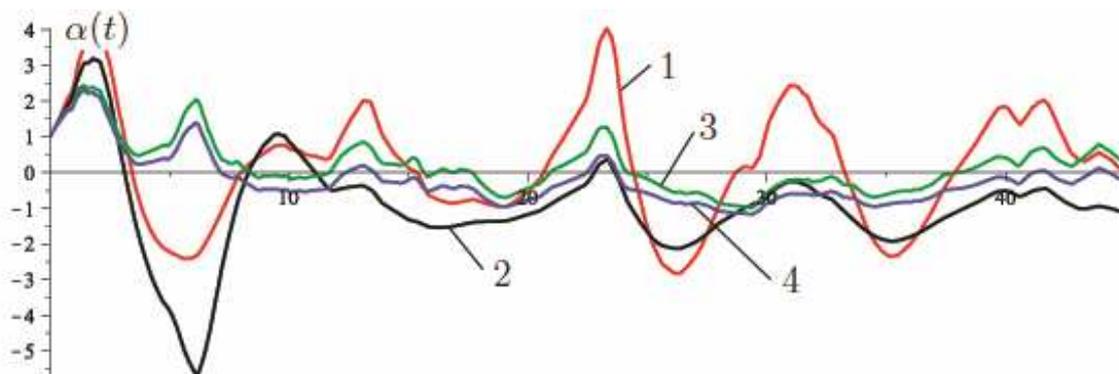


Рис.2. Приращение угла отклонения $\alpha(t)$ при использовании стратегии вида: 1 – $u = 0$, 2 – $u = v$, 3 – $u = -L\omega$, 4 – $u = -L\omega + v$.

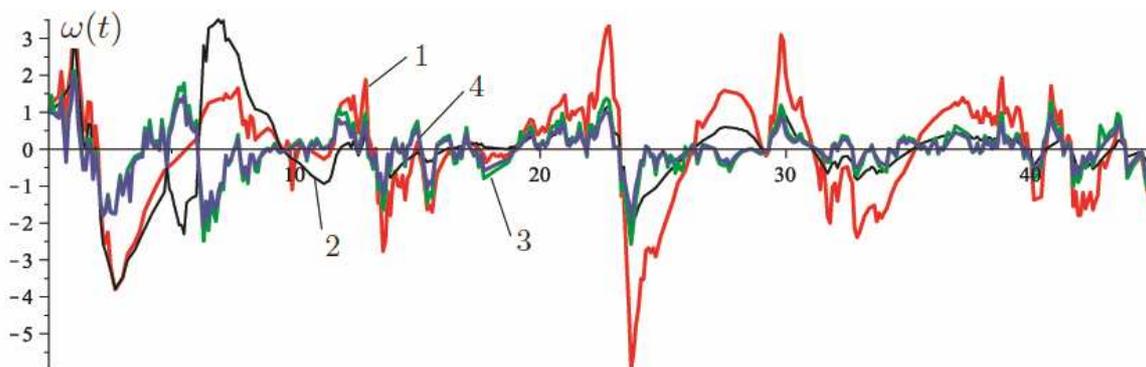


Рис.3. Приращение скорости отклонения $\omega(t)$ при использовании стратегии вида: 1 – $u = 0$, 2 – $u = v$, 3 – $u = -L\omega$, 4 – $u = -L\omega + v$.

Пример 2. Задано однопараметрическое семейство равномерных законов распределения (плотностей) $p(x)$ (рис.4). Параметром семейства является математическое ожидание m , границы a и b носителя x отстоят от математического ожидания на величину $\delta(m) = Ae^{-\alpha m}$, где $A, \alpha > 0$ – постоянные числа.

Среднеквадратичное отклонение от нуля такого равномерного распределения определяется равенством

$$M[x^2] = \frac{1}{2\delta} \int_{m-\delta}^{m+\delta} x^2 dx = \frac{1}{3} \delta^2 + m^2.$$

Так как m – изменяемый параметр, то

$$M[x^2] = F(m) = \frac{1}{3} A^2 e^{-2\alpha m} + m^2.$$

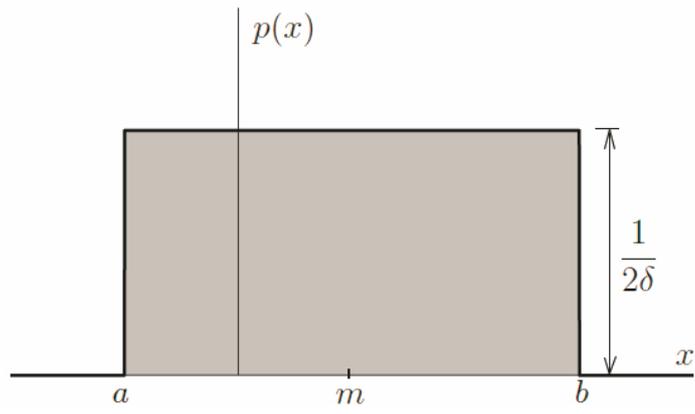


Рис. 4. Семейство равномерных законов распределения

Требуется найти $m = \bar{m}$, такое что

$$F(\bar{m}) = \min_m F(m) = \min_m M[x^2].$$

Вид функции $F(m)$ представлен на рис. 5.

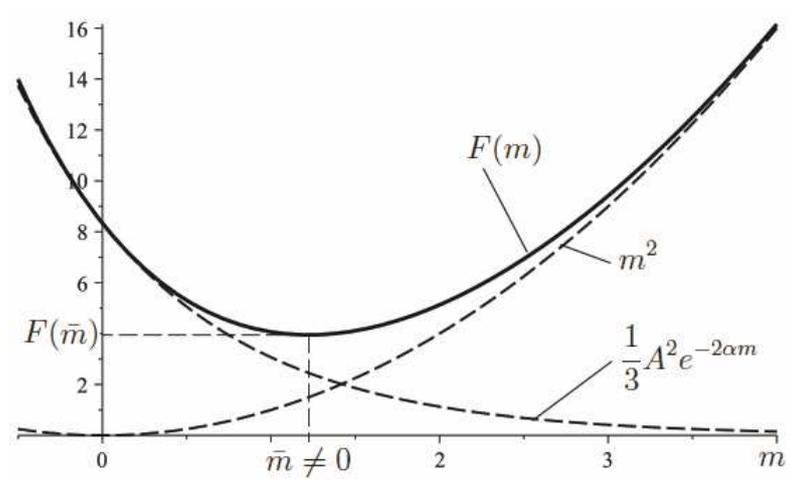


Рис. 5. Функция $F(m)$

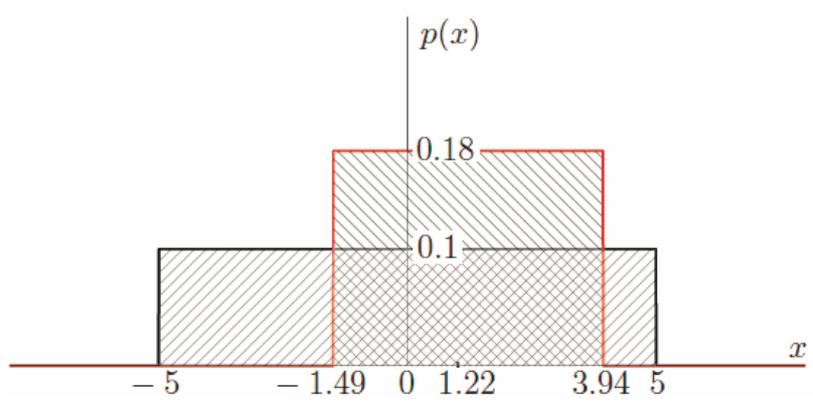


Рис. 6. Сравнение графиков плотностей вероятности

При значении констант $A = 5$, $\alpha = 0.5$ получим: $\bar{m} = 1.22$, $F(\bar{m}) = 3.95$, $\delta(\bar{m}) = 2.71$. В то же время при $m = 0$ получаем значения: $F(0) = 8.33$, $\delta(0) = 5$. Таким образом смещение математического ожидания ($\bar{m} = 1.22$) приводит к уменьшению критерия в 2 раза.

На рис. 6 приведено сравнение графиков плотностей вероятности при $\bar{m} \neq 0$ и $m = 0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халина А.С., Хрусталеv М.М. Оптимизация облика и стабилизация управляемых квазилинейных стохастических систем, функционирующих на неограниченном интервале времени // Изв. РАН. ТиСУ. – 2017. № 1. – С. 56–79.
2. Параев Ю.И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации. – М.:Сов.Радио, 1976. – 156 с.
3. Малышев В.В., Старков А.В., Федоров А.В. Синтез оптимального управления при решении задачи удержания космического аппарата в орбитальной группировке // Автоматика и ракетостроение. – 2012. № 4 (69). – С. 150–158.

АНАЛИЗ ВЕЙВЛЕТНЫХ МЕТОДОВ

ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Р.М. Шакирзянов (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса,
10) E-mail: RМShakirzyanov@kai.ru

ANALYSIS OF WAVELET METHODS FOR INITIAL PROCESSING OF IMAGES

R.M. Shakirzyanov (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str.,
10)

Keywords: wavelet transforms, noise reduction in images, dual-tree complex DWT, suppression coefficients, threshold method, context-based method.

Введение. Компьютерное зрение широко применяется в различных областях человеческой деятельности: в системах беспилотных летательных аппаратов, системах контроля безопасности, системах автоматизированного контроля технологического процесса и многих других. Под компьютерным зрением понимается автоматическое получение информации из изображений, при этом решаются задачи обнаружения и распознавания объектов, их классификация. Эти методы относятся к высокому уровню обработки изображений.

На практике различают процессы обработки низкого, среднего и высокого уровней. Процессы низкого уровня касаются только примитивных операций предварительной обработки с целью уменьшения шума, повышения контраста или улучшения резкости изображений. Для них характерен тот факт, что на входе и на выходе присутствуют изображения. Обработка изображений на среднем уровне охватывает такие задачи, как сегментация, описание объектов, сжатие, распознавание объектов. Для процессов среднего уровня характерно наличие изображений только на входе, а на выход поступают признаки и атрибуты, извлекаемые из изображений, например, границы областей, линии контуров, отличительные признаки отдельных объектов. Процессы высокого уровня представляют собой обработку, которая включает анализ изображений и, в пределах, осуществление познавательных функций, которые принято связывать со зрением [1].

Чтобы повысить эффективность решения задач анализа изображений, а также для улучшения визуального восприятия, исходное изображение требуется предварительно обработать. Чаще всего возникает потребность в подавлении шумов, возникающих в процессе получения и передачи изображений в силу физических особенностей используемых технических

средств. Проблема шумоподавления является одной из самых актуальных и распространенных проблем в области обработки как статических изображений, так и видео, играя важную роль, например, при сжатии видеопоследовательностей или их распознавании.

Оценка качества подавления шума. Основная проблема при пространственном шумоподавлении заключается в том, чтобы не испортить четкость границ предметов на изображении, а также мелкие детали, измеримые по размерам с шумом. При шумоподавлении в видео подобные детали легче детектировать, поскольку есть возможность отслеживать их на протяжении нескольких кадров.

Как правило, оценка качества шумоподавления проводится следующим образом: на не зашумлённое изображение накладывается искусственный шум, затем полученное изображение фильтруется алгоритмом шумоподавления и сравнивается с исходным с помощью какой-нибудь метрики. Чаще всего для этой цели используют метрику PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio – пиковое соотношение сигнал/шум), которая определяется формулой:

$$PSNR(x, y) = 10 * \log_{10} \frac{s^2}{\frac{1}{NM} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} e(m, n)^2},$$

где M, N – размеры изображения, $e(m, n)$ – разница между исходным и результирующим изображением, s – глубина цвета, например, $s=255$ для 8-битного изображения. Соответственно, чем ближе отфильтрованное изображение к оригинальному, тем больше значение PSNR, и тем выше считается качество работы алгоритма [2].

Существуют различные методики, избавления изображений от шума. Далее будут рассмотрены способы шумоподавления с использованием вейвлетов.

Использование дискретного вейвлет-преобразования для шумоподавления. Вейвлет-преобразование – это инструмент кратно масштабного анализа. При решении задачи шумоподавления данный способ позволяет удалять шум с изображения, не затрагивая значительно границы и детали. Также оно позволяет эффективно подавлять шумы со спектрами, отличными от белого [3].

Принципиальная схема шумоподавления с помощью дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) представлена на рисунке 1.

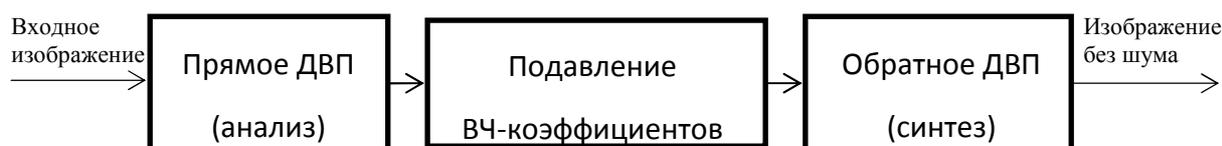


Рис. 1. Принципиальная схема подавления шума на основе вейвлет-преобразования

Данный подход состоит из трёх основных этапов:

1. прямого ДВП, или анализа,
2. подавления высокочастотных коэффициентов,
3. обратного ДВП, или синтеза.

Данная схема справедлива для большинства фильтров, основанных на вейвлет-преобразованиях [4].

Прямое одномерное ДВП – это итерационное применение низкочастотного и высокочастотного фильтров с последующим удалением каждого второго элемента (прореживанием) к низкочастотному сигналу, получаемому на выходе. В результате низкочастотной фильтрации получается приближение исходного сигнала, в результате высокочастотной – детализирующая информация об исходном сигнале, а полученные значения высокочастотного сигнала называются вейвлет-коэффициентами.

Обратное одномерное ДВП состоит из итерационного применения обратных фильтров к высокочастотным и низкочастотным коэффициентам с восстановленными вторыми элементами (их значения принимаются за 0) и их сложения.

Участвующие в прямом и обратном ДВП фильтры именуется вейвлетным базисом. Схематично все вышесказанное (для одного уровня разложения) изображено на рисунке 2.

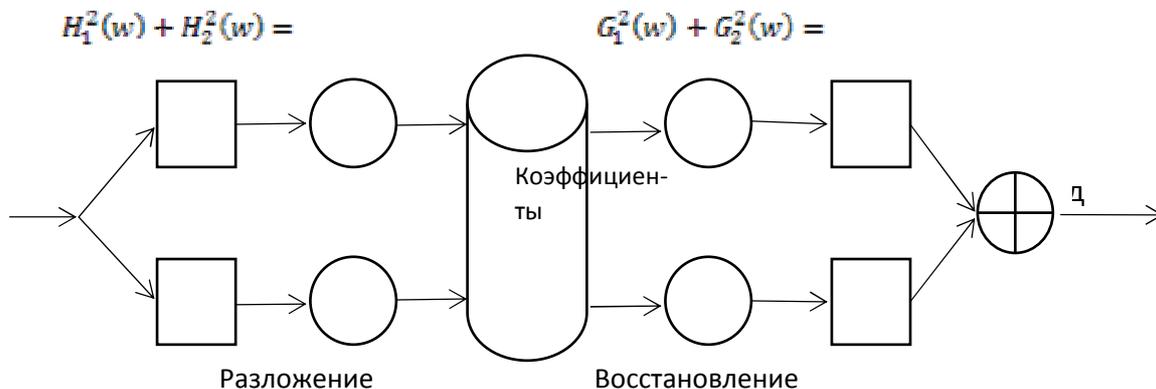


Рис. 2. Схема одномерного вейвлет-преобразования

На данном рисунке фильтр H_1 является высокочастотным фильтром анализа, G_1 – высокочастотным фильтром синтеза, а H_2 и G_2 – соответственно низкочастотными фильтрами анализа и синтеза. Входом и выходом служат одномерные сигналы.

Двумерное дискретное вейвлет-преобразование получается как применение одномерного преобразования последовательно к строкам и столбцам изображения. В итоге образуются одна низкочастотная полоса и три

высокочастотных, причем высокочастотные коэффициенты каждой полосы отвечают за конкретное направление – вертикальное, горизонтальное, либо диагональное.

В высокочастотных коэффициентах содержится шум и мелкие детали изображения. Шумоподавление производится за счет уменьшения значений коэффициентов небольшой амплитуды. Коэффициенты уменьшаются на величину, зависящую от общего уровня шума и от вероятности того, что данный коэффициент представляет собой шум. Эту вероятность можно оценить разными способами. Основная сложность при этом – сохранить коэффициенты, отвечающие за мелкие детали изображения, избежав его размытия.

ДВП можно применять и для временного шумоподавления, расширив его до трехмерного следующим образом: сначала двумерное преобразование применяется к нескольким подряд идущим кадрам видеопоследовательности, а затем они пропускаются через одномерное ДВП, направленное вдоль временной оси.

Обычно оказывается достаточным рассмотреть три уровня разложения (хотя для фотографий высокого разрешения может потребоваться 4-5 уровней разложения). Вейвлет-коэффициенты на первом уровне разложения соответствуют высокочастотному шуму и подавляются сильнее, чем вейвлет-коэффициенты на последующих уровнях [5].

Далее рассмотрим вещественное и комплексное ДВП.

1. Вещественное ДВП

Вещественное ДВП чаще всего применяется с базисами Хаара и Добеши. Вейвлет Хаара является одним из первых и наиболее простых вейвлетов, однако имеет существенный недостаток – плохую гладкость. Вейвлеты Добеши имеют большую гладкость [6].

В описанном ранее ДВП на каждом следующем шаге общее число коэффициентов сохраняется, то есть, например, если исходное изображение было размера $N \times N$, то суммарное число коэффициентов на каждом шаге будет равняться N^2 . Однако такое ДВП не является инвариантным к сдвигу, и изменение высокочастотных вейвлет-коэффициентов приводит к артефактам в восстановленном изображении. Поэтому для шумоподавления обычно используется избыточное ДВП, в котором общее число коэффициентов на каждом шаге больше N^2 .

Самый простой способ получения избыточности – не производить прореживание, то есть использовать следующую схему (см. рисунок 3):

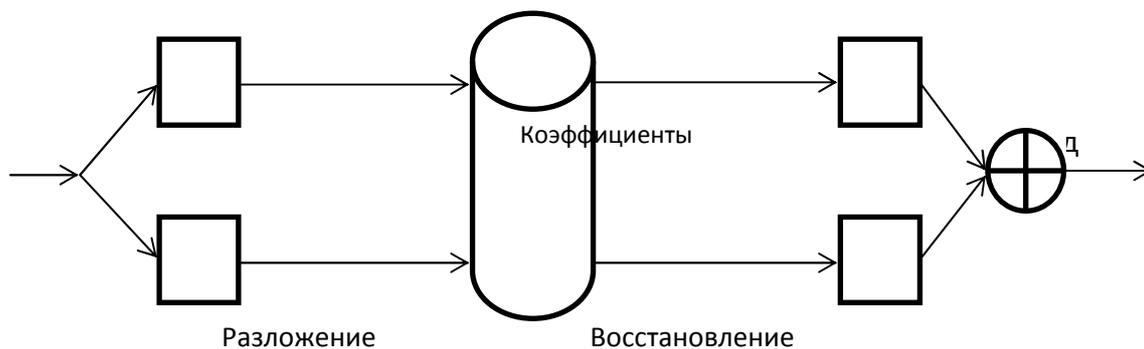


Рис. 3. Схема одномерного избыточного вейвлет-преобразования

Однако такая избыточность требует много дополнительной памяти для хранения коэффициентов, т.к. на каждом уровне разложения количество коэффициентов будет увеличиваться на $3N^2$.

Комплексное ДВП обладает меньшей избыточностью и требует меньших вычислительных ресурсов, однако ничуть не хуже предотвращает появление артефактов.

2. Комплексное ДВП (Dual-tree complex DWT)

Двумерное комплексное ДВП состоит из двух параллельно примененных вещественных ДВП, одно из которых аналогично одномерному случаю интерпретируется как мнимая часть комплексного вейвлета, а другое – как действительная. В комплексных вейвлетах подавляются не сами коэффициенты, а их модули (в интерпретации коэффициентов как комплексных чисел).

Следует отметить следующие преимущества этого подхода. Во-первых, избыточность стала намного меньше – теперь она составляет $3N^2$ при любом количестве уровней разложений. Во-вторых, такие вейвлеты имеют лучшую направленность и различают, в отличие от обычных вейвлетов, направления в 45° и 135° , что способствует более качественной обработке диагональных границ деталей на изображении [5].

Способы подавления коэффициентов для шумоподавления при использовании ДВП. По способу подавления коэффициентов все алгоритмы можно разделить на два класса: пороговые, основывающиеся только на значении порога, посчитанного отдельно для каждой полосы и методы, которые обеспечивают, локальную пространственную адаптацию алгоритма подавления коэффициентов внутри каждой полосы.

В качестве примеров рассмотрим способ с плавным уменьшением по порогу [5] и метод, основанный на контексте [7].

1. Плавное уменьшение по порогу.

Метод заключается в обнулении всех вейвлет-коэффициентов, меньших заданного порога, и уменьшении остальных вейвлет-коэффициентов. Преобразование эквивалентно следующей формуле (ε используется во избежание деления на 0):

$$w_{new} = w * \left(1 - \frac{T}{|w| + \varepsilon}\right),$$

где T - некий порог, w – вейвлет-коэффициент.

В чистом виде (при задании одного и того же значения порога для всех коэффициентов внутри полосы) этот метод либо сильно размывает изображение, либо оставляет много шума. Однако именно он служит основой для многих других методов.

2. Метод, основанный на контексте (Context-based method).

В этом методе шумоподавление осуществляется по формуле плавного уменьшения по порогу, где порог задается следующим образом:

$$T = \frac{\sigma^2}{\sigma_w},$$

где σ_w – дисперсия зашумленного сигнала, которая вычисляется таким образом, чтобы обеспечить локальную адаптивность величины порога. Сначала все вейвлет-коэффициенты группируются по своему контексту, то есть для каждого коэффициента вычисляется среднее абсолютное значение коэффициентов в некоторой его окрестности (контекст), и коэффициенты с близкими средними значениями объединяются в одну группу. После этого значение σ_w вычисляется для каждого вейвлет-коэффициента отдельно как дисперсия определенного для этого коэффициента подмножества. Мощность этого подмножества важно выбрать оптимально, поскольку слишком мало коэффициентов не обеспечат объективной оценки, а слишком много нарушат локальность. Таким образом, выделяются похожие области на изображении, которые пространственно могут располагаться далеко друг от друга, и по ним считается дисперсия.

Заключение. Описанные способы позволяют бороться с шумами на изображениях посредством вейвлетных методов. Однако вейвлеты имеют гораздо более широкое применение, не ограничивающееся подавлением шумов. Именно этим объясняется их столь широкое применение в области обработки изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев М.В., Шлеймович М.П. Основы цифровой обработки изображений: Учебное пособие. Казань: Казанский национальный исследовательский университет имени А.Н.Туполева, 2012 – 128 с.

2. Yusra A. Y. Al-Najjar, Dr. Der Chen Soong, «Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI», International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, Issue 8, August-2012 1, ISSN 2229-5518

3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1070 с.

4. Белоусов А.А., Спицын В.Г., Сидоров Д.В. Применение генетических алгоритмов и вейвлет-преобразований для повышения качества изображений // Известия Томского политехнического университета, Т. 309. № 7. 2006. С. 21-26.

5. Калинкина Д., Ватолин Д. Проблема подавления шума на изображениях и видео и различные подходы к ее решению // Компьютерная Графика и Мультимедиа - Сетевой журнал. – 2005. – Т. 9, № 2.

6. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физ. наук. – 2001. – Т. 171, № 5. – С. 465–501.

7. S.G. Chang, B. Yu, and M. Vetterli, "Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising". IEEE Trans. Image Proc., Sept. 2000.

**ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ
НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
С ПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

С.В. Шалагин (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань,
К.Маркса, 10)
E-mail: sshalagin@mail.ru

**NONLINEAR POLYNOMIAL FUNCTIONS COMPUTING
ON THE DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS WITH
PROGRAMMABLE ARCHITECTURE**

S. V. Shalagin (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: computing on FPGA-based architecture, distributed computer systems.

Введение. При реализации широкого класса систем обработки цифровой информации в реальном масштабе времени применимы распределенные вычисления: параллельное и/или конвейерное выполнения одних и тех же операций над потоком данных, которые реализуемы на многопроцессорных вычислительных системах (МВС) [1]. Вычислительными узлами МВС являются микропроцессоры (МП) как общего, так и специального назначения, реализуемые на СБИС, в частности, на программируемых логических интегральных схемах [2]. В РФ производятся МВС с программируемой архитектурой, элементами которых служат ПЛИС класса FPGA (например, «Рысь», «Медведь», «Орион» и др.) [3, 4], применение которых возможно в качестве бортовых систем и/или встроенных систем, реализующих различные устройства с высокой степенью надежности в разные периоды времени. В данном случае в качестве МП могут выступать аппаратные IP-ядра внутри ПЛИС/FPGA: генераторы булевых функций от заданного количества переменных внутри конфигурируемых логических блоков [2, 5, 6].

Постановка задачи. Задача реализации на МВС с программируемой архитектурой широкого класса устройств для генерирования и обработки цифровых сигналов сводится к задаче синтеза однотипных вычислительных устройств, реализующих нелинейную полиномиальную функцию от m переменных над полем Галуа вида $GF(2^k)$ (НПФ(m)) [7]. В [8] показано, что НПФ(m), определенная над $GF(2^2)$, синтезируема на ПЛИС семейства Virtex-4 на основе однотипных IP-ядер, имеющих высокую степень соот-

ветствия архитектуре ПЛИС указанного семейства. Высокая степень соответствия достигается за счет возможности конфигурирования внутри ПЛИС/Virtex-4 генераторов произвольных булевых функций от четырех переменных – ГФ(4). Два ГФ(4) позволяют реализовать либо операцию умножения двух элементов, либо операцию поразрядной суммы по модулю два четырех элементов $GF(2^2)$. В общем случае, однотипные IP-ядра (программные или схемотехнические), реализующие операции над $GF(2^k)$, имеют высокую степень соответствия архитектуре МВС, включающей однотипные элементы (аппаратные IP-ядра), реализующие произвольную булеву функцию от $2 \cdot k$ переменных – ГФ($2 \cdot k$) [9].

В [10] получены оценки временной и аппаратной сложности распределенного вычисления в архитектуре ПЛИС/FPGA НПФ(m), определенной над $GF(2^k)$ вида:

$$f(x_1, \dots, x_m) = \sum_{i_1=0}^w \dots \sum_{i_m=0}^w a_{i_1 \dots i_m} x_1^{i_1} \dots x_m^{i_m}, \quad (1)$$

где $a_{i_1 \dots i_m}, x_1^{i_1}, \dots, x_m^{i_m} \in GF(2^k)$ - элементарный полином (ЭП), $i_j = \overline{0, 2^k - 1}$, $j = \overline{1, m}$, $w = 2^k - 1$, символом \sum обозначена операция вычисления поразрядной суммы по модулю два. Выражения $a_{i_1 \dots i_m} x_1^{i_1} \dots x_m^{i_m}$ в (1) определены как элементарные полиномы (ЭП). Наличие коэффициентов $a_{i_1 \dots i_m} = 0$ позволяет не производить вычисление значений соответствующих ЭП. ПЛИС класса FPGA включают в свой состав МП, реализующие ГФ($2 \cdot k$), а также параллельные регистры на k разрядов – $RG(k)$, $k = 2, 3, \dots$.

Пусть коэффициенты НПФ(m) в (1) – $a_{i_1 \dots i_m}$, $i_j = \overline{0, 2^k - 1}$, $j = \overline{1, m}$, есть постоянные величины, константы. Требуется определить, при каком значении m функция вида (1) реализуема на ПЛИС/FPGA заданного типа при условии, что она включает в свой состав $Q_{ГФ(2k)}$ ГФ($2 \cdot k$), Q_D D -триггеров и Q_{IOB} блоков ввода-вывода (БВВ), соответственно. Решение данной задачи сводится к вычислению для НПФ(m) вида (1) при заданном m значений $N_{ГФ(2k)}$, N_D и N_{IOB} , для которых справедливы ограничения вида:

$$\begin{cases} N_{ГФ(2k)} \leq k_{ГФ} \cdot Q_{ГФ(2k)} \\ N_D \leq k_D \cdot Q_D \\ N_{IOB} \leq k_{IOB} \cdot Q_{IOB} \end{cases} \quad (2)$$

Согласно [11], значения $k_{ГФ}$, k_D и k_{IOB} обычно принимают равными 0,5 – 0,7.

Найдем значения величин $N_{\Gamma\Phi(2k)}$, N_D и $N_{\text{ЮВ}}$.

Для вычисления НПФ(m) вида (1) требуется выполнить следующие операции над элементами поля $GF(2^k)$: 1) возведение значений x_j , $j = \overline{1, m}$, в степени $p = \overline{2, w-1}$; 2) умножение двух переменных (или двух переменных и константы) и 3) сложение k переменных (или k переменных с константой) [10]. Для выполнения каждой из операций 1) – 3) требуется k $\Gamma\Phi(2 \cdot k)$.

Согласно [10], для вычисления НПФ(m) вида (1) требуется $m \cdot (w-2)$ операций вида 1), $\sum_{d=1}^m (2^{m-d} \cdot (w-1)^d \cdot (C_m^d - Z_{m,d}))$ операций вида 2), где $Z_{m,d}$ – количество ЭП от d переменных, для которых $a_{i_1 \dots i_m} = 0$, $\left[\log_k \left(\sum_{d=0}^m (C_m^d - Z_{m,d}) \right) \right]$ операций вида 3). В результате,

$$N_{\Gamma\Phi(2k)} = k \cdot \left(m \cdot (w-2) + \sum_{d=1}^m (2^{m-d} \cdot (w-1)^d \cdot (C_m^d - Z_{m,d})) + \left[\log_k \left(\sum_{d=1}^m (C_m^d - Z_{m,d}) \right) \right] \right). \quad (3)$$

Количество БВВ, которые требуется задействовать для обеспечения вычисления значения НПФ(m) вида (1), равно

$$N_{\text{ЮВ}} = k \cdot (m+1). \quad (4)$$

Нижняя оценка количества D -триггеров, требуемых для вычисления НПФ(m) вида (1) в архитектуре ПЛИС класса FPGA, определено как:

$$N_D \geq N_{\Gamma\Phi(2k)} + N_{\text{ЮВ}} \quad (5)$$

На основе вышеизложенного справедливо следующее

утверждение 1. НПФ(m) вида (1) при заданных значениях коэффициентов $a_{i_1 \dots i_m}$, $i_j = \overline{0, 2^k - 1}$, $j = \overline{1, m}$, реализуема на ПЛИС/FPGA, для которой определены $Q_{\Gamma\Phi(2k)}$, Q_D и $Q_{\text{ЮВ}}$ при условии выполнения ограничений (2) при вычислении параметров $N_{\Gamma\Phi(2k)}$, N_D и $N_{\text{ЮВ}}$ согласно (3), (5) и (4), соответственно.

Пусть на ПЛИС/FPGA заданного типа для НПФ(m) вида (1) выполняется условие (2), а для НПФ($m+1$) вида (1) – не выполняется. Тогда вычисление НПФ вида (1) от q переменных, $q > m$, требует привлечения МВС с программируемой архитектурой, в состав которой входят более одной ПЛИС/FPGA, тип которой был изначально задан. Выражение (1) перепишем в виде:

$$f(x_1, \dots, x_q) = \sum_{i_{m+1}=0}^w \dots \sum_{i_q=0}^w f_{i_{m+1} \dots i_q}(x_1, \dots, x_m) \cdot x_{m+1}^{i_{m+1}} \cdot \dots \cdot x_q^{i_q}, \quad w = 2^k - 1. \quad (6)$$

В случае, когда величина $f_{i_{m+1} \dots i_q}(x_1, \dots, x_m)$ является переменной, то параметры $N_{\Gamma\Phi(2k)}$, N_D и N_{IOB} в неравенстве (2) вычисляются с учетом данного факта согласно выражениям:

$$N_{\Gamma\Phi(2k)} = k \cdot \left((q-m) \cdot (w-2) + \sum_{d=0}^{q-m} (2^{q-m-d} \cdot (w-1)^d \cdot (C_{q-m}^d - Z_{q-m,d})) + \right. \\ \left. + \log_k \left(\sum_{d=0}^{q-m} (C_{q-m}^d - Z_{q-m,d}) \right) \right) \quad (7)$$

$$N_{\text{IOB}} = k \cdot (2^{k(q-m)} + m + 1). \quad (8)$$

На основе вышеизложенного справедливо

утверждение 2. НПФ(q) вида (6), $q > m$, при заданных значениях коэффициентов $a_{i_1 \dots i_q}$, $i_j = \overline{0, 2^k - 1}$, $j = \overline{1, q}$, реализуема на множестве ПЛИС/FPGA мощностью не более $2^{k(q-m)} + 1$, для которых определены $Q_{\Gamma\Phi(2k)}$, Q_D и Q_{IOB} при условии выполнения ограничений (2) при вычислении параметров $N_{\Gamma\Phi(2k)}$, N_D и N_{IOB} согласно (7), (5) и (8), соответственно.

Утверждения 1 и 2 позволяют определить максимальное количество переменных НПФ вида (1) и вида (6), вычисление которых реализуемо при использовании ПЛИС/FPGA заданного типа в составе МВС с программируемой архитектурой.

Согласно условиям вида (2), существуют следующие пути увеличения максимального количества переменных НПФ вида (1) и вида (6). Первый путь – применение в МВС с программируемой архитектурой ПЛИС/FPGA, имеющих максимальные характеристики $Q_{\Gamma\Phi(2k)}$, Q_D и Q_{IOB} . Второй путь – увеличение количества ПЛИС/FPGA, входящих в состав МВС с программируемой архитектурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления/ В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 600 с.
2. Кузелин, М.О. Современные семейства ПЛИС фирмы Xilinx: справочное пособие / М.О. Кузелин, Д.А. Кнышев, В.Ю. Зотов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 440 с.

3. Дордопуло, А.И. Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы / А.И. Дордопуло, И.А. Каляев, И.И. Левин и др. // «Суперкомпьютеры». – 2010. – № 3 (3). – С. 44–48.

4. Каляев, И.А. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные системы для решения потоковых задач обработки информации и управления/ А.В. Каляев, И.И. Левин// Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'10): пленарные докл. 5-ой Междунар. конф. 26–28 окт. 2010. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 23–37.

5. Virtex-4 Family Overview/ Xilinx Inc. Cop. 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds112.pdf.

6. Virtex-7 FPGAs Data Sheet: DC and Switching Characteristics. DS183 (v1.0) March 1, 2011/ Xilinx Inc. Cop. 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds183_Virtex_7_Data_Sheet.pdf.

7. Захаров, В.М. Вычисление нелинейных полиномиальных функций на многопроцессорной системе с программируемой архитектурой/В.М.Захаров, С.В.Шалагин// Информационные технологии. - 2012. - №5. - С. 6 – 11.

8. Шалагин, С.В. Сложность вычисления нелинейных полиномиальных функций над полем $GF((2^2)^k)$ на ПЛИС/FPGA/ С.В.Шалагин// АКТО-2014: сб. докладов междунар. научно-практич. конф. Т. II. – Казань, 2014 – С. 661 – 664.

9. Шалагин, С.В. Сложность вычисления нелинейной полиномиальной функции над полем Галуа вида $GF(2^k)$ в базисе булевых функций от $2k$ переменных/ С.В.Шалагин// Дискретные модели в теории управляющих систем: труды IX Междунар. конф. Москва и Подмосковье, 20–22 мая 2015. – М.: МАКС Пресс, 2015. – С. 264-266.

10. Шалагин, С.В. Оценка сложности распределенного вычисления нелинейной полиномиальной функции над полем $GF(2^K)$ на многопроцессорной вычислительной системе/ С.В.Шалагин// Новые информационные технологии и системы: сб. научн. статей XI Междунар. научно-технич. конф. – Пенза, 25-27 ноября 2014 года. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2014 – С. 9 – 12.

11. Шалагин, С.В. Реализация цифровых устройств в архитектуре ПЛИС/FPGA при использовании распределенных вычислений в полях Галуа/ С.В.Шалагин. – Казань: изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. – 228 с.

КОНВЕЙЕРНОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ ЗАДАННЫХ ПОДКЛАССОВ ДИСКРЕТНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

С.В. Шалагин (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань,
К.Маркса, 10)

E-mail: sshalagin@mail.ru

THE SET OF SUBCLASSES OF DISCRETE STOCHASTIC MARKOV PROCESSES PIPELINED GENERATING

S. V. Shalagin (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: set of subclasses of stochastic matrix, discrete stochastic Markov processes pipelined generating.

Введение. Вероятностные автоматы (ВА) находят широкое применение в таких областях, как построение вероятностных моделей алгоритмов для решения задач защиты информации, статистическое моделирование, распознавание образов, кодирование и декодирование информации, техническая диагностика цифровых устройств, обработка сигналов в системах связи и управления. Поэтому исследование вопросов синтеза ВА имеет важное теоретическое и прикладное значение. Использование ВА позволяет определить метод генерирования дискретных стохастических марковских процессов (ДСМП) и их функций, как детерминированных, так и стохастических.

Представляют интерес задачи синтеза конечных цепей Маркова и их стохастических функций, задаваемых стохастическими матрицами (СМ) [1 - 4]. Примерно с 70-х годов XX века известен метод разложения СМ на имплицитный вектор и стохастические булевы матрицы [5 - 7]. Были предложены различные модификации указанного метода, которые имеют ограничения в зависимости как от вида элементов СМ [8], так и от структуры самой СМ [9, 10].

Предложенный в работе метод разложения СМ не предполагает каких-либо ограничений ни на ее структуру, ни на вид ее элементов. Метод позволяет производить генерирование ДСМП и их функций при использовании конвейерных вычислений [12, 13].

Постановка задачи. Для стохастической матрицы размерности l на n имеет место выражение [7]:

$$P_{l \times n} = \sum_{b=1}^B a_b A_b, \quad (1)$$

где $B \leq (n-1) \cdot l + 1$, (a_b) – имплицитный вектор, (A_b) – система стохастических булевых матриц размерности l на n , $b = \overline{1, B}$.

Введем в рассмотрение конечный детерминированный автомат (КДА) вида $A = (X, S, s = \varphi(x, s))$, где X, S – множества входов и внутренних состояний, $s = \varphi(x, s)$ – автоматная функция, реализующая преобразование вида $S \times X \rightarrow S$.

Стохастическая функция, определенная на основе СМ $P_{l \times n}$, представима (согласно известной методике, определенной в [5, 6]) структурной схемой, включающей генератор дискретной случайной величины (ДСВ) $X: |X| \leq B$ и КДА вида A , для которого, в общем случае, $|S| = n$, $|X| \leq B$. С целью уменьшения оценок сложности вычисления автоматной функции $s = \varphi(x, s)$, актуальна задача снижения верхней границы для значения B , имеющего порядок $O(n \cdot l)$.

Замечание 1 [12]. Для частных случаев СМ, определенных согласно [8, 9], верхняя оценка для значения B может иметь меньшее значение.

СМ $P_{l \times n}$ представима согласно выражению:

$$P_{l \times n} = (\widehat{P}_{l \times d}^{(i)} \cdot P'_{d \times n}(i)), \quad i = \overline{1, l}, \quad (2)$$

где $n \bmod d = 1$, $\widehat{P}_{l \times d}^{(i)} = (\widehat{p}_1^{(i)} \quad \dots \quad \widehat{p}_d^{(i)})$, $P'_{d \times n}(i) = (M_1^{(i)} \quad \dots \quad M_d^{(i)}) \cdot I_d$, $\widehat{p}_k^{(i)} = \sum_{j \in D_k} p_{ij}$, $M_k^{(i)} = (p_{ij} / \widehat{p}_k^{(i)})_{l \times (n/d)}$, $j \in D_k$, $k = \overline{1, d}$, I_d – $d \times n$ -матрица, в которой d -я строка содержит значения «1», а остальные элементы – значения «0», $i = \overline{1, l}$. При этом $P_{l \times n} = (p_{ic_1} \quad p_{ic_2} \quad \dots \quad p_{ic_d})$, $i = \overline{1, l}$, $c_k = \overline{n(k-1)/d + 1, n \cdot k/d}$, $D_k = [n(k-1)/d + 1, n \cdot k/d]$, $k = \overline{1, d}$.

Согласно [12, 13], имеет место

Теорема. Любая стохастическая матрица $P_{l \times n}$ представима согласно (2).

Доказательство. Условие теоремы $n \bmod d = 1$ выполнимо для СМ $P_{l \times n}$ любой размерности путем добавления к указанной стохастической матрице справа столбцов из нулевых элементов. Вновь полученная СМ будет генерировать тот же ДСМП, что и $P_{l \times n}$.

Возможность представления СМ заданной размерности согласно (2) доказывается на основе аппарата теории матричной арифметики. \square

Доказанная теорема обосновывает конвейерный метод генерирования ДСМП, заданного СМ $P_{l \times n}$, представленной согласно (2). Метод включает два этапа [12].

Этап 1. Получение ДСВ $\widehat{X} \in [1, d]$, распределенной в соответствии со СМ $\widehat{P}_{l \times d} = (\widehat{P}_{l \times d}^{(i)})_{l \times d} = (\widehat{p}_k^{(i)})_{l \times d}$, при заданном значении $i: i = \overline{1, l}, k = \overline{1, d}$.

Этап 2. Генерирование значения ДСМП в соответствии с одной из d СМ $P'_{l \times (n/d)}(\widehat{X}) = (M_{\widehat{X}}^{(i)})$, $i = \overline{1, l}$, при заданном значении ДСВ \widehat{X} , полученном на этапе 1, $\widehat{X} = \overline{1, d}$.

Замечание 2 [12]. СМ вида $\widehat{P}_{l \times d}$ представима на основе разложения вида (1), где $\widehat{B} \leq (d-1) \cdot l + 1$. Верхняя оценка для \widehat{B} имеет порядок $O(d \cdot l)$. Значения $\widehat{P}_{l \times d}^{(i)} = (\widehat{p}_1^{(i)} \dots \widehat{p}_d^{(i)})$, $i = \overline{1, l}$, получены на основе выражения (2).

Согласно замечанию 2, стохастическая функция, определенная на основе СМ $\widehat{P}_{l \times d}$, представима структурной схемой, включающей генератор ДСВ $X': |X'| \leq \widehat{B}$ и КДА вида А: $|S| = d, |X| \leq \widehat{B}$.

Замечание 3 [12]. Система из d СМ вида $\{P'_{l \times (n/d)}(\widehat{X})\}$, $\widehat{X} = \overline{1, d}$, представима на основе разложения вида (1), где $B' \leq (n/d - 1) \cdot l + 1$. Верхняя оценка для B' имеет порядок $O(n \cdot l / d)$. Значения $(M_{\widehat{X}}^{(i)})$, $i = \overline{1, l}$, $\widehat{X} = \overline{1, d}$, получены на основе выражения (2).

Согласно замечанию 3, стохастическая функция, определенная на основе системы из d СМ вида $\{P'_{l \times (n/d)}(\widehat{X})\}$, $\widehat{X} = \overline{1, d}$, представима структурной схемой, включающей d генераторов ДСВ $X''_{\widehat{X}}: |X''_{\widehat{X}}| \leq B'$ и КДА вида А: $|S| = n/d, |X| \leq B'$. Имеют место [12]

Утверждение. Для $d < n: n \bmod d = 1$, СМ $P_{l \times n}$ представима согласно (2) на основе генератора ДСВ $X': |X'| \leq \widehat{B}$, КДА вида А: $|S| = d, |X| \leq \widehat{B}$, $\widehat{B} \leq (d-1) \cdot l + 1$, d генераторов ДСВ $X''_{\widehat{X}}: |X''_{\widehat{X}}| \leq B'$, $\lceil \log_2 \widehat{B} \rceil$ мультиплексоров « d в 1» и КДА вида А: $|S| = n/d, |X| \leq B', B' \leq (n/d - 1) \cdot l + 1$.

Следствие 1 из утверждения. Для $d < n: n \bmod d = 1$, и $l = n$, СМ $P_{l \times n}$ представима согласно (2) на основе генератора ДСВ $X': |X'| \leq \widehat{B}$, КДА вида А: $|S| = d, |X| \leq \widehat{B}$, $\widehat{B} \leq (d-1) \cdot n + 1$, d генераторов ДСВ $X''_{\widehat{X}}: |X''_{\widehat{X}}| \leq B'$, $\lceil \log_2 \widehat{B} \rceil$ мультиплексоров « d в 1» и КДА вида А: $|S| = n/d, |X| \leq B', B' \leq (n/d - 1) \cdot n + 1$.

Для случая, когда $d = l$, имеет место [12]

Следствие 2 из утверждения. Для $d = l$ СМ $P_{l \times n}$ представима на основе системы из l генераторов ДСВ $X: |X| = n$ и $\lceil \log_2 n \rceil$ мультиплексоров « l в 1».

Следствием 2 из утверждения обоснован частный случай представления СМ вида $P_{n \times n}$, $l = n$: в соответствии с [11, стр. 55], требуется n генераторов ДСВ $X: |X| = n$ и $\lceil \log_2 n \rceil$ мультиплексоров « n в 1».

Применение предложенного метода разложения СМ вида $P_{n \times n}$ возможно, когда $d = \sqrt{n}$, причем $\lceil \sqrt{n} \rceil = \sqrt{n}$.

Следствие 3 из утверждения [12]. Для $d = \sqrt{n}$ и $\lceil \sqrt{n} \rceil = \sqrt{n}$ СМ $P_{l \times n}$ представима согласно (2) на основе $1 + \sqrt{n}$ генераторов ДСВ $X: |X| \leq B$, $\lceil \log_2 B \rceil$ мультиплексоров « \sqrt{n} в 1» и двух КДА вида $A: |S| = \sqrt{n}$, $|X| \leq B$, $B \leq (\sqrt{n} - 1) \cdot l + 1$.

Недостатком генератора ДСМП, определенного на основе следствия 2 из утверждения, является линейный рост сложности схемы мультиплексирования при росте значения l . Тогда как для генератора, определенного согласно следствию 3 из утверждения, рост сложности схемы мультиплексирования имеет порядок $O(\sqrt{n})$. Кроме того, для второго генератора порядок верхней границы множества X равен $O(l\sqrt{n})$, что в \sqrt{n} раз меньше, чем для известного метода, представленного в [5, 6].

Замечание 3 [12]. Возможно рекурсивное применение предложенного модифицированного метода к СМ вида $(\hat{p}_k^{(i)})_{l \times d}$, $i = \overline{1, l}$, $k = \overline{1, d}$, и $P'_{l \times (n/d)}(\hat{X})$, полученным на первом и втором этапах метода, соответственно.

Рассмотрим пример двукратного применения предложенного модифицированного метода к СМ вида $P_{l \times n}$ для $d = \sqrt{n}$, $\lceil \sqrt{n} \rceil = \sqrt{n}$, $\lceil \sqrt[4]{n} \rceil = \sqrt[4]{n}$ в соответствии со следствием 3 из утверждения. В результате первого применения получена СМ вида $(\hat{p}_k^{(i)})_{n \times \sqrt{n}}$ и система из \sqrt{n} СМ вида $P'_{n \times \sqrt{n}}(\hat{X})$. В результате второго применения модифицированного метода к СМ вида $(\hat{p}_k^{(i)})_{n \times \sqrt{n}}$ получена СМ вида $(\tilde{p}_k^{(i)})_{n \times \sqrt[4]{n}}$ и система из $\sqrt[4]{n}$ СМ вида $\tilde{P}'_{n \times \sqrt[4]{n}}(\hat{X})$. Второе применение к каждой из \sqrt{n} СМ вида $P'_{n \times \sqrt{n}}(\hat{X})$, $\hat{X} = \overline{1, \sqrt{n}}$, позволяет получить СМ вида $(\ddot{p}_k^{(i)}(\hat{X}))_{n \times \sqrt[4]{n}}$ и систему из $\sqrt[4]{n}$ СМ вида $\ddot{P}'_{n \times \sqrt[4]{n}}(\hat{X}, \ddot{X})$, $\ddot{X} = \overline{1, \sqrt[4]{n}}$.

Представляют интерес определенные частные случаи СМ, заданных согласно (2) на основе теоремы. Например, циклические ДСМП индекса r , заданные СМ, приведенной к нормальному виду [14]:

$$P_{l \times n} = \begin{pmatrix} 0 & Q_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & Q_{23} & \dots & 0 \\ \dots & & \dots & & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & Q_{(r-1)r} \\ Q_{r1} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $Q_{i(i+1)}$, Q_{r1} , $i = \overline{1, (r-1)}$ – СМ класса эргодических; размерность СМ $Q_{i(i+1)} - l_i \times n_{i+1}$, $i = \overline{1, (r-1)}$, размерность $Q_{r1} - l_r \times n_1$, $\sum_{i=1}^r l_i = l$, $\sum_{i=1}^r n_i = n$. Циклические СМ представляют интерес, в частности, как объект для распознавания процессов, определенных на их основе [15, 16].

В случае представления циклической СМ вида (3) на основе разложения вида (1) согласно [5, 6], величина $B \leq 1 - n + l_r \times n_1 + \sum_{i=1}^{r-1} l_i \times n_{i+1} \leq 1 - n + n \cdot \max_{i=1,r} l_i$. Имеет место

следствие 4 из утверждения. Для $d = r$ циклическая СМ $P_{l \times n}$ вида (3) представима согласно (2) на основе циклического счетчика, меняющего свое состояние от 0 до $(r-1)$, r генераторов ДСВ $X_{\bar{x}}'' : |X_{\bar{x}}''| \leq B'$, $\lceil \log_2 r \rceil$ мультиплексоров « r в 1» и КДА вида $A : |S| = n_M$, $|X| \leq B'$, $B' \leq (n_M - 1) \cdot l_M + 1$, где $n_M = \max_{i=1,r} n_i$, $l_M = \max_{i=1,r} l_i$.

Предложенный в работе метод разложения стохастических матриц имеет два преимущества перед уже существующим. Первое преимущество – снижение порядка верхней границы множества значений дискретной случайной величины и множества входов конечного детерминированного автомата с $O(n^2)$ до $O(n\sqrt{n})$. Снижение производится за счет поэтапного (конвейерного) вычисления значений дискретного стохастического марковского процесса с сохранением промежуточных результатов, что является вторым преимуществом предложенного модифицированного метода. Вместе с тем, указанные преимущества реализуемы за счет привлечения параллельных регистров, сохраняющих промежуточные результаты, а также за счет увеличения количества генераторов дискретных случайных величин с заданным законом распределения.

Представляют интерес частные случаи генераторов ДСМП, заданных на основе стохастических матриц, имеющих блочную структуру. Метод позволяет существенно уменьшить сложность реализации указанного класса генераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухараев Р. Г. Специализированная ЭВМ для моделирования и обработки функций конечных однородных цепей Маркова/ Р.Г.Бухараев, В.И.Геза // Всес. симп. по вероятностным автоматам: тезисы докл. Казань: Изд-во КГУ, 1969. – С. 14-15.
2. А.с. 290281 СССР. Устройство для моделирования цепей Маркова / Р.Г.Бухараев, В.И.Геза // Открытия, изобретения. 1970. - № 2.
3. А.с. 362291 СССР. Устройство для моделирования однородных конечных цепей Маркова / Р.Г.Бухараев, В.М.Захаров// БИ. 1973. - № 2.
4. Бухараев, Р.Г. Управляемые генераторы случайных кодов/ Р.Г. Бухараев, В.М. Захаров. – Казань: КГУ, 1978. – 160 с.
5. Поспелов, Д.А. Вероятностные автоматы / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия, 1970. – 88 с.
6. Ченцов, В.М. Об одном методе синтеза автономного стохастического автомата / В.М. Ченцов // Кибернетика. – 1968. – № 3. – С. 32–35.
7. Лоренц А.А. Синтез надежных вероятностных автоматов/ А.А.Лоренц. – Рига: «Зинатне», 1975. – 168 с.
8. Захаров, В.М. Анализ алгоритмов разложения двоично-рациональных стохастических матриц на комбинации булевых матриц/ В.М.Захаров, Б.Ф.Эминов// Информационные технологии. 2008. – № 3. – с. 54-59.
9. Кузнецов С.Е. Задача о минимальном имплицитующем векторе/ С.Е.Кузнецов, Н.Н.Нурмеев, Ф.И.Салимов// Математические вопросы кибернетики. 1991. – Вып. 3. – с. 199-216.
10. Альпин Ю.А. Моделирование случайных последовательностей автономными автоматными схемами/ Ю.А.Альпин, В.М.Захаров// Вероятностные автоматы и их приложения. - Казань: Изд-во КГУ, 1986. С. 22-29.
11. Захаров, В.М. Аппаратно-программная организация специализированных процессоров на основе автономных вероятностных автоматов: дис. ... д-ра техн. наук / Захаров Вячеслав Михайлович. – Казань. 1992. – 297 с.
12. Шалагин, С.В. Метод разложения стохастических матриц для синтеза конвейерных генераторов дискретных марковских процессов/ С.В.Шалагин// Вестник технологического университета. 2015. Т 18, № 10. – С. 160-162.
13. Шалагин, С.В. Конвейерное генерирование дискретных марковских процессов на основе разложения стохастических матриц/ С.В.Шалагин// «Дискретная математика и ее приложения»: материалы XII

Международ. семинара имени академика О.Б.Лупанова (Москва, МГУ, 20-25 июня 2016 г.)/ Под. ред. О.М.Касим-Заде. – М.: изд-во механико-математического факультета МГУ, 2016. – С. 178 – 181.

14. Романовский, В.И. Дискретные цепи Маркова/ В.И.Романовский. – М. Гостехиздат, 1949. 436 с.

15. Нурутдинова А.Р. Распознавание подклассов марковских автоматов на основе последовательности состояний конечной длины/ А.Р.Нурутдинова, С.В.Шалагин// Проблемы теоретической кибернетики: материалы XVI Межд. конф. – Нижний Новгород: изд-во Нижегородского государственного университета, 2011. – С. 344 – 347.

16. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ 2015615009 РФ. Распознавание подклассов марковских автоматов, определенных на базе циклических стохастических матриц/ А.Р. Нурутдинова (РФ); заявитель и патентообладатель Нурутдинова А.Р. – № 2015611985; Заявл. 17.03.2015; Зарег. в реестре программ для ЭВМ 18.01.2011; Оpubл. 20.06.2015. Бюл. № 6 (104).

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХЪЯРУСНОЙ ВЕТРОТУРБИНЫ ДАРЬЕ

Шалимова Е.С. , Климина Л.А.* , Самсонов В.А.* , Лин Ч.-Н.***

(* НИИ механики МГУ, Россия, 119192, Москва, Мичуринский просп., 1;

** Chien Hsin University of Science and Technology, No.229, Jianxing Rd.,
Zhongli Dist., Taoyuan City 32097, Taiwan)

E-mail: dosayev@imec.msu.ru

ASYMPTOTICAL MODELING OF DYNAMICS OF A DOUBLE DARRIEUS WIND TURBINE

E.S. Shalimova , L.A. Klimina* , V.A. Samsonov* , Ch.-H. Lin***

(* LMSU Institute of Mechanics, Michurinsky prosp.,1, 119192, Moscow, Russia;

** Chien Hsin University of Science and Technology, No.229, Jianxing Rd.,
Zhongli Dist., Taoyuan City 32097, Taiwan)

Keywords: counter-rotating Darrieus wind turbine, closed dynamical model, steady motions.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 15-01-06970, 16-31-00374.

Введение. Рассматривается двухъярусная ветротурбина с вертикальной осью вращения (ветротурбина Дарье), состоящая из двух установленных друг над другом идентичных по характеристикам зеркально симметричных турбин (рис. 1).

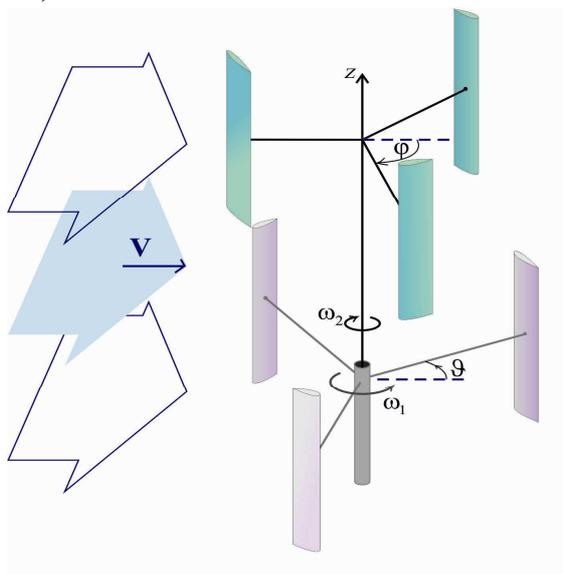


Рис. 1 Схема двухъярусной ветротурбины

Система имеет две степени свободы. Предполагается, что на программном режиме движения турбины вращаются в противоположных направлениях. Ротор электрогенератора ветроустановки закреплен на оси одной из турбин, статор – на оси дугой турбины. Таким образом, угловая скорость ротора относительно статора совпадает с угловой скоростью одной из турбин относительно второй турбины.

Генератор подключен к локальной электрической цепи. Внешнее сопротивление в цепи является варьируемым параметром модели и характеризует нагрузку на генератор со стороны потребителей электроэнергии.

Замкнутая математическая модель подобной системы в случае одной турбины (классическая ветроустановка Дарье) рассматривалась в [1]. Эта модель основана на гипотезе квазистационарности аэродинамического воздействия, достаточно проста и позволяет провести качественный параметрический анализ рабочих режимов, в частности описать гистерезис угловой скорости турбины на рабочем режиме в зависимости от направления изменения величины внешнего сопротивления в цепи генератора.

В данной работе модель [1] модифицирована путем усреднения аэродинамического момента за оборот турбины. Это позволило, несмотря на увеличение числа степеней свободы системы, провести детальный параметрический анализ рабочих режимов, построить бифуркационные диаграммы угловой скорости на рабочем режиме в зависимости от коэффициента внешней электрической нагрузки.

Уравнения модели. Динамика исследуемой установки описывается следующими безразмерными уравнениями (точкой обозначена производная по безразмерному времени):

$$\begin{cases} \ddot{\vartheta} = \varepsilon (f_{aero}(\vartheta, \dot{\vartheta}) - c(\dot{\vartheta} + \dot{\varphi})); \\ \ddot{\varphi} = \varepsilon (f_{aero}(\varphi, \dot{\varphi}) - c(\dot{\vartheta} + \dot{\varphi})). \end{cases} \quad (1)$$

$$f_{aero}(x, y) = \sum_{i=1}^n \sqrt{d_i^2 + l_i^2} (C_l(\alpha_i)l_i - C_d(\alpha_i)d_i);$$

$$l_i = \cos\left(x + \frac{\pi}{n}i\right), \quad d_i = \left(y + \sin\left(x + \frac{\pi}{n}i\right)\right); \quad \alpha_i = \arctg\left(\frac{l_i}{d_i}\right);$$

$$c = \frac{2C}{V\rho Sr^2(\sigma + R)} > 0; \quad \varepsilon = \frac{\rho Sr^3}{2J} > 0.$$

Здесь ϑ и φ – углы поворота нижней и верхней турбин, отсчитываемые от направления скорости потока ветра. Положительные направления отсчета этих углов противоположны друг другу (рис. 1). Каждая турбина имеет n одинаковых лопастей, на рис. 1 $n = 3$. Параметр $\varepsilon = 0.5\rho S r^3 J^{-1}$ предполагается далее малым параметром модели (ρ – плотность воздуха, r – радиус каждой из турбин, S – характерная суммарная площадь лопастей одной турбины, J – момент инерции каждой из турбин относительно оси вращения). α_i – мгновенный угол атаки лопасти, $C_d(\alpha)$, $C_l(\alpha)$ – коэффициенты силы сопротивления и подъемной силы.

Коэффициент c внешней электрической нагрузки отвечает за величину электрической нагрузки на генератор со стороны потребителей электроэнергии (C – коэффициент электромеханического взаимодействия, σ – внутреннее сопротивление генератора, R – внешнее сопротивление в цепи генератора, V – скорость ветра).

Рассмотрим движения системы, при которых значения каждой из угловых скоростей турбин отделены от нуля. Тогда при достаточно малых ε можем считать, что изменения угловых скоростей за один оборот малы по сравнению с самими угловыми скоростями. В предложенной модели (1) заменим выражения для аэродинамического момента его средним значением за оборот, вычисленным в предположении постоянства угловой скорости в течение оборота:

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = \varepsilon(\Psi(\omega_1) - c(\omega_1 + \omega_2)); \\ \dot{\omega}_2 = \varepsilon(\Psi(\omega_2) - c(\omega_1 + \omega_2)). \end{cases} \quad \Psi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_{aero}(x, \omega) dx. \quad (2)$$

На рис. 2 показан характерный для широкого класса турбин качественный вид функции $\Psi(\omega)$, описывающей среднее за оборот значение аэродинамического момента турбины при постоянной угловой скорости ω .

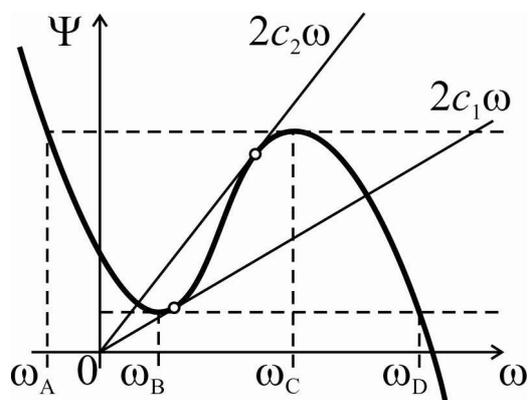


Рис. 2. Качественный вид функции $\Psi(\omega)$

Уравнения (2) представляют собой модифицированную, «усредненную» модель динамики двухъярусной ветроустановки. Отметим, что формальное усреднение аэродинамического момента выполнено, в том числе, для нулевой угловой скорости. Вопрос о применимости полученной модели при нулевых и близких к нулю значениях угловых скоростей выходит за рамки данной работы.

Установившиеся режимы движения. Будем считать, что рабочим режимам ветротурбины в предложенной модели отвечают устойчивые неподвижные точки $\{\Omega_1, \Omega_2\}$ системы (2).

Неподвижные точки $\{\Omega_1, \Omega_2\}$ системы (2) определяются из уравнений:

$$\Psi(\Omega_1) = \Psi(\Omega_2); \quad c = \frac{\Psi(\Omega_1)}{\Omega_1 + \Omega_2}. \quad (3)$$

В силу симметрии системы (2) достаточно рассмотреть решения, для которых $\Omega_1 \leq \Omega_2$. Первое уравнение системы (3) позволяет для произвольного Ω_1 найти от одного до трех значений Ω_2 таких, что пара $\{\Omega_1, \Omega_2\}$ является неподвижной точкой системы (2) при некотором c , определяемом в свою очередь вторым уравнением системы (3).

На рис. 3 представлен качественный вид бифуркационной диаграммы неподвижных точек системы (2) в зависимости от параметра c : $\Omega_1(c)$, $\Omega_2(c)$. Эта диаграмма представлена четырьмя ветвями решений: 1) ветвь $\Omega_1(c) = \Omega_2(c) = \Omega(c)$ (турбины вращаются с одинаковыми по величине, но противоположными по направлению скоростями); 2) ветвь, для которой $\Omega_1(c) \in [\omega_A, \omega_B]$, в то время как $\Omega_2(c) \in [\omega_C, \omega_D]$; 3) ветвь $\Omega_1(c) \in [\omega_A, \omega_B]$, $\Omega_2(c) \in [\omega_C, \omega_B]$; 4) ветвь $\Omega_1(c) \in [\omega_C, \omega_B]$, $\Omega_2(c) \in [\omega_C, \omega_D]$.

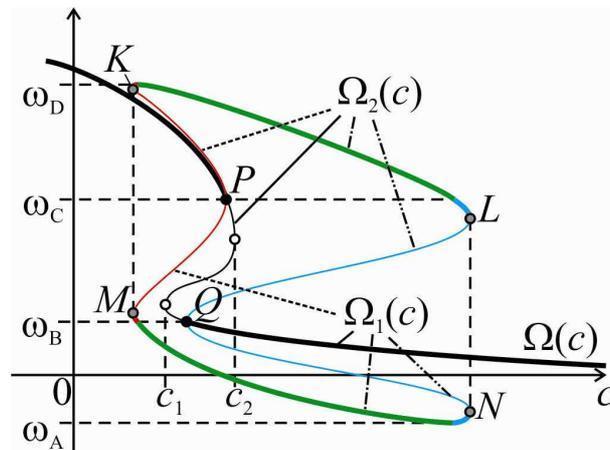


Рис. 3. Качественный вид бифуркационной диаграммы

Достаточные условия асимптотической устойчивости неподвижной точки $\{\Omega_1, \Omega_2\}$ имеют следующий вид:

$$\begin{cases} 2c > \Psi'_1 + \Psi'_2; \\ c(\Psi'_1 + \Psi'_2) < \Psi'_1 \Psi'_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\Psi'_i = \left. \frac{d\Psi}{d\omega} \right|_{\omega=\Omega_i}$

Если же выполнено строгое неравенство, обратное к любому из неравенств (4), то соответствующая неподвижная точка системы (2) неустойчива.

Нетрудно показать, что для ветви «1» условия (4) эквивалентны отрицательности производной $d\Psi / d\omega$, в то время как для ветвей «2-4» границы выполнения условий (4) соответствуют точкам бифуркационных кривых, имеющих вертикальную касательную ($dc / d\omega = 0$). Участки бифуркационных кривых, соответствующие устойчивым точкам, выделены жирной линией, неустойчивым – тонкой линией. Для точек K, L, M, N, P, Q , являющихся границами участков устойчивости, условий (4) первого приближения недостаточно для решения вопроса об устойчивости.

Отметим также, что анализ направления фазовых скоростей на фазовой плоскости $\{\square_1, \square_2\}$ системы (2) показывает, что невозможно существование циклов системы (2), и, соответственно, отсутствуют другие типы притягивающих множеств, помимо асимптотически устойчивых неподвижных точек.

Заключение. Проведенный параметрический анализ модели (2) позволил описать качественную зависимость угловых скоростей турбин на рабочем режиме от коэффициента электрической нагрузки.

В частности, выявлены качественные свойства динамики, подобные особенностям динамики классической ветротурбины Дарье (т.е. вертикально-осевой ветроустановки с одной турбиной, описанной в [1]):

1) Можно выделить высокоскоростные и низкоскоростные режимы, режимы с угловыми скоростями из некоторого «среднего» диапазона не наблюдаются (соответствующие решения системы неустойчивы).

2) Имеет место гистерезис угловой скорости в зависимости от направления изменения величины коэффициента внешней нагрузки.

Были выявлены и принципиальные отличия от случая однотурбинной установки:

1) Участки ветви $\Omega_1(c) = \Omega_2(c) = \Omega(c)$, отвечающие притягивающим движениям, для случая двухъярусной установки сужаются по сравнению с классической.

2) Имеет место наличие «дополнительных» типов рабочих режимов, при которых угловые скорости турбин различны по величине. Такие режимы не имеют аналогов для классической установки.

3) Высокоскоростные «дополнительные» режимы существуют, в том числе при более высоких значениях коэффициента нагрузки, чем «классические» высокоскоростные режимы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klimina L., Lokshin B., Samsonov V. (2009). Parametrical analysis of the behaviour of an aerodynamic pendulum with vertical axis of rotation // Modelling, Simulation and Control of Nonlinear Engineering Dynamical Systems. State-of-the-Art, Perspectives and Applications. Springer. pp. 211–220.

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ПОДСТРОЙКОЙ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

П.С. Широков, А.Г. Дегтярев (КНИТУ-КАИ, Россия,
420111, Казань, К.Маркса, 10)

**NEURAL NETWORKS MODELLING APPLICATION FOR
FORECASTING AND RATIONAL ENERGY RESOURCES USAGE
PROBLEMS WITH AUTO TUNING OF NEURAL NETWORKS
PARAMETERS AND TRANSFER FUNCTIONS**

P.S. Shirokov, A.G. Degtyarev (KNRTU-KAI, Russia, 420111, Kazan,
K.Marx str, 10)

Keywords: energy efficiency, neural networks, energy simulation, energy analysis, intelligent planning.

Активное развитие промышленности ведет к значительному росту потребления энергетических ресурсов. Одновременно просматривается тенденция возникновения дефицита энергоресурсов. В связи с этим возникает острая необходимость их рационального использования в промышленности как крупнейших потребителей. Решить данную проблему возможно составлением прогноза энергопотребления и дальнейшей оптимизацией расхода ресурсов. Оптимизация расхода электроэнергии несет ряд важнейших преимуществ для отдельного предприятия в виде экономической выгоды. Учитывая особенности сезонного или производственного энергопотребления можно прогнозировать более загруженные периоды, планировать профилактические работы и планировать мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности.

Задача энергоэффективности и рационального использования энергоресурсов (электроэнергии в частности) актуальна не только в промышленности, но и в быту. Например, применение нейронных сетей для проектирования «умных домов», позволяют контролировать процессы нагрева в определенное время суток, учитывая привычки и предпочтения жильцов, и позволяют найти компромисс между энергоэффективностью и личным комфортом. [1]

В настоящее время объем ископаемых углеводородов сильно сокращается, а расходы электроэнергии продолжают расти. Поэтому задача энергоэффективности сегодня особенно актуальна. Относительно новая область, которая столкнулась с проблемой роста потребления энергоресурсов, это связь. Из-за постоянно растущего количество электронных устройств эта область тоже вынуждена искать пути снижения потребления энергии. [2]

В виду вышесказанного задача планирования и рационального потребления электроэнергии остается исключительно важной, определяющей развитие промышленности, рынка товаров и услуг и жизнедеятельности.

Рассматривается фундаментальная научная проблема моделирования, анализа и синтеза системы потребления энергоресурсов в рамках отдельного производственного сектора.

Задача планирования потребления электроэнергии всегда была важна для учета затрат на энергопотребление. Активное развитие промышленности ведет к значительному росту потребления энергетических ресурсов.

Одновременно просматривается тенденция возникновения дефицита энергоресурсов. В связи с этим возникает острая необходимость рационального использования энергоресурсов в промышленности как крупнейшем потребителе. Решить данную проблему возможно составлением прогноза энергопотребления и дальнейшей оптимизацией расхода ресурсов. Оптимизация расхода электроэнергии несет ряд важнейших преимуществ для предприятия в виде экономической выгоды.

Интеллектуальной системой считаем техническую или программную систему способную решать задачи, традиционно считающимися творческими или, иначе говоря, принадлежащими конкретной предметной области знание о которых храниться внутри системы. Структура типичной интеллектуальной системы включает три основных блока:

- База знаний;
- Механизм вывода решений;
- Интегральный интерфейс.

Интеллектуальные системы считаем динамическими системами, в связи с этим полагаем, что они обладают типичными свойствами динамических систем, а именно:

- Устойчивость;
- Управляемость;
- Наблюдаемость;
- Возможность оценки областей притяжения, существования областей асимптотической устойчивости.

Для технических интеллектуальных систем проводится идентификация обычными способами - определяется безопасность системы (ненанесение вреда), живучесть (сохранение способностей и свойств системы). Наша работа в основном направлена на решение проблем устойчивости интеллектуальных систем, а так как процесс получения информации о состоянии системы и настройка параметров системы происходит без участия человека, то и рассматриваемая в рамках проекта система является интеллектуальной.

Одной из ключевых решаемых задач, является задача подготовки вход-выходных данных на основе показаний приборов учета энергоресурсов. В силу того, что обучающая выборка должна быть репрезентативной и непротиворечивой, на первом этапе производится регуляризация данных, так как среди показаний приборов учета встречаются показания, которые превышают суточную максимальную сумму потребляемых ресурсов (ошибка измерений), встречаются отрицательные значения и т.п. Вход-выходные данные представляют собой динамический ряд посуточных значений приборов учета за определенный промежуток времени, а сам объект потребления энергоресурсов - «черный ящик» с конечным числом входов и выходов. В ходе обработки динамического ряда данных важнейшей задачей является выявление основной тенденции развития явления (тренда) и сглаживание случайных колебаний. Для решения этой задачи существуют особые способы, которые называют методами выравнивания. В качестве одного из таких способов выступает расчет скользящей средней за различные промежутки времени [3].

Простое скользящее среднее численно равно среднему арифметическому значений исходной функции за установленный период и вычисляется по формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \times \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \dots + p_{t-i} + \dots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n},$$

Значения скользящего среднего по ретроспективным значениям показаний приборов учета дополняют уже имеющуюся выборку.

Нейронная сеть работает только с числовыми входными данными, поэтому важным этапом при подготовке данных является преобразование и кодирование данных. Для кодирования входной информации и декодирования выходной информации может выступать любой удобный способ. Для примера в работе используется метод кодирования с применением таблицы ASCII с последующим преобразованием в код Грея.

Пример преобразования в ASCII код:

Значение прибора → ASCII код

103.23 → 0103230 → 48 49 48 51 50 51 48

60.1 → 0060100 → 48 48 54 48 49 48 48

Пример преобразования в код Грея:

ASCII код → Код Грея

48 49 48 51 50 51 48 → 101000101001101000101010
101011101010101000

48 48 54 48 49 48 48 →
101000101000101101101000101001101000101000

Каждый бит полученной последовательности (1010001010011010001010101011101010101000) подается на вход отдельным значением.

Это приводит к увеличению входов и выходов, что усложняет структуру нейронной сети, следовательно, замедляет работу всех алгоритмов, но применение входов с бинарными значениями типа (0;1) делает выборку непротиворечивой, а введенные значения рассчитанных скользящих средних увеличивает репрезентативность, что в совокупности уменьшает ошибку на выходе нейронной сети, и увеличивает точность прогноза значений перспективных периодов. Таким образом рассматриваемый подход позволяет увеличить качество нейронной сети и избежать серьезных проблем, называемых проблемой переобучения.

На втором этапе определяется начальная структура нейросети, которая далее оптимизируется по структуре и параметрам.

Так как в работе для выбора структуры нейронной сети с наименьшей ошибкой на выходе применяется генетический алгоритм, первичный выбор параметров нейронной сети можно задать случайным образом.

Выбор оптимальной структуры нейросети и ее обучение (оптимизация) осуществляется с помощью генетических алгоритмов по критерию минимизации целевой функции ошибки нейросети, которая находится по методу наименьших квадратов.

Генетический алгоритм является наиболее приемлемым способом настройки весовых коэффициентов искусственных нейронных сетей. Это связано с тем обстоятельством, что на начальной стадии нет абсолютно никакой информации о направлении движения в плане настройки весов матрицы [4].

Так же одной из главных особенностей нейронной сети, свидетельствующая о ее широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельной обработке информации всеми звеньями, что позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях [5].

Управление различными объектами, в частности с использованием тех же нейронных сетей, должно строиться на полной информации об объекте управления, но в ряде случаев эта информация недоступна вследствие различных причин, например, выхода из строя приборов учета энергоресурсов.

Применение нейронных сетей обеспечивает возможность решения задачи прогнозирования поведения объекта в будущем.

Целью прогнозирования является предсказание значения исследуемого показателя $y(t_{n+1})$ по заданным n точкам $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$ в последовательные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n в некоторый будущий момент времени t_{n+1} для уменьшения риска при принятии решений.

В качестве тестовой задачи используется система с показаниями одного прибора учета потребления электроэнергии. Постановка задачи в такой форме сделана не случайно, т.к. на значения показаний прибора учета расхода электроэнергии влияют множество трудно предсказуемых вероятностных факторов.

Задача обнаружения и восстановления пропущенных числовых данных сопутствует многим практическим задачам. Существует множество причин возникновения пропусков в обрабатываемых данных, среди которых можно назвать выход из строя регистрирующей аппаратуры, плохие условия наблюдений, различные правила формирования данных в разные периоды времени, наконец, просто потеря части данных. Чаще всего эта задача возникает при обработке одномерных процессов, заданных строкой данных, и при обработке двумерных процессов, представляющих, например, учет сразу нескольких параметров потребления, заданных в виде таблицы данных.

Решаемая в рамках проекта задача восстановления пропусков числовых данных показаний приборов учета энергоресурсов в таблицах и строках сводится к оцениванию функции $y(x)$ в точке x по значениям, заданным в соседних точках, а именно к задаче интерполяции либо экстраполяции двумерных данных в случае с таблицами и одномерных данных в случае с рядами. К особенностям рассматриваемой задачи относится тот факт,

что аргументы x функции $y(x)$ принимают целочисленные значения, а именно $x = n, n = 1 \dots N, y(n)$ – для рядов и $y(n_1, n_2)$ – для таблиц.

Существуют два основных подхода решения задачи восстановления пропусков в таблицах или рядах, а именно: подходы, основанные на применении локальной и глобальной интерполяции или экстраполяции. В первом случае строится аппроксимирующая функция по значениям функции $y(x)$, лежащим в окрестности пропущенной точки, и значение аппроксимирующей функции в пропущенной точке принимается за пропущенное значение. В основе второго подхода лежит нахождение аппроксимирующей функции для всей таблицы или всего ряда по непропущенным значениям и вычислении пропущенных значений функции по значениям аппроксимирующей функции в пропущенных точках.

В качестве аппроксимирующих функций будем использовать искусственные нейронные сети. Алгоритм заполнения пропусков в таблицах и строках с помощью нейронной сети состоит из следующих шагов:

1. Анализ таблицы или строки с целью принятия решения о локальном или глобальном подходе к задаче заполнения пропущенных данных.

2. Анализ таблицы или строки с целью выделения координат пропущенных и непропущенных данных.

3. Формирование обучающей выборки для нейронной сети из непропущенных данных - множество, состоящее из координат непропущенных данных и соответствующих им значений из таблицы или строки. Формирование множества координат пропущенных данных.

4. Формирование архитектуры сети и ее инициализация.

5. Моделирование и обучение нейронной сети. Вычисление ошибки обучения.

6. Оценка ошибки обучения. Если ошибка не удовлетворяет заданным требованиям, то перейти к другой конфигурации нейронной сети и для нее повторно применить шаги 4-5.

7. Шаг 6 повторять до тех пор, пока ошибка не окажется меньше заданной. Если в результате исследований не нашлась конфигурация нейронной сети, при которой ошибка удовлетворяет заданным требованиям, за результат принимаем вариант конфигурации сети с минимально достигнутым значением ошибки.

8. После выбора оптимального варианта конфигурации сети оценить значения пропущенных данных и внести их в таблицу.

В рамках проекта при решении задачи восстановления данных применялись нейронные сети типа СМАС.

Наиболее существенными отличиями нейронных сетей СМАС от других нейронных сетей являются следующие:

- аргументы запоминаемой и воспроизводимой функций принимают только дискретные значения;
- нелинейное преобразование аргументов функции происходит неявно с помощью алгоритма вычисления адресов ячеек ассоциативной памяти, в которых хранятся числа, определяющие значение функции.

Натренированная нейронная сеть СМАС способна предсказывать значения функции, которые ей не были представлены при обучении. Для этого необходимо на вход сети подать вектор аргументов запрашиваемого значения функции, нейронная сеть по данному вектору вычислит адреса активных ячеек обученной памяти, сумма значений которых и будет предсказываемым значением функции.

Результаты восстановления пропусков числовых данных:

Таблица 1

Исходная таблица

619,946	996,111	2040,020	355,205	2074,719	1989,007
2344,413	3141,667	5665,066	897,339	4868,133	4398,158

Таблица 2

Содержащая 6 пропусков (50% всех данных)

619,946			355,205		1989,007
2344,413		5665,066			4398,158

Таблица 3

Восстановленные данные

619,946	976,188	1897,218	355,205	1887,994	1989,007
2344,413	3016,001	5665,066	861,445	4381,319	4398,158

Для решения задачи эффективного использования энергоресурсов в рамках проекта предложен алгоритм функционирования нейрорегулятора на базе MLP нейронной сети, который обеспечивает переключение объектов потребления в случае дефицита энергоресурсов либо по заданному алгоритму.

1. Масштабирование входного сигнала

$$\Delta_x = \frac{1}{X_i^{max} - X_i^{min}}; \quad \tilde{X}_i = \Delta_x \times X_i^{min} + \Delta_x \times X_i;$$

2. Используется Функция Гауса, вида

$$h(x) = \tanh(.);$$

3. Расчет значений реакции нейронов скрытого слоя:

$$h_i^{[hid]} = \tanh \left(b_i^{[hid]} + \sum_{j=1}^{nn} \omega_{ij}^{[hid]} \times \tilde{X}_j \right); \quad j = 1 \dots nn;$$

где nn – число нейронов в скрытом слое

где $b_i^{[hid]}$ – смещение для скрытого слоя.

4. Расчет значений реакции нейронов выходного слоя:

$$\tilde{U}_k = b_k^{[out]} + \sum_{l=1}^m \omega_{kl}^{[out]} \times h_l^{[hid]}; \quad k = 1 \dots m;$$

где $b_k^{[out]}$ – смещение для выходного слоя

5. Демасштабирование выходного сигнала

$$\Delta_{\bar{U}} = \frac{1}{U_k^{max} - U_k^{min}}; \quad U_k = \Delta_{\bar{U}} U_k^{min} + \tilde{U}_k; \quad k = 1 \dots m;$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roessler, F.; Teich, T. & Franke, S. Neural networks for smart homes and energy efficiency Daaam International Scientific Book 2012 pp. 305-314 CHAPTER 26
2. Roessler, F.; Teich, T. & Franke, S. Neural networks for smart HOMES and energy efficiency Daaam International Scientific Book 2012 pp. 305-314 CHAPTER 26
3. Васнев С.А. Статистика: учебное пособие. М.: МГУП, 2001. 170 с.
4. Мищенко В.А., Коробкин А.А. Использование генетических алгоритмов в обучении нейронных сетей [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6 – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5138> (дата обращения: 19.09.2016).
5. Солдатов О.П., Семенов В.В. «Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования»; Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (СГАУ)
6. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Под ред. Ю.Ю. Тарасевича. Астрахань: ИД «Астраханский университет», 2007. 87 с.

7. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления: дис. канд. техн. Наук. – Харьков, 1998. 179 с.

9. Буйякин В.М. Синтез нейрорегуляторов для сложных технологических установок с применением бинарных нечетких отношений // Исследования наукограда. 2013. № 1. С. 33-41.

10. Мищенко В.А., Коробкин А.А. Использование генетических алгоритмов в обучении нейронных сетей [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6 – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5138> (дата обращения: 19.09.2016).

11. Метод векторных функций Ляпунова в теории устойчивости. Под ред. А.А.Воронова, В.М.Матросова. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат.лит., 1987. 312 с.

12. Алексеев Ф.Ф., Алексеев А.Ф., П.С.Широков П.С. Синтез нелинейных нечетких систем управления на основе метода векторных функций Ляпунова. Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. Москва, РУДН. 23-27 апреля 2012 г. Москва. Российский университет дружбы народов. 2012. С. 160-162.

13. Алексеев Ф.Ф., Бильченко Г.Г., Бородин В.М.. Теоремы об устойчивости управляемых систем. В кн.: Проблемы аналитической механики, устойчивости и управления движением. Новосибирск: Наука, Сиб.отделение, 1991. С. 11-20

14. Takagi T., Sugeno M.. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Trans. Systems Man Cybernet. 15 (1) 1985. Pp. 116-132.

15. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности // Харьков Основа, 1997. - 112с.

16. Ivan F Wilde NEURAL NETWORKS Mathematics Department King's College London // London, WC2R 2LS, UK

17. Прохоренков А.М., Качала Н.М. Исследование эффективности адаптивных алгоритмов для настройки регуляторов в системах управления, подверженных влиянию случайных возмущений// Политехнический факультет МГТУ, кафедра автоматике и вычислительной техники, Экономический факультет МГТУ, кафедра информационных систем и прикладной математики.

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

М.П. Шлеймович, С.А. Ляшева (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань,
К.Маркса, 10)
E-mail: shlch@mail.ru

IMAGE ANALYSIS IN ROBOTIC SYSTEMS BASED ON WAVELET TRANSFORM

M.P. Shleymovich, S.A. Lyasheva (KNRTU-KAI, 420111, Kazan,
K.Marx str., 10)

Keywords: image analysis, wavelet transform.

Введение. В современных робототехнических системах широко применяются технологии анализа изображений. В таких системах в общем случае необходимо обеспечить выполнение процедур получения, преобразования, выделения признаков и анализа признаков изображений. Процедуры получения изображений осуществляют ввод изображений в систему в виде определенных структур данных. Процедуры преобразования изображений изменяют цветовые и/или геометрические характеристики изображений для приведения их к виду, требуемому для дальнейшей обработки. Процедуры выделения признаков предназначены для формирования представления изображения в виде набора признаков, значимых с точки зрения решения функциональных задач системы. Процедуры анализа признаков выдают информацию о семантическом содержании изображений, например, об объектах, их параметрах и связях.

При реализации указанных процедур необходимо выбрать модели представления изображений на базе некоторых признаковых описаний, оптимальных согласно определенным критериям. Для робототехнических систем часто требуется обеспечить обработку информации значительных объемов в условиях реального времени и ограниченных вычислительных ресурсов. Поэтому наилучшими в данном случае являются модели, обеспечивающие инвариантное и компактное представление изображений, которое можно применять для решения сразу нескольких задач, например, предварительной обработки, сжатия, сегментации, распознавания и др.

Признаки изображений. При проектировании процедур анализа изображений принято рассматривать модели низкого, среднего и высокого уровней представления изображений [1].

На низком уровне для представления изображений часто используют функциональные модели, вероятностные модели и иерархические модели.

Примером функциональной модели изображения является его описание в виде функции пространственных координат. Вероятностные модели описывают изображения в виде реализаций случайных процессов на основе функций плотности. Иерархические модели представляют изображения в виде множеств изображений различных масштабов.

На среднем уровне для представления изображений используют описания их характерных особенностей. Здесь широко применяются контурные модели, модели областей интереса, модели точек интереса, модели структурных элементов. Формирование модели в данном случае осуществляется в два этапа – сначала выполняется сегментация изображения, а затем делается его описание в виде векторов признаков, характеризующих отдельные сегменты.

Высокий уровень представления изображений базируется на моделях явного и неявного использования знаний. Примером модели неявного использования знаний является модель на основе шаблонных изображений. В моделях явного использования знаний применяются описания в виде правил интерпретации информации, содержащейся в изображении.

Большинство используемых на практике подходов к анализу изображений основано на применении моделей неявного использования знаний. При этом описание изображений базируется на признаках цвета, текстуры, формы и структуры [2]. Часто применяются гистограмма цветов [3], вектор цветовой связности [4], коррелограмма цветов [5], цветовые моменты [6], дескриптор доминантного цвета [7], статистические текстурные признаки [2], локальные бинарные шаблоны [8], спектральные признаки [9], признаки Тамуры [10], признаки округлости областей изображения или признаки их прямоугольности, периметр, площадь, ориентация главных осей [2, 11], признаки наличия на изображениях определенных объектов и их взаимного расположения [2].

Анализ изображений на основе вейвлет-преобразования. В настоящее время для анализа изображений в робототехнических системах часто используются методы, основанные на вейвлет-преобразованиях, которые в общем виде представляются следующим образом:

$$Wf(\mathbf{u}, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\mathbf{x}) \frac{1}{s^{D/2}} \psi^* \left(\frac{\mathbf{x} - \mathbf{u}}{s} \right) d\mathbf{x}, \quad (1)$$

где Wf – результат преобразования; f – исходная функция; ψ^* – комплексное сопряжение сдвинутой и масштабированной функции ψ , которая имеет нулевое среднее значение, центр в нулевой точке и единичную норму; D –

размерность сигнала; \mathbf{u} – D -мерный вектор параметров сдвига; s – параметр масштаба [12, 13]. Вейвлет-преобразование раскладывает сигнал по базисным функциям $\psi_{u,s}(\mathbf{x}) = \frac{1}{s^{D/2}} \psi\left(\frac{\mathbf{x} - \mathbf{u}}{s}\right)$, которые позволяют выявить его особенности в локальной области (определяется параметрами сдвига) при некотором масштабе (определяется параметром масштаба). Для изображений $D = 2$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2)^T$, $\mathbf{u} = (u_1, u_2)^T$.

Вейвлет-преобразования в виде выражения (1) являются непрерывными. На их основе строятся различные эффективные признаковые описания изображений, например, контурные и текстурные [12, 14, 15]. Однако на практике их применение подразумевает приближенный характер результатов и относительно медленные процедуры вычислений.

Для конечных дискретных сигналов, к которым относятся цифровые изображения, можно применить дискретные ортогональные кратномасштабные вейвлет-преобразования, в основе которых лежит представление дискретной функции $f(\mathbf{x})$, описывающей сигнал в виде суммы

$$f(\mathbf{x}) = f_a(\mathbf{x}) + f_d(\mathbf{x}) \quad (2)$$

аппроксимирующей $f_a(\mathbf{x})$ и детализирующей $f_d(\mathbf{x})$ составляющих. Процесс преобразования функции $f(\mathbf{x})$ также можно представить в итерационном виде, определяющем ее на разных уровнях разложения:

$$J = \log_2 N, \quad (3)$$

$$f(\mathbf{x}) = f_a^J(\mathbf{x}), \quad (4)$$

$$f_a^j(\mathbf{x}) = f_a^{j-1}(\mathbf{x}) + f_d^{j-1}(\mathbf{x}), \quad (5)$$

где N – число значений дискретной функции $f(\mathbf{x})$; J – число уровней разложения; $j = J, \dots, j_0 + 1$. Результат дискретного вейвлет-преобразования имеет вид множества коэффициентов аппроксимации и детализации.

При выполнении вейвлет-преобразования изображений обычно применяют разделимые преобразования, которые выполняются в два этапа: сначала выполняется преобразование для строк, а затем – для столбцов либо наоборот. Результаты преобразования на j -м уровне группируются в матрицу аппроксимирующих коэффициентов $[LL_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$ и матрицы детализирующих горизонтальных $[LH_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$, вертикальных $[HL_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$, диагональных $[HH_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$ коэффициентов. Отметим, что здесь и далее

описывается преобразование для одноканальных изображений. Для многоканальных изображений (например, цветных изображений) каждый канал подвергается указанному преобразованию по отдельности.

Анализ изображений на основе энергетических признаков. Для анализа изображений на основе дискретного вейвлет-преобразования эффективно применение признаков описания, построенного на основе коэффициентов детализации различных уровней [16]. Устойчивое к шуму представление изображений можно получить на основе энергетических признаков. Для одномерного дискретного вейвлет-преобразования с ортонормированными базисными функциями и дискретного сигнала $\{f_0, f_1, \dots, f_{N-1}\}$ справедливо равенство:

$$\sum_{k=0}^{N-1} f_k^2 = \sum_{l=0}^{2^{j_0}-1} a_{j_0,l}^2 + \sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{l=0}^{2^j-1} d_{j,l}^2, \quad (6)$$

представляющее собой аналог известного равенства Парсеваля. В случае изображений это равенство принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} f_{k,l}^2 &= \sum_{m=0}^{2^{j_0}-1} \sum_{n=0}^{2^{j_0}-1} LL_{j_0,m,n}^2 + \sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} \sum_{n=0}^{2^j-1} LH_{j,m,n}^2 + \\ &+ \sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} \sum_{n=0}^{2^j-1} HL_{j,m,n}^2 + \sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} \sum_{n=0}^{2^j-1} HH_{j,m,n}^2, \end{aligned} \quad (7)$$

где изображение представляет собой квадратную матрицу $[f_{k,l}]_{k,l=0}^{N-1}$, размер которой есть степень 2, а результаты преобразования на j -м уровне группируются в матрицу аппроксимирующих коэффициентов $[LL_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$ и матрицы детализирующих горизонтальных $[LH_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$, вертикальных $[HL_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$, диагональных $[HH_{j,m,n}]_{m,n=0}^{2^j-1}$ коэффициентов.

На основе равенства (7) можно получить оценки энергии для каждой точки изображения посредством выполнения следующего алгоритма:

1. Выполнить преобразование до уровня j_0 ;
2. Положить:

$$w_{j_0-1,m,n}^2 = LL_{j_0,m,n}^2; \quad (8)$$

3. Последовательно для $j = j_0, \dots, J-1$ ($J = \log_2 N$), $m, n = 0, 1, \dots, 2^{j+1} - 1$ вычислить оценки энергии:

$$w_{j,m,n}^2 = \frac{1}{4} w_{j-1,m,n}^2 + LH_{j,m/2,n/2}^2 + HL_{j,m/2,n/2}^2 + HH_{j,m/2,n/2}^2. \quad (9)$$

Вычисленные значения сохраняют энергетическое равенство:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} f_{k,l}^2 = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} w_{k,l}^2, \quad (10)$$

где

$$w_{k,l}^2 = w_{J-1,k,l}^2. \quad (11)$$

Каждое из множества значений $\{w_{k,l}^2\}_{k,l=0}^{N-1}$ или $\{w_{k,l}\}_{k,l=0}^{N-1}$ может служить весом соответствующей точки, характеризующим ее вклад в полную энергию изображения.

Наиболее быстрым и простым вейвлет-преобразованием изображений является двумерное преобразование Хаара, которое выполняется по формулам:

$$LL_{j-1,m,n} = \frac{1}{4} [LL_{j,2m,2n} + LL_{j,2m+1,2n} + LL_{j,2m,2n+1} + LL_{j,2m+1,2n+1}], \quad (12)$$

$$LH_{j-1,m,n} = \frac{1}{4} [LL_{j,2m,2n} + LL_{j,2m+1,2n} - LL_{j,2m,2n+1} - LL_{j,2m+1,2n+1}], \quad (13)$$

$$HL_{j-1,m,n} = \frac{1}{4} [LL_{j,2m,2n} - LL_{j,2m+1,2n} + LL_{j,2m,2n+1} - LL_{j,2m+1,2n+1}], \quad (14)$$

$$HH_{j-1,m,n} = \frac{1}{4} [LL_{j,2m,2n} - LL_{j,2m+1,2n} - LL_{j,2m,2n+1} + LL_{j,2m+1,2n+1}], \quad (15)$$

где $j = J, \dots, j_0 + 1$; $m, n = 0, 1, \dots, 2^{j+1}$; $LL_{j,m,n}$ – пиксели изображения. Однако базисные функции данного преобразования не являются ортонормированными. Поэтому для вычисления оценок энергии на его основе описанный выше алгоритм необходимо модифицировать введя нормировочные коэффициенты на каждом уровне.

При текстурном и контурном анализе часто необходимо получить распределение интенсивности без учета средней яркости или энергии изображений. В этом случае на первом шаге алгоритма можно положить

$$w_{j_0-1,m,n}^2 = 0. \quad (16)$$

Значения нормировочных коэффициентов можно считать настроечными параметрами, специфичными для конкретной задачи. Тогда алгоритм вычисления энергетических признаков можно обобщить следующим образом:

1) изменить выражения (8):

$$w_{j_0-1,m,n}^2 = K_{j_0-1} LL_{j_0,m,n}^2, \quad (17)$$

2) изменить выражения (9):

$$w_{j,m,n}^2 = \frac{1}{4} w_{j-1,m,n}^2 + K_j [LH_{j,m/2,n/2}^2 + HL_{j,m/2,n/2}^2 + HH_{j,m/2,n/2}^2]. \quad (18)$$

В результате описанного подхода можно получить изображения, где вместо интенсивностей с точками будут ассоциированы их энергетические веса. Значения данных весов является более устойчивым к шуму по сравнению с признаками, вычисленными для исходных значений пикселей. Таким образом можно получить устойчивые модели представления изображений для использования в условиях функционирования робототехнических систем.

Заключение. Описанный подход может служить основой для построения моделей представления изображений, применяемых для анализа изображений в робототехнических системах различного назначения. Например, он был применен для поиска и идентификации объектов на изображениях, полученных в бортовой системе беспилотного летательного аппарата [17, 18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов, А.С. Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания/ А.С. Потапов. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.
2. Шапиро, Л. Компьютерное зрение/ Л. Шапиро, Дж. Стокман: пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
3. Long, F. Fundamentals of content-based image retrieval/ F. Long, H. Zhang, D. Feng // Multimedia Information Retrieval and Management – Technological Fundamentals and Applications. - Springer-Verlag, 2003. - P. 1-26.
4. Pass, G. Histogram refinement for content-based image retrieval/ G. Pass, R. Zabih // IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. – 1996. - P. 96-102.
5. Huang, J. Spatial Color Indexing and Applications/ J. Huang, S.R. Kumar, M. Mitra, W.-J. Zhu, R. Zabih // International Journal of Computer Vision. – 1999. – Vol. 35(3). - P. 245–268.
6. Stricker, M. Similarity of Color Images/ M. Stricker, M. Orengo // Proceedings of the SPIE Conference. – 1995. – Vol. 2420. – P. 381-392.
7. Deng, Y. An efficient color representation for image retrieval/ Y. Deng, B.S. Manjunath, Ch. Kenney, M.S. Moore, H. Shin // IEEE Transactions on image processing. – 2001. - Vol. 10, № 1. – P. 140-147.

8. Pietikinen, M. Computer Vision Using Local Binary Patterns/ Matti Pietikinen, Abdenour Hadid, Guoying Zhao, Timo Ahonen. – Springer, 2011.
9. Tuceryan, M. Texture analysis/ M. Tuceryan, A.K. Jain // The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd edition) / C.Chen, L.F.Pau, P.S.P.Wang (Eds.). - World Scientific Publishing Co., 1998. - P. 207-248.
10. Tamura, H. Texture features corresponding to visual perception/ H. Tamura, S. Mori, T. Yamawaki // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1978. - Vol. SMC-8, № 6. – P. 460 - 473.
11. Image Databases: Search and Retrieval of Digital Imagery/ V.Castelli, L.D.Bergman (Eds.). - Wiley: New York, 2002.
12. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигналов./ С. Малла: пер. с англ. - М.: Мир, 2005. – 671 с.
13. Addison, P.S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance/ P.S. Addison. - Institute of Physics Publishing, 2002.
14. Ma, W.Y. A comparison of wavelet features for texture annotation / W.Y. Ma, B.S. Manjunath// Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing. – 1995. - Vol. II. - P. 256-259.
15. Tang, Y.Y. Wavelet Theory and Its Application to Pattern Recognition/ Y.Y. Tang. - World Scientific Publishing Company, 2009.
16. Sebe, N. Robust Computer Vision – Theory and Applications/ N. Sebe, M.S. Lew. – Kluwer Academic Publishers, 2003.
17. Lyasheva, S.A. Terrain Object Recognition in Unmanned Aerial Vehicle Control System/S.A. Lyasheva, M.V. Medvedev, M.P. Shleimovich// Russian Aeronautics. – 2014. – Vol. 57, № 3. – P. 303-306.
18. Emaletdinova, L.Yu. Wavelet Filtering of Measurement Information in Unmanned Aerial Vehicle Control System/ L.Yu. Emaletdinova, S.A. Lyasheva, M.P. Shleimovich// Russian Aeronautics. – 2012. – Vol. 55, № 2. – P. 158-163.

ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ф.И. Эминов (КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: fie@list.ru

OPTIONS FOR DEPLOYING WIRELESS NETWORKS AS PART OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

F.I. Eminov (KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: information and communication infrastructure, the IEEE 802.11 technology, network

Введение. Широкое применение беспроводных решений при создании информационно-коммуникационной инфраструктуры предприятий привело к конвергенции и интеграции беспроводной и проводной инфраструктур. Использование беспроводных технологий в составе системы управления предприятием требует обеспечения надежного и безопасного беспроводного доступа с максимальным покрытием, в необходимых для пользователей зонах территории предприятия. Для обеспечения таких условий функционирования необходимо определить совокупность параметров необходимых для развертывания беспроводных сетей.

Постановка задачи. Требуется выявить совокупность параметров необходимых для развертывания беспроводных сетей в составе интегрированной информационно-коммуникационной инфраструктуры системы управления предприятием.

Сетевая среда для управления предприятием. Систему управления предприятием, предназначенную для организации, обеспечения и осуществления производственных процессов изготовления и реализации определенных видов продукции, можно представить в виде многоуровневой структуры [1], где на каждом уровне решаются свои задачи и реализуются определенные функции управления (табл. 1). Каждому иерархическому уровню управления соответствует своя вычислительная среда, в общем случае, являющаяся сетью. На нижнем сенсорном уровне реализуется сеть датчиков и разнообразных исполнительных механизмов. Уровень промышленных контроллеров реализуется сетью контроллеров. На уровне управления цехом, обычно, используются локальные вычислительные сети промышленного и офисного назначения. На уровнях управления производственной и финансово-хозяйственной деятельностью предприятия используются локальные или корпоративные офисные вычислительные сети.

На всех уровнях управления современные системы используют сетевую инфраструктуру, которая базируется, в основном, на кабельных соединениях и соответствующих им сетевых технологиях. В то же время, в последние годы широкую популярность получили беспроводные соединения, которые имеют определенные преимущества перед кабельными соединениями (например, высокий уровень мобильности пользователей). Можно предположить, что в ближайшей перспективе сетевая среда будет оставаться комбинированной, содержащей как кабельные, так и беспроводные сегменты. Будем рассматривать беспроводные соединения, создаваемые только на уровнях, использующих сети офисного назначения.

Таблица 1

Уровни системы управления	Основные функции управления	Объекты сети
Корпорации	Управление финансово-хозяйственной деятельностью	Серверы, рабочие станции, коммуникационные устройства
Предприятия	Управление производственной деятельностью	Серверы, рабочие станции, коммуникационные устройства
Цеха	Управление цехом, участками, технологическими линиями	Серверы, рабочие станции, коммуникационные устройства
Промышленных контроллеров	Управление процессами производства	Контроллеры, серверы, коммуникационные устройства
Сенсорный	Опрос датчиков, управление исполнительными механизмами	Датчики, исполнительные устройства, коммуникационные устройства

Особенности интеграции. Комбинированная инфраструктура беспроводной и проводной сред ведет к их интеграции и унификации. Повышение роли современных беспроводных технологий (например, *IEEE 802.11ac*) в унифицированной корпоративной сетевой инфраструктуре [2]

требует обеспечения надежного беспроводного доступа с максимальным покрытием. Унифицированная сетевая инфраструктура создает потребность в интегрированных платформах управления. Конвергенция множества сервисов в рамках единой сетевой инфраструктуры требует решения новых задач по управлению ресурсами, пользователями и унифицированной сетевой инфраструктурой. С учетом того, что при использовании беспроводной инфраструктуры уровень безопасности в сети уменьшается, требуется обеспечить безопасность и конфиденциальность данных пользователей в масштабах всей инфраструктуры. Интегрированная сетевая инфраструктура ведет к применению унифицированного управления.

Возможность работы пользователей в произвольном месте и с использованием наиболее удобных для этого вычислительных средств (*BYOD, Bring Your Own Device*) становится повседневной практикой на предприятиях. Такая практика заставляет использовать динамичные системы управления корпоративными коммуникационными системами, функционирующих, например, на основе технологии *SDN (Software Defined Networking)*.

Особенности технологий беспроводных соединений. Беспроводные соединения имеют перед кабельными соединениями преимущество, заключающееся в том, что объекты, оснащенные беспроводными средствами взаимодействия, как было сказано выше, приобретают свойства мобильности. Данное свойство позволяет пользователям информационной сети офисного назначения, использующих в своей работе малогабаритные вычислительные средства, иметь возможность пользоваться информационными ресурсами предприятия не привязываясь к конкретному местоположению. Кроме того, отсутствие проводов улучшает эстетический вид помещений, а также уменьшает объем монтажных работ по сравнению с работами по созданию сети на основе кабельной инфраструктуры.

Технологии беспроводных соединений представлены достаточно широким спектром стандартов, каждая разновидность имеет свою направленность применения, ориентируется на свой уровень управления предприятием. Сетевые беспроводные технологии офисного применения используются на верхних уровнях управления предприятием. Данные технологии стандартизированы комитетом *IEEE 802.11*. Серия стандартов данного комитета регламентирует работу беспроводных сетей, которые могут позволять осуществлять передачу данных в широком диапазоне скоростей от 1 до 7000 *Мбит/с*, а в обозримой перспективе до 100 *Гбит/с*. Некоторые возможности стандартов данной серии представлены в табл. 2 [3].

Таблица 2

Стандарт	Дальность передачи, м	Скорость передачи, Мбит/с	Частота / длина волны
<i>IEEE 802.11</i>	} До 300	1; 2	2,4 ГГц
<i>IEEE 802.11</i>		1; 2	850 нм
<i>IEEE 802.11a</i>		54	5,25 ГГц
<i>IEEE 802.11b</i>		11	2,4 ГГц
<i>IEEE 802.11g</i>		54	2,4; 5,25 ГГц
<i>IEEE 802.11n</i>		300, 600	2,4; 5,25 ГГц
<i>IEEE 802.11ac</i>		1 300, 7 000	5,25 ГГц
Проект	До 30	100 000	0,3-3 ТГц

Высокая скорость передачи в соответствии с технологиями, соответствующими данным стандартам, достигается путем использования различных методов разделения каналов передачи (частотное, временное, пространственное, фазовое, кодовое), их сочетаний, а также за счет иных методов преобразования передаваемых сигналов. Каждое очередное поколение беспроводных систем, соответствующих серии стандартов *IEEE 802.11*, основывается на последних научно-технических достижениях, которые существенно улучшают технические характеристики систем. Можно отметить использование [4] следующих технологий, реализуемых в современных беспроводных сетевых технологиях.

- Распределение передаваемых данных по нескольким частотным параллельным подканалам (частотное разнесение каналов, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*).

- Распределение передаваемых данных по нескольким пространственно разнесенным каналам (технология *MIMO, Multiple Input Multiple Output*). Формируются несколько параллельных потоков передачи с применением нескольких передающих и принимающих антенн в одном частотном канале.

- Распределение передаваемых данных по нескольким пространственно разнесенным каналам в одном частотном канале для совокупности пользователей (технология *MU-MIMO*). Технология является развитием концепций *MIMO, OFDM*.

- Динамическое изменение диаграммы направленности антенн (технология *Beamforming*) так, что конкретные значения фазы сигнала используются для определенных устройств с учетом их местоположения, что по-

зволяет усиливать сигнал в конкретном направлении и тем самым увеличить дальность и скорость передачи, а также преодолевать препятствия стен.

- Расширение спектра методом прямой последовательности (*DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum*) – преобразование сигнала так, что энергия сигнала распределяется по спектру, его спектр оказывается значительно шире первоначального спектра. Каждому передаваемому информационному биту соответствует последовательность из m элементарных прямоугольных импульсов (последовательность чип). Длительность каждого чипа в m раз меньше длительности информационного бита, ширина спектра преобразованного сигнала в m раз больше ширины первоначального сигнала, а амплитуда передаваемого сигнала в m раз меньше, тогда его мощность соизмерима с мощностью естественного шума.

В современных беспроводных сетевых технологиях используются различные методы кодирования последовательностей символов.

- В качестве последовательностей чип при расширении спектра используются коды Баркера длиной в 11 чип. Коды Баркера обладают наилучшими свойствами случайности, они позволяют распознавать сигнал на фоне шума. Каждому значению бит соответствует определённая последовательность чип (логическая единица передается прямой последовательностью Баркера, а логический нуль – инверсной).

- Для работы на скоростях выше 2 Мбит/с используются комплементарные коды (*ССК, Complementary Code Keying*). Они обладают тем свойством, что сумма их автокорреляционных функций для любого циклического сдвига, отличного от нуля, равна нулю. Комплементарные коды так же используются для распознавания сигнала на фоне шума. При кодировании применяется набор последовательностей, что позволяет одним символом кодировать несколько информационных бит, что повышает информационную скорость передачи. Комплексные комплементарные 8-чиповые последовательности определены на множестве комплексных элементов, принимающих значения $\{1, -1, +j, -j\}$. Такое представление сигнала удобно для представления модулированного по фазе сигнала (значение 1 соответствует сигналу, синфазному к сигналу генератора, -1 – противофазному, j – сигналу, сдвинутому по фазе на $p/2$, $-j$ – сигналу, сдвинутому по фазе на $-p/2$). Значение комплексных чисел формируется на основе совокупности шести входных бит.

- Сверточное кодирование (*PBCC, Packet Binary Convolutional Coding*) образующее избыточную последовательность, где после преобразования каждому входному информационному биту соответствует более одного выходного, значение которого зависит также от значений символов, поступивших в течение предшествующих периодов кодирования.

- Пунктурное кодирование уменьшает излишнюю избыточность, создаваемую сверточным кодированием, поэтому оно используется в сочетании со сверточным кодированием.

Можно отметить также использование в современных технологиях беспроводных сетей следующих мер по увеличению скорости передачи.

- Сокращение длительности “охранного” интервала в *OFDM*-символах (интервалы между импульсами).

- Перевод работы сети для передачи на другие каналы при превышении уровня помех на текущем канале.

- Расширение ширины частотного канала (до 80–160 МГц, объединяются от 2 до 4 каналов).

- Перевод работы сетей в более высокие частотные диапазоны (в диапазон 5,25 ГГц, а в дальнейшем в терагерцовый), что позволяет иметь большую ширину канала.

- Анализ сигналов совокупности антенн (при использовании технологии *Beamforming*) с тем, чтобы усилить сильные сигналы и заглушить слабые (суммирование дифференциально-взвешенных сигналов канала, *MRC*, *Maximal Ratio Combining*).

Подходы к развертыванию беспроводных сетей. В работе [5] выделены два основных подхода к развертыванию беспроводных сетей. Один подход ориентирован на использование приложений с низкой скоростью передачи данных (например, приложения формируют запросы к базам данных или используются сканеры штрих-кодов). Такие сети могут обеспечить максимальное покрытие при минимальном числе точек доступа. Другой подход ориентирован для тех вариантов, когда для приложений нужны высокие скорости передачи. В этом случае площадь покрытия меньше, а плотность размещения станций больше.

Однако при развертывании беспроводных сетей в составе интегрированных сетей предприятия следует учитывать то, что кабельная инфраструктура строится с учетом принципов построения структурированных кабельных систем (СКС). Современные СКС учитывают зонный принцип [4], где пространство каждого этажа здания делится на зоны, в каждой зоне предусматривается точка консолидации, к которой удобно подсоединять точку доступа беспроводной сети. Такое построение приводит к еще одному подходу к развертыванию беспроводных сетей офисного назначения.

Этапы планирования беспроводной сети на предприятии. До начала работ по созданию сети должны быть выполнены исследование и обоснование создания сети, которое может быть сформулировано в виде технического задания. На данном этапе необходимо определить назначение беспро-

водной сети, объем и тип выполняемых работ, условия эксплуатации сети (специфические особенности среды на объекте: офисное помещение, производственное помещение, прилегающая к зданию территория). Необходимо определить перечень решаемых задач, с указанием их характера. Должны быть сформулированы требования к работе системы и необходимые ограничения: зоны покрытия, минимальная скорость передачи, предполагаемое количество пользователей в отдельных зонах беспроводной сети, временные параметры (например, производительность или время реакции), необходимые сетевые сервисы, необходимость поддержки работы каких-либо определенных приложений, потребность в использовании внешних антенн и другие.

На данном этапе может использоваться специальное программное обеспечение, позволяющее осуществить оценочное планирование по размещению оборудования сети. Для этого используются программные продукты, ориентированные для проведения радиообследования в режиме виртуального обследования. В таком режиме после загрузки и калибровки плана помещений, указания материала стен и перекрытий, предполагаемых точек доступа, указаний мест их размещения выполняется моделирование и визуализация покрытия беспроводной сети с учетом параметров распространения и затухания сигнала при прохождении препятствий для определенных моделей точек доступа.

В процессе развертывания беспроводной сети можно выделить следующие этапы [6]: радиообследование, установка и настройка оборудования, итоговое радиообследование с внесением требуемых изменений для обеспечения соответствия выдвинутым требованиям.

При использовании специализированного программного обеспечения (например, *Airmagnet*, *Tamograph* и др.) для определения мест установки беспроводных точек доступа проводится радиообследование, которое может осуществляться в одном из двух режимов: пассивном или активном. В пассивном режиме выполняются мониторинг среды и регистрация сигналов, поступающих от точек доступа, что позволяет составить карту покрытия для работающих в помещении беспроводных сетей с указанием уровня сигнала (*RSSI*) и соотношения сигнал/шум (*SNR*).

Активный режим используется обычно уже при смонтированном беспроводном оборудовании. Измерения проводятся при помощи мобильной рабочей станции. Для всех исследуемых точек помещений определяется физическая скорость передачи данных для различных протоколов передачи (*TCP*, *UDP* и пр.) и другие необходимые параметры. При проведении измерений по возможности необходимо учитывать наличие беспроводных мышей и клавиатур, других устройств *Bluetooth*, а также работающих мик-

роволновых печей, приносимых и установленных сотрудниками собственных беспроводных точек доступа и др.

Учитываемые параметры. Параметры, учитываемые при развертывании беспроводной сети, можно сгруппировать следующим образом: пространственные, функциональные, количественные, временные, качественные, безопасности доступа, оборудования, среды окружения, особенности прикладных информационных систем.

Среди пространственных параметров можно выделить геометрические размеры помещений, расстояния между точками доступа и др.

Среди функциональных параметров можно выделить функциональные возможности для пользователей беспроводной сети (например, возможность доступа к глобальной сети, обеспечение определенными сервисными возможностями станций и пользователей беспроводной сети и др.).

Количественные параметры должны определять количество точек доступа в здании, станций беспроводной сети в конкретных зонах и др.

Временные параметры могут определяться такими параметрами, как: время реакции, скорость передачи и др.

Качественные параметры должны задавать ограничения, связанные с необходимой категорией сервиса (или с классом обслуживания), что, в определенной мере, связано с заданными временными параметрами.

Параметры уровня безопасности доступа должны задавать ограничения, связанные с принятой политикой безопасности на предприятии, с выбором протоколов шифрования. Эти параметры должны отражаться на выборе других параметров.

При создании беспроводной сети должны быть удовлетворены значения таких параметров оборудования: мощность точек доступа и адаптеров рабочих станций, требуемая скорость передачи данных, координаты размещения точек доступа и др.

Характеристики среды окружения должны описывать условия эксплуатации сети, а именно: материал стен, уровень загруженности объема помещений различными предметами, уровень “загрязненности” среды передачи помехами, особые окружающие условия и др.

Параметры, связанные со структурой построения беспроводных сетей, а также с особенностями прикладных информационных систем, формируют ограничения к создаваемой беспроводной сети, могут отражать потребность в обеспечении определенных условий работы для каких-либо приложений, например, системы IP-телефонии. Ограничения такого типа могут потребовать обеспечения определенного качества связи, что связано с повышенными требованиями к уровню сигнала.

Заключение. На основе рассмотренных особенностей технологий беспроводных сетей офисного назначения, особенностей их функционирования, подходов к развертыванию беспроводных сетей, а также этапов подготовки к развертыванию и самого развертывания выделены параметры, необходимые при выполнении необходимых этапов при создании беспроводной сети, обеспечивающей пользователям надежный беспроводный доступ с максимальным покрытием. Предложенная совокупность параметров должна содействовать формулированию технического задания по созданию беспроводной сети офисного назначения, а также облегчить оценку соответствия развернутой сети требованиям и ограничениям, указанным в техническом задании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эминов Ф.И. Информационные технологии управления предприятиями. Казань: Мастер Лайн, 2015. 144 с.
2. Сато Сеичиро. Тенденции сетевой отрасли и прогнозы на 2015 год. ЗАО Изд-во "Открытые системы", Журнал сетевых решений/LAN. № 01, 2015. [Электронный ресурс] URL: <http://www.osp.ru/lan/2015/01/13044673/>
3. Эминов Ф.И. Технологии информационно-коммуникационной инфраструктуры предприятий. Казань: Мастер Лайн, 2014. 126 с.
4. Эминов Ф.И. Офисные и промышленные информационные сети. Казань: Мастер Лайн, 2016. 346 с.
5. Рошан П., Джонатан Л. Основы построение беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: Пер. с англ. Москва: Вильямс, 2004. 304 с.
6. Калашников Сергей, Моховиков Семен. Основные этапы планирования беспроводной сети на предприятии. ЗАО Изд-во "Открытые системы", Журнал сетевых решений/LAN. № 03, 2014. [Электронный ресурс] URL: <http://www.osp.ru/lan/2014/03/13040183/>

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ RBHM

З.Я. Якупов, А.С. Филичев, Р.К. Галимова (КНИТУ – КАИ,
г. Казань) E-mail: zymat@bk.ru

PROTECTION OF INFORMATION SPACE WITH THE TECHNOLOGY RBHM

Z.Ya. Yakupov, A.S Filichev, R.K. Galimova (KNRTU- KAI, Kazan)

Keywords: Hadamard conjecture, Hadamard matrices (H-matrices), coding theory, model, technology.

Введение. Повсюду в работе аббревиатура **RBHM** (research based on Hadamard matrices) используется для *описания* вектора исследований по направлениям, связанным (предметно и инструментально) с понятием матриц Адамара, а также – для *наблюдения эволюции* этого процесса.

В работе рассматриваются вопросы обеспечения комплексной безопасности информационного пространства любых предприятий или организаций и, в частности, образовательных учреждений, подведомственных Министерству образования и науки Российской Федерации.

В современном мире передача информации через электронные каналы связи, а также обработка (в любом виде) информации осуществляется при помощи её кодирования. При кодировании, в свою очередь, всё чаще применяются матрицы Адамара (технология RBHM). В настоящее время неизвестно, существуют ли матрицы Адамара всех порядков, кратных четырем (проблема, или гипотеза Адамара). Нахождение матриц высших порядков дает возможность более качественно передавать и обрабатывать информацию.

Как видим, уже сейчас технология RBHM находит своё применение при решении различных задач теории кодирования [1-7], а также в других направлениях исследований [8-12], перекликаясь с аналогичными матричными конструкциями [13-15].

Например, матрицы Адамара применяются при построении функций Уолша, используемых для кодового разделения каналов в некоторых стандартах сотовой связи (IS-95, CDMA 2000 или UMTS).

Технология RBHM находит свое применение при расшифровке спиральной структуры молекул ДНК, при производстве пространственных апертур, используемых в работе некоторых рентгеновских телескопов, в

теории планирования экспериментов, в комбинаторике, численном анализе, теории интегральных уравнений, при создании теоретических и практических моделей для решения различного рода изобретательских задач [8-9].

Постановка задачи. Работа посвящена изучению гипотезы (проблемы) Адамара и модернизации (оптимизации) путей её разрешения, а именно: нахождению зависимостей между порядками матриц и описывающими их формулами [1-5]; модернизации известного списка формул для выражения порядков этих матриц [6-7].

Учитывая множество работ российских и зарубежных учёных, посвященных этой теме, модернизирован подход к решению проблемы Адамара. Также обновлена программа, обеспечивающая проверку соответствия порядков матриц Адамара уже доказанным ранее и вновь введенным формулам [1,6-7]. В исследованиях использован современный математический (в том числе алгебраический) аппарат [1-4,10]. Для достижения поставленной цели было предпринято решение следующих задач:

1. Выражение порядков матриц Адамара по модернизированным формулам [3-5, 7-9];
2. Выполнение построения последовательностей порядков, используя графический метод, и выявление особенностей [7-8];
3. Создание программного приложения для проверки исследований (проверка числа на простоту, наиболее часто используемые формулы, тривиальные вычисления).

Суть исследований заключается в том, чтобы найти зависимости между порядками матриц и подбором формул для выражения их порядков (генезис) [1-2], а также расширить описание областей применения матриц Адамара, не ограничиваясь кодированием в информатике [4-7].

Поставленные вопросы исследовались довольно полно и достаточно глубоко, в том числе с использованием ресурсов сети Internet.

Продолжена разработка графического способа представления решения проблемы Адамара, который помогает предугадать, по каким формулам можно рассчитывать порядки матриц, а также, каким образом производить построения матриц Адамара (методы). Также постоянно модернизируется программа для просчета соответствия порядков матриц некоторым из представленных и уже доказанных формул. Программа состоит из нескольких подпрограмм, причем в каждой из подпрограмм расчет производится в общем случае. Это означает, что результаты программы актуальны для порядков матриц любой величины.

Вследствие проведенной работы можно высказать предположение о том, что возможно решение проблемы Адамара не только с помощью метода Уильямсона и др. Полученные результаты можно рекомендовать к использованию при процедуре исправления ошибок, кодирования, при передаче и обработке информации и т.п.

Методы исследования. Работа, на наш взгляд, представляет существенный математический интерес (комбинаторика, численный и матричный анализ и т.п.), а так же предполагает возможность применения полученных результатов в таких сферах деятельности как кодирование, обработка и передача информации, обработка сигналов, исправление ошибок, теория планирования, биокодирование (генетика) и др. В ходе работы был использован достаточно большой объем электронных ресурсов, научной литературы и периодики [1-15].

Теоретической и методологической основой исследований в области изучения матриц Адамара являются научные достижения отечественных и зарубежных специалистов. В ходе выполнения исследований использовались известные способы доказательства соответствия матриц критериям матриц Адамара, а также методы Уильямсона, Элиха, Голдберга, Бомера-Холла [1-2].

Итак, технология RBHM, или *матричный (Адамара) подход*, оказывается весьма плодотворной и приводит к следующим научным результатам [5-7].

1) Первым результатом в этом направлении является разработка теории Q -матрицы (Verner Hoggatt), которая обнаруживает фундаментальную связь с числами Фибоначчи. Выражение для детерминанта n -й степени Q -матрицы в компактной форме задает «формулу Кассини», которая считается едва не главным математическим тождеством, связывающим соседние числа Фибоначчи.

2) Дальнейшим развитием теории Q -матрицы является теория Q_p -матриц (А.П. Стахов), которые связаны с p -числами Фибоначчи, открытыми во второй половине 20-го века при исследовании «диагональных сумм» треугольника Паскаля.

3) Еще одним математическим достижением в этом направлении являются «золотые» матрицы (А.П. Стахов), которые основаны на Q -матрице и гиперболических функциях Фибоначчи.

4) Теория Q_p -матриц и «золотых» матриц привела к созданию новой теории кодирования и нового метода криптографии (А.П. Стахов).

5) Обнаружение естественной реализации геноматриц Адамара (и связанных с ними ортогональных систем функций) на основе природных па-

раметров дискретной молекулярно-генетической системы свидетельствует в пользу следующего. Все те преимущества, которые дает использование матриц Адамара в математической теории дискретных сигналов и управлении, могут использоваться в биоинформатике и самоорганизации живого вещества (включая те преимущества, которые еще будут открыты в будущем, поскольку теория дискретных сигналов и матриц Адамара в ней продолжает интенсивно развиваться). Предлагаемый и развиваемый анализ генетических структур с позиций теории дискретных сигналов связан с рассмотрением генетических секвенций как решетчатых функций, для которых существует содержательный класс дискретных логических операций. К ним относятся логическое сложение, логическое вычитание, логическое умножение, логический сдвиг, логическая свертка и, наконец, логическое дифференцирование. Все эти логические операции в той или иной мере приложимы к анализу проблем хранения и передачи наследственной информации в живом веществе.

б) Основным научным достижением в этом направлении являются «золотые» геноматрицы, разработанные С.В. Петуховым. Исследования Петухова показывают фундаментальную роль, которую играет «Золотое Сечение» в генетическом кодировании. Исследования Петухова свидетельствуют о том, что золотое сечение лежит в основе живой природы. Сейчас еще трудно оценить в полной мере революционный характер результатов Петухова для развития современной науки. Ясно одно, что, по-видимому, для теории генетического кодирования – это результат такой же значимости, как и открытие самого генетического кода.

Заключение. Планируется применение технологии RBHM в описании технологических процессов с использованием электрических разрядов постоянного тока между жидким и твердым электродами [11-12], в частности:

- обобщение экспериментальных данных при исследованиях характеристик электрических разрядов с жидкими электродами;
- изучение влияния параметров разрядов на результаты технологии.

Это связано с тем, что электрические разряды указанного вида в различных газах (при использовании электролитов различного состава и разнотипных твердотельных электродов) не являются подобными, а в идентичных условиях могут быть подобными лишь приближенно [11-12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якупов З. Я. О генезисе Адамаровых матриц//Труды X Международной Четаевской конференции. Т.1. Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 2012. С. 539 – 543.

2. Якупов З.Я. Адамаровы матрицы: их генезис и применение//Fundamental and applied sciences today III. Proceedings of the Conference. North Charleston. SC. USA. spc Academic. **2** (2013). С. 214 – 215.

3. Якупов З.Я., Галимова Р.К. Об Адамаровых матрицах//Математика в современном мире. Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 150-летию Д. А. Граве (Вологда, 7-9 октября 2013 г.). – ВГПУ: Вологда, 2013. С. 38 – 40.

4. Якупов З.Я., Яруллин А.А. О помехоустойчивом кодировании//Fundamental science and technology – promising developments VI. Proceedings of the Conference. North Charleston. SC. USA. spc Academic. **2** (2015). С. 178 – 180.

5. Якупов З.Я., Филичев А.С. Матрицы Адамара: Поиск закономерностей в их порядках. – Saarbrücken (Deutschland): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 65 с.

6. Филичев А.С., Якупов З.Я. Поиск закономерностей при изучении матриц Адамара// Наука и современность. – Уфа: Аэтерна. 2014. С. 7 – 10.

7. Yakupov Z. Ya. About the Hadamard matrices//Science in the modern information society VI. Proceedings of the Conference, North Charleston. SC. USA. spc Academic. **3** (2015). С. 115 – 118.

8. Якупов З.Я., Галимова Р.К. Примерный календарный план дисциплины «Технология развития творческого мышления»//Topical areas of fundamental and applied research VIII. Proceedings of the Conference. North Charleston. SC. USA. spc Academic. **3** (2016). С. 71 – 85.

9. Галимова Р.К., Якупов З.Я. Концепции магистерских программ//

10. Fundamental science and technology – promising developments VI. Proceedings of the Conference. North Charleston. SC. USA. spc Academic. **2** (2015). С. 85 – 94.

11. Якупов З. Я. Ляпуновские преобразования стационарного уравнения Шрёдингера с возмущающим потенциалом// Математическое моделирование, **7:5** (1995), С. 71.

12. Галимова Р.К., Якупов З.Я. Уравнения эллиптического типа в моделировании технологических процессов//Теория функций, её приложения и смежные вопросы. Труды Математического центра им. Н. И. Лобачевского, Казанское математическое общество, Т. 51. Казань: Изд-во Казан. матем. общества, Изд-во Академии наук РТ, 2015. С. 144 – 146.

13. Галимова Р.К., Якупов З.Я. Исследование решений уравнения Лапласа в технологических процессах с использованием парогазовых разрядов с жидкостными электродами// Журнал СВМО, **17:1** (2015). С. 135 – 139.

14. Кренев В.А., Хасанов А.Ю. Системы Ахметгалеева// XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: Сборник трудов (Казань, 20-24 августа 2015 г.). – Казань: Изд-во Казанского (Приволжского) федерального ун-та, 2015. – С. 2078-2080.

15. Кренев В.А., Хасанов А.Ю. Системы Ахметгалеева// VIII Четаевская конференция «Аналитическая механика, устойчивость и управление движением»: Тезисы докладов. – Казань, 2002. – С. 96.

16. Хасанов А.Ю., Зиргизов Ш.И. Синтез систем управления с учётом структурных свойств нелинейностей Topical areas of fundamental and applied research VIII. Proceedings of the Conference. North Charleston. SC. USA. spc Academic. **3** (2016). С. 182 – 186.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ИХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Е.И. Якушенко, Ю.В. Гурьев, А.В. Перцев, И.В. Ткаченко
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Россия,
196604, Санкт-Петербург – Пушкин, Кадетский бульвар, 1)
E-mail: uvgur@mail.ru

COMPUTER TECHNOLOGY IN HYDRODYNAMIC DESIGN AND MANAGEMENT OF MARITIME OBJECTS AND THEIR HYDROPHYSICAL FIELDS

E. I. Yakushenko, Y. V. Guryev, A. V. Pertsev, I. V. Tkachenko
(NPI MESC RN “Naval Academy”, Russia, 196604, St. Petersburg-Pushkin,
Cadet Boulevard, 1)

Keywords: computer technology, marine objects, mathematical models, numerical methods of hydrophysical fields

Введение. Гидродинамическое проектирование (ГДП) является составной частью общего проектирования кораблей и других объектов морской техники [1, 2]. Основной задачей ГДП является выработка проектных, конструктивных и инженерных решений, определяющих обводы корпуса и параметры движительно-рулевого комплекса морских объектов, мощность главной энергетической установки, характеристики различных гидравлических систем и т.д. Качество этих решений существенным образом влияет на мореходные качества корабля (ходкость, управляемость, качка и др.), и его физические поля (акустическое, гидрофизическое и др.), а также на эксплуатационные и экономические показатели.

До появления компьютеров ГДП основывалось, главным образом, на данных физических, в основном модельных экспериментов, а также приближенных расчетных методах. В настоящее время реальной альтернативой классическим подходам стали методы вычислительной гидродинамики, основанные на широком использовании компьютерных технологий. Как правило, для решения гидродинамических и гидрофизических задач кораблестроения требуется выполнение огромных объемов вычислений на самых высокопроизводительных компьютерах (суперкомпьютерах). Вместе с тем, ряд актуальных инженерных задач ГДП может быть решен и на персональных компьютерах [3].

Особенностью современного уровня развития ГДП является все более полный и строгий учет природных физических условий, в которых функционируют морские объекты, в первую очередь гидрофизических. Морская среда отличается существенной неоднородностью полей температуры, солености и, как следствие, плотности воды, что приводит к появлению таких, например, явлений, как внутренние волны. Эти волны, в отличие от поверхностных волн, возникают в толще морской воды и намного превосходят их по основным параметрам (длина и высота). Указанная пространственно-временная неоднородность гидрофизических полей, внутреннее волнение и другие гидрофизические явления существенно осложняют управление подводными объектами, создавая в ряде случаев критические ситуации [4].

От качества ГДП зависит и уровень возмущений, в том числе и гидрофизических, которые вносит корабль в морскую среду. Эти возмущения позволяют обнаружить его с помощью специальных средств наблюдения. В настоящее время прогнозирование и исследование таких возмущений стало возможно не только с помощью натуральных или модельных физических экспериментов, но и компьютерного моделирования.

В докладе приводятся результаты применения такого моделирования для решения некоторых задач гидродинамического проектирования морских объектов, прогнозирования параметров их управления, а также изучения создаваемых ими гидрофизических возмущений (аномалий).

Использование компьютерных технологий для прогнозирования мореходных качеств морских объектов. Такое прогнозирование может проводиться с использованием различных математических моделей. Основными из них являются модели потенциальных (невязких) течений и модели турбулентных движений вязкой жидкости. Первые – относительно более простые и менее трудоемкие могут быть реализованы на персональных компьютерах. Недостатком потенциальных моделей является ограниченный круг решаемых задач. С их помощью могут быть решены только те задачи ГДП, в которых вязкость играет второстепенную роль, например, при определении боковых реакций при пространственном движении морских объектов или инерционных гидродинамических сил при воздействии на них поверхностного и внутреннего волнения.

Так в работе [5] предложен численный метод для оперативной оценки влияния формы корпуса и органов управления морских объектов на характеристики их управляемости, включая гидродинамические силы при криволинейном нестационарном движении. В этом методе воздействие объекта на жидкость заменяется воздействием простого слоя (гидродинамиче-

ские источники), распределенного по поверхности корпуса, и системы дискретных вихревых отрезков, приближенно моделирующих продольные вихри пограничного слоя, что позволяет косвенно учесть влияние вязкости. Предложенная модель является аналогом классической модели Н.Е. Жуковского для расчета подъемной силы крыла.

На рис. 1 показаны результаты расчета безразмерного коэффициента подъемной силы $C_Y = \frac{2R_Y}{\rho V^2 W^2 / z}$ (где R_Y – подъемная сила, V – скорость объекта, W – его объемное водоизмещение, ρ – плотность жидкости) корпуса схематизированной ПЛ по предложенной модели и их сравнение с данными экспериментов и расчетов по моделям течения вязкой жидкости [6].

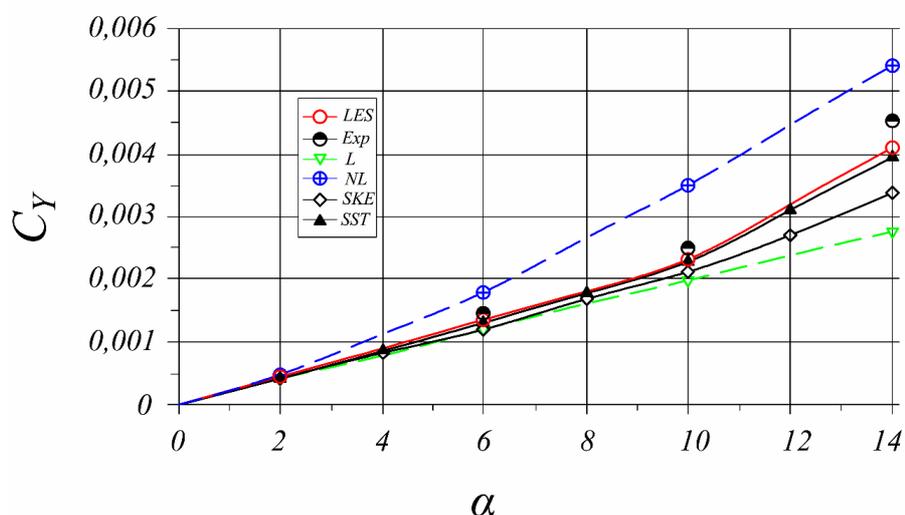


Рис. 1. Коэффициент подъемной силы корпуса схематизированной ПЛ (L и NL – линейная и нелинейная схемы потенциальной модели, SKE и SST – соответственно «стандартная» k - ϵ модель и модель Ф. Ментера, используемые при замыкании системы уравнений Рейнольдса, LES – метод крупных вихрей, Exp – эксперимент)

Здесь приведены результаты расчетов с применением двух основных моделей турбулентных течений: классической модели Рейнольдса и более современной модели метода крупных вихрей [3]. Их отличие состоит в различных процедурах осреднения уравнений Навье-Стокса. В первой – осреднение проводится по времени, а во второй – по пространству. В результате вторая модель показывает лучшие результаты для расчета сложных нестационарных течений. Однако, для рассматриваемого случая эти модели дают близкие результаты, хорошо согласующиеся с экспериментом. Модель с приближенным учетом вязкости (потенциальная) обеспечивает худшее согласование, особенно с ростом угла атаки даже при использовании нелинейной схемы.

Тем не менее, эта модель позволила успешно решить задачу оценки эффективности Н-образного кормового оперения подводного объекта (рис. 2) по сравнению с традиционной крестообразной его формой.

В результате вычислительного эксперимента было установлено, что Н-образное оперение повышает характеристики маневренности и стабилизации движения по сравнению с крестообразной формой при одинаковой площади их оперения. Кроме того, новое оперение обеспечивает более равномерное поле скорости в диске гребного винта, что снижает первичное гидроакустическое поле [7].

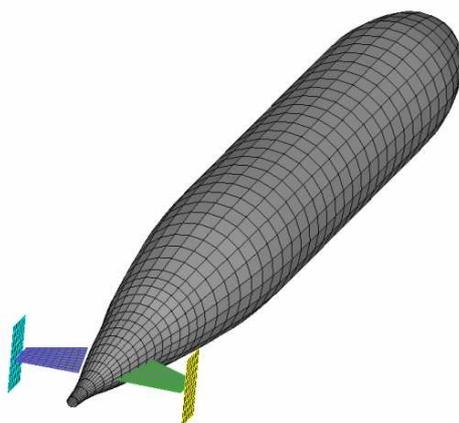


Рис. 2. Н-образное кормовое оперение подводного объекта

Разработанная авторами потенциальная модель и компьютерная программа в дальнейшем были распространены на случай совместного движения двух тел в вязкой жидкости. Это позволило получить гидродинамические силы инерционной природы, действующие на два тела, совершающие совместное движение на небольших расстояниях друг от друга и решить задачи управления движением двух судов при совместном маневрировании и отделения полезного груза от корабля носителя [8].

Снижение параметров качки морских объектов было и остается актуальной задачей ГДП. С этой целью были предложены специальные системы нейтрализации волновых возмущений, действующих на различные морские сооружения (плавучие буровые установки, понтоны, буи и др.) [9]. Для нейтрализации этих возмущений на объект устанавливаются так называемые пассивно-активные демпферы (ПАД) – полностью погруженные конструкции плоской или объемной формы. Для обеспечения их эффективной работы необходимо для заданной геометрии объекта и параметров морского волнения подобрать (рассчитать) форму, размеры и места установки ПАДов, для чего требуется определить их присоединенные массы и коэффициенты демпфирования. Для решения этой задачи был разработан численный метод, в котором потенциальное течение моделировалось

гидродинамическими особенностями – источниками и вихрями. Эффективность спроектированных с помощью этого метода ПАДов была подтверждена результатами физических экспериментов.

Однако, сопоставляя возможности потенциальных и вязких методов расчета течений для решения задач ГДП, следует признать безусловное преимущество последних, поскольку они позволяют решать весь спектр этих задач и точнее прогнозируют ГДХ. В частности, возвращаясь к результатам расчетов на рис. 1, следует еще раз обратить внимание на высокую погрешность потенциальной модели при закритических углах атаки, когда на корпусе развивается отрыв потока. Это сложное пространственное и нестационарное течение адекватно моделируется методом крупных вихрей. Визуализация компьютерного расчета такого течения при угле атаки 15^0 показана на рис. 3. Этот результат получен с помощью программы, разработанной д.т.н. И.В. Ткаченко, которая прошла широкую апробацию и доказала свою эффективность.

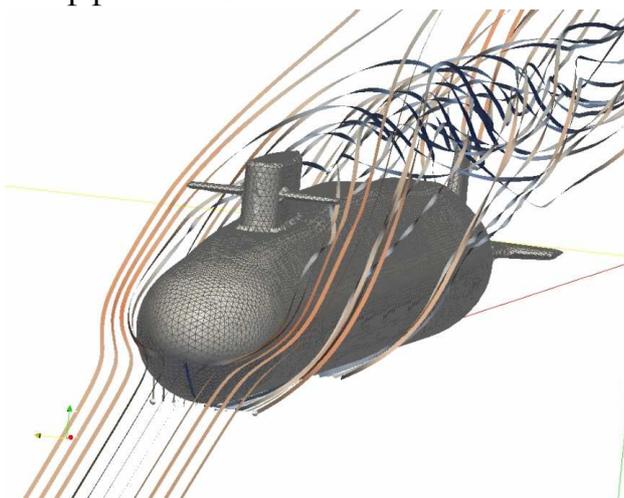


Рис. 3. Траектории движения жидких частиц при обтекании корпуса схематизированной ПЛ при угле атаки 15 градусов

Методы компьютерного моделирования вязких турбулентных течений могут быть успешно применены и для решения задач гидродинамического проектирования в гидравлике. Примером может быть проектирование фасонных элементов (поворотов, колен, тройников и т.д.) с пониженным уровнем гидравлических сопротивлений, вибрации и коррозионно-эрозионного износа [10]. Указанные результаты могут быть достигнуты за счет придания проточным частям этих элементов форм, обеспечивающих плавное безотрывное течение.

Для проектирования таких форм авторы использовали метод расчета турбулентных течений, основанный на решении уравнений Рейнольдса. При этом само ГДП новой формы фасонного элемента осуществлялось ме-

тодом последовательных приближений. Так для получения новой формы поворотного колена первого приближения выполняется расчет течения в так называемой свободной зоне (рис. 4б). Это позволило определить криволинейную форму колена и выполнить расчет течения в нем. Анализ этого расчета позволяет корректировать форму фасонного элемента первого приближения, добиваясь безотрывного течения и тем самым улучшая его эксплуатационные характеристики.

На рис. 4 показана первоначальная форма поворотного колена (а), расчетные линии тока в свободной зоне (б) и новая форма этого фасонного элемента с распределением давлений (в).

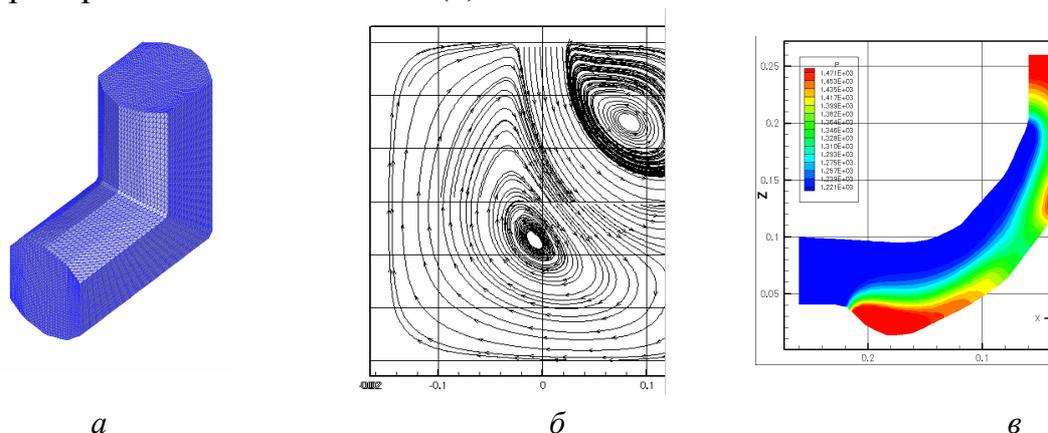


Рис. 4 – Гидродинамическое проектирование поворотного колена с улучшенными эксплуатационными и гидравлическими характеристиками: а - первоначальная форма поворотного колена; б - расчетные линии тока в свободной зоне; в - новая форма этого фасонного элемента с распределением давлений

Использование новых форм поворотного колена позволяет снизить гидравлические потери по сравнению с традиционными конструкциями на 30-40%.

Прогнозирование и управление гидрофизическими полями морских объектов. При движении в неоднородной морской среде такие объекты вносят заметные возмущения в природные гидрофизические поля. Возникающие при этом аномалии имеют различную природу и проявляются, например, в деформации свободной поверхности, возникновении и развитии внутреннего волнения, изменении параметров естественной турбулентности. С математической и вычислительной точек зрения такие исследования относятся к наиболее сложным задачам вычислительной гидродинамики и гидрофизики [4].

Для ее решения была разработана математическая модель турбулентных течений неоднородной по плотности жидкости и создана компьютер-

ная программа FLOWFES-WAKE, позволяющие прогнозировать не только гидродинамические силы, действующие на движущийся в такой среде объект, давления и касательные напряжения на его корпусе, но и гидрофизические поля плотности, температуры, солёности [4].

Расчеты по этой программе подтвердили возникновение так называемого «горба Бернулли» – деформации свободной поверхности воды при движении твердого тела на относительно небольших глубинах. На рис. 5 показаны результаты расчетов течения при движении схематизированного объекта между свободной поверхностью и пикноклином при числе Фруда $Fr = V/\sqrt{gL} = 0.6$, где V и L – соответственно скорость и длина объекта. Пикноклин располагался на глубине $h = 1.15L$, глубина погружения объекта составляла $H \approx L$. Расчетная сетка включала около десяти миллионов расчетных ячеек. На рисунках отчетливо виден подъем уровня воды непосредственно над корпусом. За ним на расстоянии 5-6 его длин возникает вторая вершина, обладающая гораздо меньшей интенсивностью. На пикноклине формируется внутренняя волна, длина которой составляет порядка 7-8 L (рис. 5а). При этом вершина внутренней волны приходится на подошву поверхностной.

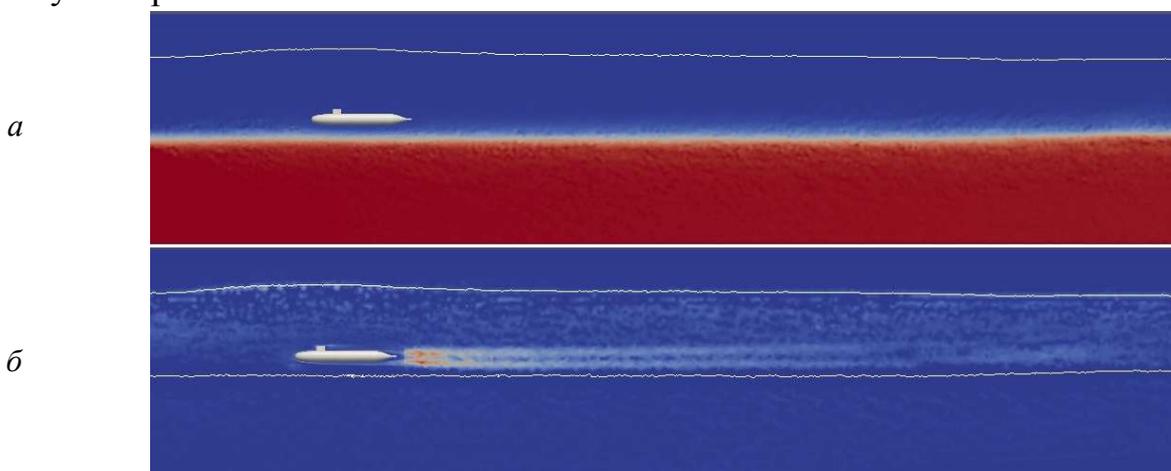


Рис. 5. Вертикальный разрез безразмерного поля плотности (а) и поля подсеточной кинетической энергии (б) при движении объекта между пикноклином и свободной поверхностью, $Fr = 0.6$

На рис. 5б видно, как за телом формируется турбулентный след, который отслеживает эволюцию изопикнической поверхности. Интенсивность этого следа существенно превосходит фоновую турбулентность.

Исследования взаимодействия объекта, движущейся под пикноклином, с гидрофизическими полями морской среды были выполнены в диапазоне чисел Фруда $Fr = 0.2 \div 0.6$. Пикноклин располагался на глубине $h = 0.75L$, глубина погружения объекта составляла $H \approx L$. При движении

под пикноклином без учета волнения на свободной поверхности также происходит формирование горба Бернулли (рис. 6). Возникновение вторичной вершины наблюдается на расстоянии 6-7 длин объекта. Как и в предыдущем случае, интенсивность вторичной вершины существенно меньше первичного горба. При этом на пикноклине формируется внутренняя волна вытеснения длиной порядка $8-10L$.

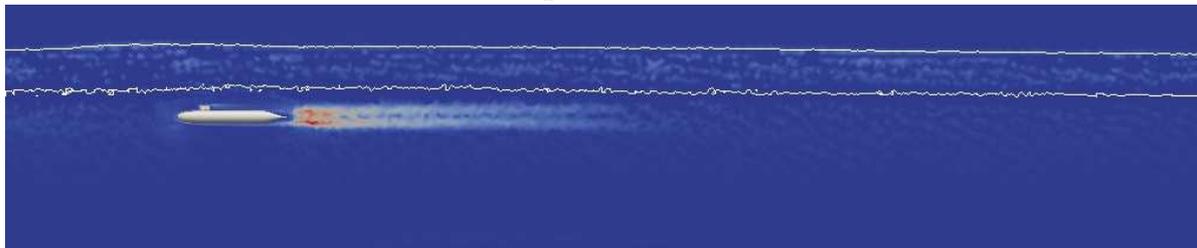


Рис. 6. Вертикальный разрез поля подсеточной кинетической энергии при движении объекта под пикноклином, $Fr = 0.6$

При движении объекта под пикноклином при наличии волнения на свободной поверхности идентификация горба Бернулли не представляется столь очевидной (рис. 7). В данном случае наблюдается формирование пакетов поверхностных волн.

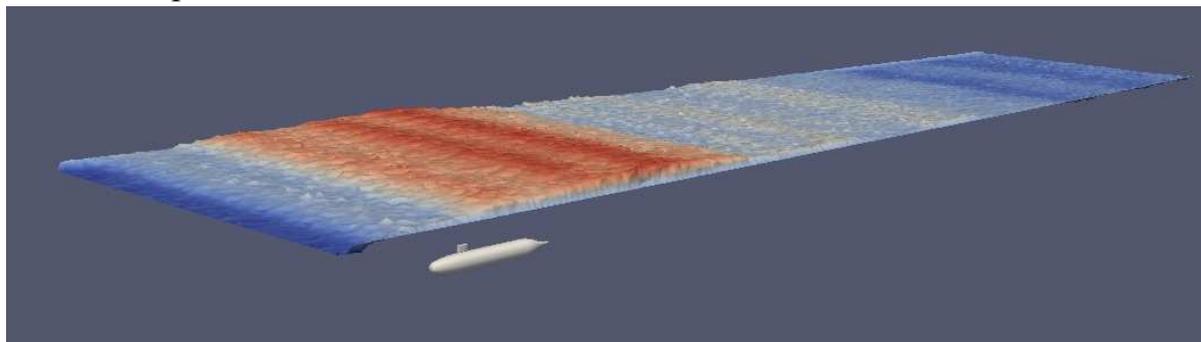


Рис. 7. Формирование горба Бернулли на взволнованной свободной поверхности при движении объекта под пикноклином, $Fr = 0.6$

Проведенные исследования показали зависимость уровня создаваемых объектом гидрофизических аномалий от его размеров и формы, а также от параметров движения. Следовательно, уровнем гидрофизических возмущений можно управлять: на стадии проектирования морских объектов за счет рационального выбора его формы и размеров, а при эксплуатации путем выбора параметров траектории и скорости движения.

Выводы

1. Представленные результаты доказывают, что в гидродинамическом проектировании морских объектов компьютерное моделирование позволяет успешно решать практически все актуальные задачи от прогнозирования действующих на объект гидродинамических реакций до вызванных

гидрофизических аномалий в толще воды и на ее поверхности с учетом реальной структуры морской среды.

2. Основным инструментом компьютерного моделирования в ГДП становятся численные методы и программы, основанные на моделях турбулентных течений неоднородной жидкости, требующие привлечения высокопроизводительных компьютеров с организацией параллельных вычислений. При этом определенный круг инженерных задач может быть решен численными методами на основе модели потенциальных течений. Эти методы могут быть эффективными для оперативного получения результатов с погрешностью, приемлемой на начальных этапах проектирования. Перспективы их дальнейшего совершенствования представляются достаточно ограниченными.

3. Для повышения эффективности использования компьютерных технологий в гидродинамическом проектировании и при решении смежных задач необходимо решение трех главных задач:

- разработка отечественных программных продуктов мирового уровня для гидродинамического проектирования и междисциплинарного анализа;
- обеспечение широко доступа ученых, проектантов и инженеров к высокопроизводительным вычислительным системам с параллельной обработкой данных – к суперкомпьютерам,
- подготовка квалифицированных кадров, способных эффективно использовать современные информационные технологии для гидродинамического и междисциплинарного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кормилицин Ю.Н., Хализов О.А. Устройство подводных лодок. В 2-х томах. СПб.: Элмор, 2008.
2. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах. Том IV-20. Корабли и суда. Книга 1. Общая методология и теория кораблестроения. СПб.: «Политехника». 2003.
3. Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В. Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике. /Монография. СПб., Военно-морской инженерный институт, 2010.
4. Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Якушенко Е.И. Гидродинамика морских объектов в натуральных гидрофизических условиях. /Монография – СПб. Изд-во ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2014. -274 с.
5. Гурьев Ю.В., Красиков В.И. Нелинейная математическая модель и численный метод прогнозирования ГДХ ПЛ на ранних этапах проектиро-

вания// Сборник трудов Межвузовской научной конференции «Совершенствование подготовки инженерных кадров ВМФ по предупреждению аварийности на Флоте», ВМИИ, СПб., 2007.

6. Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В. Моделирование гидродинамических реакций, действующих на подводные объекты, методами вязкой и невязкой жидкости// Труды НТК «Проблемы мореходных качеств судов и корабельной гидромеханики», ХLI Крыловские чтения, СПб, 2003.

7. Гурьев Ю.В., Калинин О.С. Сравнительный анализ гидродинамических характеристик различных конструктивных схем кормового оперения современных ПЛ// Сборник трудов Межвузовской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации вооружения, военной техники и подготовки инженерных кадров ВМФ», СПб, 2004.

8. Гурьев Ю.В. Дифференциальные уравнения движения двух судов при совместном маневрировании// Сборник докладов Второй Международной конференции по судостроению – ISC'98, СПб, 1998.

9. Разумеенко Ю.В., Быков Л.В., Карлинский С.Л. Полупогруженное основание морского сооружения. Патент № 2034738 с приоритетом от 21.12.1992.

10. Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Щукин П.И. Теоретико-экспериментальный метод проектирования фасонных элементов с улучшенными характеристиками для трубопроводов различного назначения// Материалы 4-ой международной конференции по морским технологиям, СПб., «МОРИНТЕХ», 2001.

11. Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Щукин П.И. Численное моделирование трехмерных течений вязкой жидкости в задачах гидродинамического проектирования элементов корабельных трубопроводов// Труды НТК «Проблемы мореходных качеств судов и корабельной гидромеханики, ХL Крыловские чтения, СПб, 2001.

ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУДЕБНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ЗАДАЧЕ ОТБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

А.А. Алексеев

(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: alex.alexeev.jr@gmail.com

LATENT SEMANTIC ANALYSIS OF JUDICIAL DOCUMENTS IN THE FEATURES SELECTION PROBLEM

A.A. Alekseev

(KNRTU-KAI, Russia, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: latent semantic analysis, term-document matrix, singular value decomposition

Введение. Для повышения эффективности документооборота Арбитражного суда возникла необходимость в разработке алгоритма автоматической классификации судебных актов, исковых заявлений в соответствии с определенными категориями споров [7,8]. Эта разработка позволит в автоматическом режиме определять тип и сложность судебных актов для их распределения по отделам. На данный момент Арбитражный суд Республики Татарстан в год выносит 25-30 тысяч судебных решений, которые относятся к 38 категориям споров, таким как оспаривание решений антимонопольных органов, оспаривание действий судебных приставов, привлечение к ответственности за нарушение условий лицензирования, о неисполнении обязательств по договорам поставки.

Постановка задачи. Согласно [3], большинство методов классификации текстов, так или иначе, основаны на предположении, что документы, относящиеся к одной категории, содержат одинаковые признаки (слова или словосочетания). Наличие или отсутствие таких признаков в документе говорит о его принадлежности или непринадлежности к той или иной категории [9].

На этапе предварительной обработки документов [1,2] необходимо нормализовать все встречающиеся в текстах слова (термины), решить задачу стэмминга [14], т.е. привести термины к нормальной форме: единственное число, именительный падеж существительного, прилагательного, неопределенная форма глагола. Затем происходит фильтрация стоп-слов и

знаков препинания. При этом под стоп-словами понимаются слова, которые не несут в себе никакого смысла, например, союзы, предлоги и т.п.

Отбор информативных признаков. В данной работе для представления текста в форме, удобной для анализа, используется терм-документная матрица (term-document matrix – TDM), представляющая собой таблицу, где каждая строка соответствует термину, а столбец – документу в наборе данных [13]. На пересечении строк и столбцов хранятся значения весов терминов в документе. Каждый вес представляется либо количеством вхождений термина в документ, либо статистической мерой TF-IDF, позволяющий выделить наиболее важные для определенного набора документов термины:

$$TF * IDF = \frac{n_t}{\sum_k n_k} * \log \frac{D}{(t \in d_i)}, \quad (1)$$

где n_t – количество раз встречаемого слова t документа d , $\sum_k n_k$ – длина данного документа (количество слов в документе), D – общее количество документов, $t \in d_i$ – количество документов, в которых содержится слово t .

В данном случае используется нормализованное значение $TF-IDF$, вычисляемое по следующей формуле:

$$(TF \times IDF)_j^* = \frac{(TF \times IDF)_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (TF \times IDF)_j^2}}, \quad (2)$$

Данная нормализация усредняет значения для большей точности анализа. На этапе предварительного анализа сформирована терм-документная матрица размерностью 5461*4, т. е. 5461 полученных терминов в 4 наборах документов. Фрагмент матрицы представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент терм-документной матрицы

Термин	Класс			
	«приставки»	«антимонопольная»	«поставки»	«лицензии»
Авиастроительный	5,9914645471	3,583518938456	0	0
Авиационный	0	4,158883083360	0	0
Автобус	0	0	0	14,4120631342
Автобусный	0	0	0	6,23832462504

Среди 5461 терминов необходимо выявить наиболее значимые для своей категории, так как подача всего их числа в качестве входных данных на классификаторы вызовет затруднения при вычислении в виду временных затрат на обучения данных классификаторов и загрузки памяти. Для выделения наиболее информативных признаков в данной работе применяется латентно-семантический анализ (ЛСА) [11,12].

В качестве входной информации ЛСА использует сформированную терм-документную матрицу. Популярным вариантом ЛСА является разложение матрицы по сингулярным значениям или SVD-разложение (SVD – Singular Value Decomposition). С помощью него любую матрицу можно разложить на множество ортогональных матриц, линейная комбинация которых является достаточно точным приближением к исходной матрице.

Согласно теореме о сингулярном разложении в самом простом случае матрица может быть разложена на произведение трех матриц:

$$A=U*S*V^T, \quad (3)$$

где матрицы U и V – ортогональные, а S – диагональная матрица, значения на диагонали которой называются сингулярными значениями матрицы A .

Особенность такого разложения в том, что если в матрице S оставить только k наибольших сингулярных значений, то линейная комбинация получившихся матриц U_{LSA} , S_{LSA} , V_{LSA} будет наилучшим приближением исходной матрицы A к матрице \check{A} ранга k :

$$A \approx \check{A} = U_{LSA} * S_{LSA} * V_{LSA}^T \quad (4)$$

Основная идея латентно-семантического анализа состоит в следующем: после перемножения матриц полученная матрица \check{A} , содержащая только k первых линейно независимых компонент исходной матрицы A , отражает структуру зависимостей, латентно присутствующих в исходной матрице. Структура зависимостей определяется весовыми функциями термов для каждого документа. Выбор k зависит от поставленной задачи и подбирается эмпирически. Он зависит от количества исходных документов, в нашей задаче k можно брать 5-10% от общего числа диагональных значений. Следует помнить, что если выбранное значение k слишком велико, то метод теряет свою мощьность и приближается по характеристикам к стандартным векторным методам. А слишком малое значение k не позволяет улавливать различия между похожими терминами или документами.

На рис. 1 представлен пример разложения исходной матрицы.

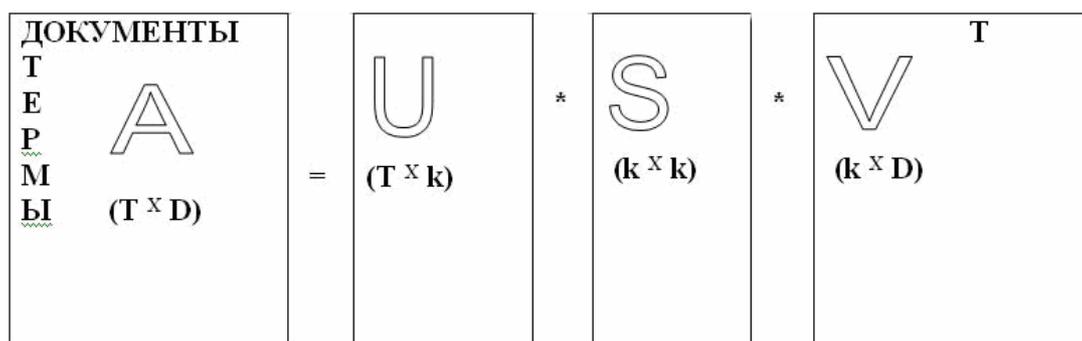


Рис. 1. Пример разложения матрицы

На данном рисунке представлен пример SVD-разложения матрицы A размерности $(T \times D)$ на матрицу термов U размерности $(T \times k)$, матрицу документов V размерности $(k \times D)$ и диагональную матрицу S размерности $(k \times k)$, где k – количество сингулярных значений диагональной матрицы S .

В рамках описанного подхода латентно-семантического анализа судебных документов решена задача отбора информативных признаков для последующего интеллектуального анализа, например, с помощью нейронных [4,10] и нейронечетких сетей [5,6]. В табл. 2-5 представлены полученные на основе латентно-семантического анализа значимые термины для каждого из рассматриваемых классов документов.

Таблица 2

Термины категории «приставы»

Термин	Класс			
	«приставы»	«антимонопольная»	«поставки»	«лицензии»
Пристав	19,499361122	0	0	0
Пристависполнитель	15,879914474	0	0	0
Исполнительский	13,53257852	0	0	0
Арест	13,465909109	0	0	0
Фссп	11,853731156	0	0	0
Сводный	11,41998747	0	0	0
ССП	11,140716200	0	0	0
УФССП	11,066638362	0	0	0

Таблица 3

Термины категории «антимонопольная»

Термин	Класс			
	«приставы»	«антимонопольная»	«поставки»	«лицензии»
размещение	0	16,5402862385	0	0
конкуренция	0	16,4293906558	0	0
хозяйствовать	0	15,37189193821	0	0
Реклама	0	14,97129776034	0	0

Таблица 4

Термины категории «поставки»

Термин	Класс			
	«приставы»	«антимонопольная»	«поставки»	«лицензии»
Накладная	0	0	15,98362850	0
Накладной	0	0	14,43655307	0
Купляпродажа	0	0	13,46590911	0
Фильтр	0	0	13,43201044	0
Чужой	0	0	13,2924504	0

Таблица 5

Термины категории «лицензии»

Термин	Класс			
	«приставы»	«антимонопольная»	«поставки»	«лицензии»
Пассажир	0	0	0	15,788070567
Автобус	0	0	0	14,412063134
Маршрут	0	0	0	14,182163456
Дорожный	0	0	0	12,788039631
Минтранс	0	0	0	12,476649250
Лицензионный	0	0	0	12,232612332
Вместимость	0	0	0	10,397207709
Лицензировать	0	0	0	10,10188749

Как видно из данных таблиц, выбранные признаки информативно характеризуют соответствующую категорию судебных споров и не относятся к другим категориям. Это позволяет утверждать, что построенный на таких данных классификатор позволит эффективно решать задачу классификации судебных актов и исковых заявлений в соответствии с определенными категориями судебных споров.

Заключение. Рассмотренный в данной работе подход к выбору системы информативных признаков для классификации судебных актов и исковых заявлений лежит в основе разрабатываемой интеллектуальной системы классификации судебных документов и поддержки принятия решений в сфере правосудия. Использование данной системы, в том числе в режиме свободного доступа, позволит участникам спорных отношений анализировать имеющиеся у них документы и прогнозировать вероятность удовлетворения их притязаний, что исключит из общего количества рассматриваемых споров дела, в которых отрицательный исход является оче-

видным. Кроме того, практическое применение разрабатываемого инструментария позволит сделать более эффективной систему внесудебного урегулирования споров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А.А.* Классификация арбитражных судебных актов на основе технологии Text Mining // XXII Туполевские чтения: Международная молодёжная научная конференция. – 2015. – Т. 4. – С. 22-27.

2. *Алексеев А.А., Катасёв А.С., Кириллов А.Е., Кирпичников А.П.* Классификация текстовых документов на основе технологии Text Mining // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 18. – С. 116-119.

3. *Барсегян А.А.* Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод, М.Д. Тесс, С.И. Елизаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.: ил.

4. *Евсеева А.О., Катасёв А.С., Катасёва Д.В.* Идентификация ботов в социальных сетях на основе нейросетевой модели // Информация и безопасность. – 2016. – Т.19. – № 4 (4). – С. 535-538.

5. *Емалетдинова Л.Ю., Катасёв А.С., Кирпичников А.П.* Нейронечеткая модель аппроксимации сложных объектов с дискретным выходом // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 295-299.

6. *Катасёв А.С., Емалетдинова Л.Ю.* Нечетко-продукционная каскадная модель диагностики состояния сложного объекта // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – № 1. – С. 69-81.

7. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П.* Нейросетевая технология классификации электронных почтовых сообщений // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18. №5. – С. 180-183.

8. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В.* Разработка нейросетевой системы классификации электронных почтовых сообщений // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2015. – № 1 (25). – С. 68-78.

9. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Спам-классификация в инфокоммуникационных системах // Информация и безопасность. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 380-383.

10. *Костюжов С.Г., Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Нейросетевая модель удаленной биометрической аутентификации для корпоративных информационных систем // *Информация и безопасность.* 2016. Т.19. №4. С. 559-562.

11. *Кочегаров М.Б.* Метод матричного латентно-семантического анализа для структурирования массивов текстовых данных // *Вологдинские чтения.* – 2006. – № 57. – С. 7-10.

12. *Хомоненко А.Д., Краснов С.А.* Применение метода латентно-семантического анализа для автоматической рубрикации документов // *Известия Петербургского университета путей сообщения.* – 2012. – № 2 (31). – С. 124-132.

13. *Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schütze.* An Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press New York, NY, USA, 2008. – 496 p.

14. *Ilya Segalovich.* A fast morphological algorithm with unknown word guessing induced by a dictionary for a web search engine // *Proceedings of the International Conference on Machine Learning, 2003, Las Vegas, Nevada, USA.*

**ТЕХНОЛОГИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ПРЕВЕНТИВНОГО
ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ЛИЦ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

А.М. Ахметвалеев

(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К.Маркса, 10)

E-mail: Amir.Akhmetvaleev@gmail.com

**TECHNOLOGY OF CONTACTLESS PREVENTIVE DETECTION
OF POTENTIALLY DANGEROUS PERSONS IN INTELLECTUAL
DECISION SUPPORT SYSTEMS**

A.M. Akhmetvaleev

(KNRTU-KAI, Russia, 420111, Kazan, K.Marx str., 10)

Keywords: contactless identification of potentially dangerous persons, pupillary reaction to light, alcohol and drug intoxication, intelligent systems, neural network model, video surveillance, public safety.

Введение. Развитие науки и современных технологий привело к автоматизации большого числа процессов в жизнедеятельности человека, значительно упрощающих жизнь и комфорт среды обитания. Однако, в сфере обеспечения общественной безопасности существует некоторый технологический разрыв, связанный с отставанием в разработке и внедрения новейших технологий. Так, до сих пор одним из бесшумных способов выявления подозрительных и опасных лиц является личный досмотр. Несмотря на применение большого количества инструментальных средств безопасности (от ручных металлодетекторов до интроскопов), ни одному из применяемых приборов не удается выявлять скрытые намерения людей, а также внутреннее психологическое и функциональное состояние человека.

Одной из очевидных проблем личного досмотра является физический контакт с людьми, что обуславливает низкую эффективность при работе с большим количеством граждан, т.к. требуется значительное количество человеческих и технических ресурсов для проведения всестороннего и полноценного контроля всех лиц.

Постановка задачи. Известно, что в России каждое третье преступление (около 37,4%) и почти все убийства (около 82%) совершаются в состоянии алкогольного или наркотического опьянения [4], что делает данное функциональное состояние человека одним из самых опасных ввиду

непредсказуемости его поведения и несознательности при совершении противоправных действий. Таким образом, любой человек, находящийся в измененном интоксикацией состоянии, является потенциально опасным для общества и государства, а его своевременное и бесконтактное (без физического контакта до момента обнаружения состояния опьянения) выявление является важнейшей задачей, решить которую возможно с применением современных интеллектуальных технологий [6, 7, 9, 12].

Описание технологии. Как известно, состояние опьянения ведет к функциональному расстройству зрительной системы человека, выраженному в патологическом изменении процесса его зрачково-двигательной реакции. Наружным признаком (внешним проявлением) такого расстройства является отклонение зрачкового рефлекса человека на изменение освещенности фона [15-17].

Установлено, что зрачковый рефлекс может вызываться различными причинами, даже эмоциями, но, прежде всего – изменением яркости фона. В нормальном функциональном состоянии человека после увеличения яркости фона зрачок резко сужается, а при уменьшении яркости увеличивается [19]. В свою очередь, интоксикация, вызванная приемом алкоголя или психоактивных веществ, приводит к снижению или исчезновению зрачковых рефлексов. В зависимости от типа принятого вещества зрачки человека, как правило, находятся в своих крайних положениях – сильно сужены (около 2 мм в диаметре) или максимально расширены (около 8 мм в диаметре) и при этом наблюдается слабая их реакция на изменения освещенности. Например, героин, морфин и макосодержащие наркотики вызывают сужение зрачков, а кокаин, амфетамин и ЛСД приводят к заметному их расширению. При алкогольной интоксикации зрачки заметно расширяются, а их реакция на свет значительно снижается [15-17] (см. рис. 1).



Рис. 1. Размеры зрачков в зависимости от типа принятого вещества

На приведенном рисунке проиллюстрированы различия зрачков глаза человека в зависимости от типа принятого вещества на примере нормального состояния (рис. 1, а), героина (рис. 1, б) и кокаина (рис. 1, в).

Измерение диаметра зрачка является объективным методом исследования функционального состояния организма человека. Многочисленные исследования показали высокую информативность пупиллографических

показателей при оценке функционального состояния нервной системы и организма в целом. Реакция зрачков на световой раздражитель является безусловным рефлексом, который не поддается контролю со стороны коры головного мозга. В диагностике зрачкового рефлекса наиболее широко используется метод пупиллометрии, который позволяет по реакции зрачков на световой стимул оценить реактивность и состояние цереброспинальных вегетативных центров, отражающих состояние организма при воздействии различных веществ [16]. Для регистрации зрачковых реакций, как правило, используют специальные лабораторные устройства – пупиллометры, состоящие из источника регистрации (камеры), источника освещения (инфракрасной и белой подсветки) и блока диагностики (компьютер, встроенный или внешний). Как правило, измерения производятся подготовленным специалистом с медицинским образованием, например, врачом-офтальмологом. Именно им интерпретируются результаты диагностики, а также проводится подготовка прибора к работе.

Динамика изменений размера зрачка представляется в виде пупиллограммы – временного ряда, характеризующегося различными параметрами [13]. Для диагностики зрачковых реакций достаточно вычислить 8-12 информативных параметров по кривой [15, 16, 18]. Пример пупиллограммы и ее параметры представлены на рис. 2.

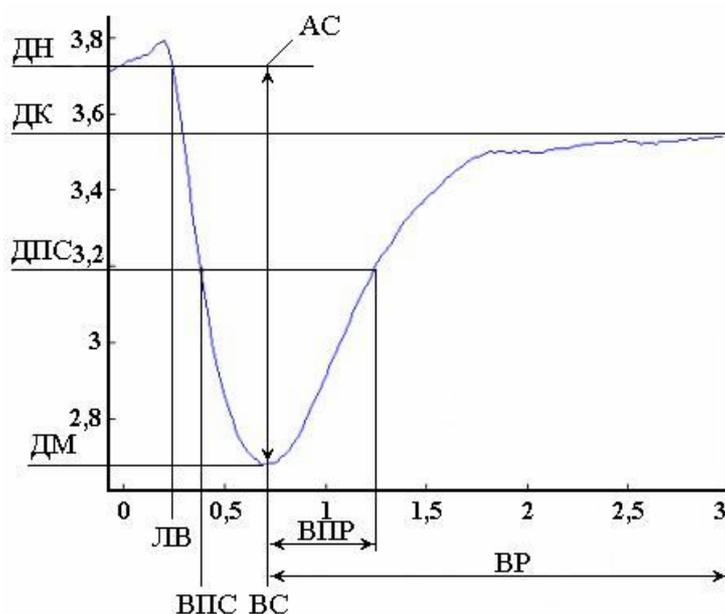


Рис. 2. Пример пупиллограммы и параметров кривой

На рисунке представлен пример пупиллограммы здорового человека и положение параметров пупиллограмм, отражающих зрачковую реакцию человека на изменение освещенности: диаметр начальный (ДН); диаметр минимальный (ДМ); диаметр половинного сужения (ДПС); диаметр ко-

нечный (ДК); амплитуда сужения (АС); скорость сужения (СС); скорость расширения (СР); латентное время реакции (ЛВ); время сужения (ВС); время расширения (ВР); время половинного сужения (ВПС); время половинного расширения (ВПР). Часть параметров измеряется непосредственно на кривой и является независимой друг от друга, а часть вычисляется по значениям первой группы.

Поскольку пупиллометрия является неинвазивным (не связанным с вмешательством в организм) методом, обладает относительно высокой пропускной способностью (время диагностики, с учетом подготовки и постановки диагноза около 2-3 минут), то применение пупиллометрии для проведения экспресс-диагностики является весьма перспективным способом определения состояния опьянения.

В основе разработанной технологии бесконтактного превентивного выявления потенциально опасных лиц лежит метод пупиллометрии, с использованием которого предлагается дистанционно, с использованием систем видеонаблюдения проводить оценку зрачковой реакции человека на световое импульсное воздействие с последующей интерпретацией полученных данных путем и их интеллектуального анализа. Для этого предлагается схема работы технологии, представленная на рисунке 3.

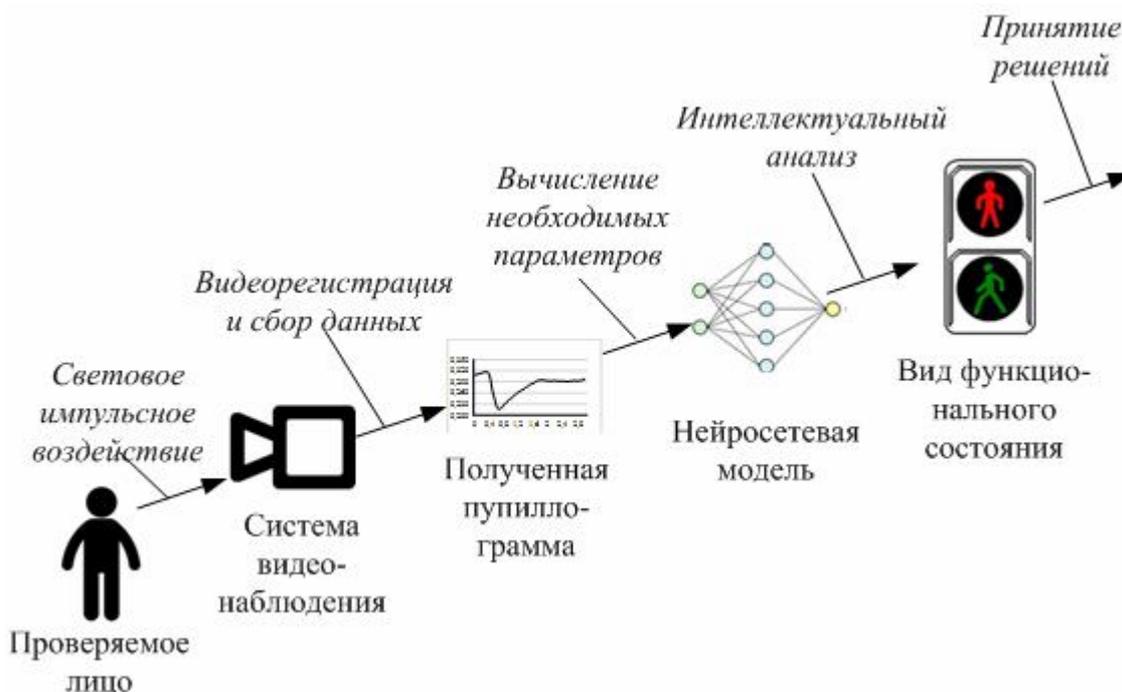


Рис. 3. Схема этапов работы технологии

Данная схема отражает основные этапы технологии: видеорегистрация зрачковой реакции человека на световое импульсное воздействие; сбор данных для формирования пупиллограммы; вычисление информативных параметров зрачковой реакции; интеллектуальный анализ данных на осно-

ве нейросетевой модели; классификация функционального состояния человека по критерию «норма / отклонение»; дальнейшее принятие решений по проверяемому лицу.

Видеорегистрация производится в местах наиболее вероятного появления лиц, например, пунктов досмотров и проходах [3]. Лицо человека анализируется специальными методами обработки изображений, в результате чего на нем локализуется область глаз и относительные диаметры зрачков [1,2,5]. Для получения пупиллограммы достаточно трех секунд с момента подачи светового импульса, после чего исходная пупиллограмма проходит предварительную обработку, в т.ч. для устранения шумов и аномалий. На обработанной пупиллограмме производится вычисление значений параметров зрачковой реакции человека.

Анализ полученных значений целесообразно проводить с помощью искусственной нейронной сети [11,14]. В данной работе для решения поставленной задачи специально разработана нейросетевая модель определения функционального состояния опьянения человека по его зрачковой реакции на световое импульсное воздействие. В качестве такой модели выступает однослойный персептрон с генетическим алгоритмом оптимизации [8,10]. На рисунке 4 представлена структура предложенной модели.

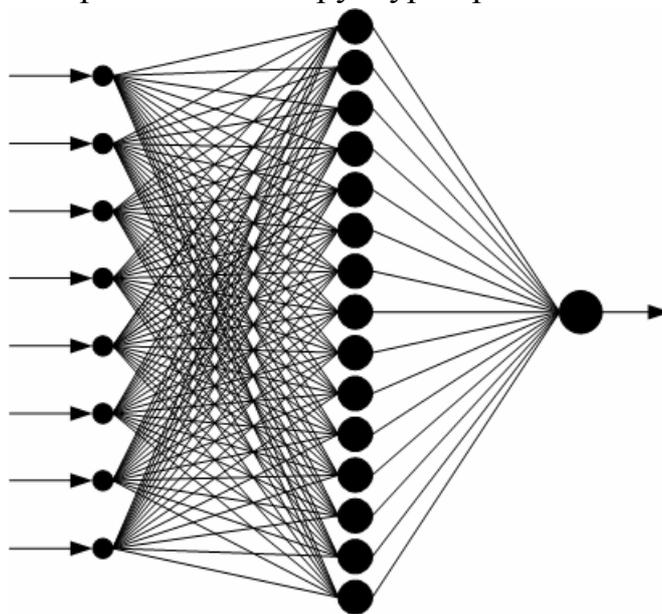


Рис. 4. Структура искусственной нейронной сети

На представленном рисунке изображена структура нейронной сети, состоящей из 8-ми нейронов во входном слое, 15-ти нейронов в скрытом слое и одного нейрона в выходном слое. По вычисленным значениям зрачковой реакции, поступающим на входной слой сети, производится анализ и бинарная классификация текущего функционального состояния человека, а именно «норма» или «отклонение от нормы».

На заключительном этапе, при положительных результатах диагностики (отклонение от нормы – опьянение выявлено) производится маркирование человека, как потенциально опасного лица, несущего потенциальную угрозу общественной безопасности. Интеллектуальная система поддержки принятия решений инициирует предупреждение службам безопасности либо сотрудникам правоохранительных органов для осуществления дальнейших действий с выявленным лицом: задержание, дополнительный досмотр, доставление в органы внутренних дел и т.д.

Таким образом, до момента вывода информационного сообщения не требуется физического контакта с проверяемыми лицами, что автоматизирует процесс выявления потенциально опасных лиц и позволяет достичь бесконтактности и превентивности в потоковом режиме.

Заключение. Представленная технология бесконтактного превентивного выявления потенциально опасных лиц имеет высокую актуальность и практическую значимость. Реализацию данной технологии в виде программно-аппаратного комплекса можно использовать в различных сферах обеспечения общественной безопасности. Практическое применение интеллектуальной системы позволит предупредить возможные правонарушения со стороны лиц, находящихся в состоянии опьянения, увеличить эффективность деятельности правоохранительных органов, снизить экономические затраты и риски возникновения нештатных ситуаций. Учитывая важность данных факторов в жизни общества и деятельности государства, это позволит повысить качество жизни и безопасность человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Схема бесконтактной идентификации лиц находящихся в состоянии опьянения // *Информация и безопасность.* 2015. Т. 18. № 3. С. 360-365.
2. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П.* Повышение эффективности обнаружения лица и глаз человека на видеоизображении в задачах бесконтактного выявления потенциально опасных лиц // *Информация и безопасность.* – 2016 – Т. 19. – № 4 (4). – С.519-522.
3. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П.* К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // *Вестник НЦБЖД.* 2015. № 1 (23). С. 13-21.
4. Генеральная прокуратура Российской Федерации. Состояние преступности в России за январь - июнь 2016 года. – Москва: Главное организационно-аналитическое управление правовой статистики, 2016 – 52 с.

5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-6-2006. Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 6. Данные изображения радужной оболочки глаза. – М.: Стандартинформ, 2006. – 23 с.

6. *Евсеева А.О., Катасёв А.С., Катасёва Д.В.* Идентификация ботов в социальных сетях на основе нейросетевой модели // *Информация и безопасность.* – 2016. – Т. 19. – № 4 (4). – С. 535-538.

7. *Емалетдинова Л.Ю., Катасёв А.С., Кирпичников А.П.* Нейронечеткая модель аппроксимации сложных объектов с дискретным выходом // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 295-299.

8. *Кабиров А.Д., Катасёв А.С., Катасёва Д.В.* Оценка стойкости шифров моноалфавитной замены с использованием частотного анализа и генетического алгоритма // *Информация и безопасность.* – 2016. – Т. 19. – № 4 (4). – С. 543-546.

9. *Катасёв А.С., Емалетдинова Л.Ю.* Нечетко-продукционная каскадная модель диагностики состояния сложного объекта // *Программные системы и вычислительные методы.* – 2013. – № 1. – С. 69-81.

10. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П.* Оценка стойкости шифрующих преобразований моноалфавитной замены с использованием генетического алгоритма // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2015. – Т. 18. – № 7. – С. 255-259.

11. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Кирпичников А.П., Гумерова Р.И.* Нейросетевая модель распознавания рукописных символов в системах биометрической идентификации и аутентификации // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 122-126.

12. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Фильтрация нежелательных почтовых сообщений на основе нейросетевой и нейронечеткой моделей // *Информация и безопасность.* – 2016. – Т. 19. – № 4 (4). – С. 551-554.

13. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Кирпичников А.П., Аббянов Б.Э.* Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // *Вестник Казанского технологического университета.* 2016. Т. 19. № 13. С. 127-131.

14. *Костюжов С.Г., Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Нейросетевая модель удаленной биометрической аутентификации для корпоративных информационных систем // *Информация и безопасность.* 2016. Т.19. №4. С. 559-562.

15. *Колесников В.В., Кальницкая В.Е., Погребной А.И. и др.* Особенности зрачкового рефлекса у больных наркоманией в период острой абстиненции // *Вопросы наркологии.* – 2004. – № 4. – С. 39-46.

16. *Куцало А.Л.* Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации: диссертация кандидата медицинских наук: Санкт-Петербург, 2004 118 с.

17. Приказ Минздрава России от 18.12.2015 №933н "О порядке проведения медицинского освидетельствования на состояние опьянения (алкогольного, наркотического или иного токсического)" (Зарегистрировано в Минюсте России 11.03.2016 №41390).

18. *Фоменко В.Н., Куприянов А.С.* Математические модели зрачковых реакций глаза человека (пупиллограмм) // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – Вып. 4 (25). – С. 220-230.

19. *Хацевич Т.Н.* Медицинские оптические приборы. Физиологическая оптика: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 135 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОММУТАЦИОННОГО ШКАФА

О.П. Валов, К.А. Фролова

(КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Россия, 420111, Казань,
К. Маркса, 10)

E-mail: valov.oleg@gmail.com

OPTIMIZATION OF AN ARRANGEMENT OF A SWITCHING CASE

O.P. Valov, K.A. Vrolova

(KNITU-KAI named by A.N. Tupolev, 420111, Kazan, K. Marx str., 10)

Keywords: optimization, arrangement, switching case.

Введение. Если Вам поручена разработка плана структурированной кабельной системы (СКС) горизонтальной проводки сегмента разрабатываемой ЛВС, который располагается на одном этаже. В рамках этой задачи необходимо определить оптимальные координаты расположения кроссового шкафа, которые позволяют минимизировать стоимость СКС с одной стороны, а с другой позволяют выбрать наиболее удачное его месторасположение при заданных нескольких альтернативных, являющихся ограничениями на выбор координат установки коммутационного шкафа.

Постановка задачи. При оптимизации размещения коммутационного шкафа варьируемыми параметрами являются его физические координаты месторасположения, поскольку состав активного оборудования (коммутаторы, маршрутизаторы и т.д.) и структура электрических соединений модулей (топология сети связи) фиксированы. При условии, что матрица координат розеток (как правило, RJ-45)U (x_i, y_i, z_i) и тип, определяющий стоимость $S(U)$, соединяющих их с коммутационным шкафом кабелей на заданном плане помещений этажа являются заданными, задача формулируется следующим образом.

Найти минимальное значение сети связи $\min Q(s)$:

$$\min Q(s) = \min Q(x) + \min Q(y) + \min Q(z),$$

где $Q(x)$, $Q(y)$, $Q(z)$ стоимости сети связи по координатам x , y , z .

Данная задача относится к задачам нелинейного программирования [1].

Решение задачи. Рассмотрим метод поиска оптимальных значений координаты

$X - x^{\text{opt}}$, обращающей функцию $Q(x)$ в минимум. Задачу будем решать по-этапно.

Этап 1. Определение топологии сети связи. Топологическая схема характеризует пространственную организацию системы – топологию сети связи, план размещения компонентов системы в пространстве, а также трассировку линий связи. Под топологией сетисвязи понимают структуру соединения объектов системы, т.е. совокупность отношений, показывающих, какой объект системы с каким связан и какова стоимость этой связи. Топология сети связи описывает структуру соединений, но не указывает положения объектов в пространстве. Это положение описывает план размещения, содержащий координаты объектов системы в пространстве.

Топологическая схема сети характеризует пространственную организацию сети передачи данных (СПД), существуют:

- глобальные (СПД – тысячи и более километров);
- региональные, часто их называют корпоративными (СПД – сотни километров);
- локальные (СПД – до 10 километров) и собственно топологию сети – сложность объектов и отношений между ними, которая показывает, какой объект системы с каким связан (рис. 1):

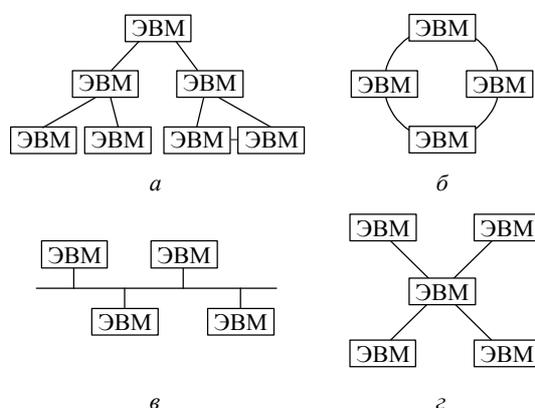


Рис. 1. Топологические схемы СПД:
а – иерархическая; *б* – кольцо; *в* – шина; *г* – звезда

При использовании технологии Ethernet при реализации ЛВС для СКС необходимо использовать древовидную схему соединения в структурированной сети от активного оборудования (ПК, Сервера и Принтера), подключаемого через розетки RJ-45 к кроссовому шкафу, в котором устанавливаются коммутаторы и маршрутизаторы.

Этап 2. Выбор модели трассировки кабелей связи. Трассировка линий связи – это геометрически определенный способ соединения объектов

системы. Трассировка имеет метрический и топологический аспекты. Метрический аспект связан с выбором метрики для оценки расстояния между соединяемыми объектами, второй обусловлен ограничениями на прокладку линий связи в монтажном пространстве.

На практике в качестве модели трассировки межобъектных линий связи наиболее часто используют ортогональную и евклидову метрики:

$$l_{ij} = (x_i - x_j) + (y_i - y_j) \quad \text{— ортогональная метрика;}$$

$$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{— евклидова метрика.}$$

Здесь l_{ij} — длина линии связи между i -м и j -м объектами.

В качестве модели трассировки кабелей связи на практике наиболее распространенной в СКС является ортогональная метрика.

В соответствии с планом этажа, для которого разрабатывается СКС, определяются координаты расположения розеток RJ-45. От розеток разводка ведется витой парой к кроссовой этажа, а от нее коаксиальным кабелем на другой этаж через межэтажный туннель.

Этап 3. Размещение оборудования АСНИ в монтажном пространстве по критерию минимизации стоимости сети связи.

Запишем функцию $Q(x)$ стоимости сети связи:

$$Q(x) = \sum_{i=1}^m S_i |x - x_i|.$$

Здесь x — переменная, представляющая искомую оптимальную координату объекта X (в нашем случае это центр кроссового шкафа по координате x), который соединен с непереключаемыми объектами с координатами x_i (в нашем случае это координаты x_i расположения розеток RJ-45); S_i — удельная стоимость линии связи от объекта X к объекту X_i , а m — число объектов связанных с объектом X .

При ортогональной метрике можно разделить рассмотрение суммарной стоимости горизонтальных и вертикальных элементов кабелей связи.

Определить минимальное значение стоимости горизонтальных элементов кабелей можно, продифференцировав $Q(x)$. Функция $Q(x)$ является кусочно-непрерывной на числовой прямой, имеющей на конечном числе точек в области определения функции разрывы первого рода. Производная функции $Q(x)$ также кусочно-непрерывная.

Так как в выражении для $Q(x)$ разность $(x - x_i)$ стоит под знаком модуля, который дифференцировать нельзя, то при определении производной необходимо следить, чтобы эта разница всегда была больше 0 (стоимость не может быть отрицательной величиной). То есть, если значение произ-

водной определяется на промежутке где $x > x_i$, то эта разность запишется как $(x - x_i)$, а если значение производной определяется на промежутке где $x < x_i$, то эта разность запишется как $(x_i - x)$.

Рассмотрим численный пример нахождения $\min Q(x)$ для офиса, расположенного на втором этаже, план которого представлен на рис. 2.

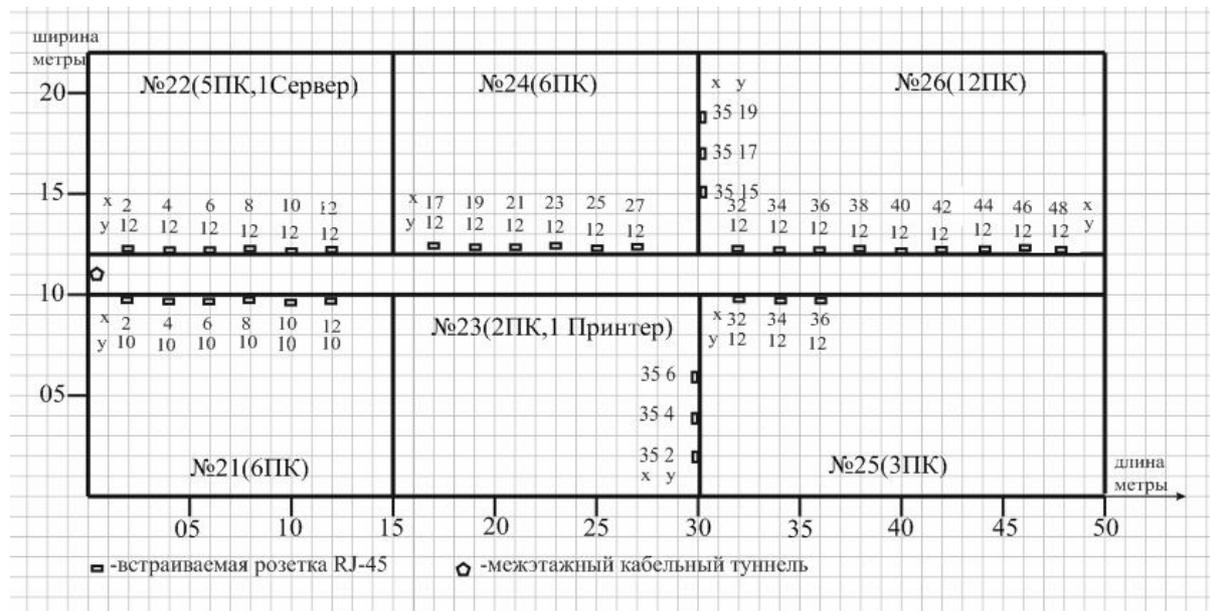


Рис. 2. План расположения объектов в офисе

Помещения 21...26 соединены коридором шириной 2 метра ($k = 2$).

Кабели горизонтальной структурированной системы прокладываются по кабельным каналам, предназначенным для подсоединения компьютеров, расположенных внутри помещения, а также в коридоре – для связи компьютеров между помещениями и с кроссовой этажа. Каждая телекоммуникационная розетка связывается с коммуникационным оборудованием, расположенным в разных помещениях, в кроссовой этажа. Розетки RJ-45 во всех шести помещениях одинаковы для всех видов используемого активного оборудования. В соответствии со стандартом ISO/IEC 11801 длина кабелей горизонтальной структурированной подсистемы не должна превышать 90 м. Кабель витая пара 100 BASE-T4 с приведенной ценой 10 рублей за один погонный метр. Вертикальная проводка структурированной кабельной сети, проложенная в межэтажном кабельном туннеле, выполнена оптическим кабелем с приведенной ценой 60 рублей за один погонный метр.

С учетом этих данных запишем выражение для стоимости сети связи по координате $x - Q(x)$:

$$\begin{aligned}
Q(x) = & 60 \cdot [x - 0] + \\
& + 2 \cdot 10 \cdot [|x - 2| + |x - 4| + |x - 6| + |x - 8| + |x - 10| + |x - 12|] + \\
& + 10 \cdot [|x - 17| + |x - 19| + |x - 21| + |x - 23| + |x - 25| + |x - 27|] + \\
& + 6 \cdot 10 [x - 30] + \\
& + 2 \cdot 10 \cdot [|x - 32| + |x - 34| + |x - 36|] + \\
& + 10 \cdot [|x - 38| + |x - 40| + |x - 42| + |x - 44| + |x - 46| + |x - 48|]
\end{aligned}$$

Определим минимальное значение стоимости горизонтальных элементов кабелей, продифференцировав $Q(x)$.

Подсчет значения производной $dQ(x)/dx$ на интервале $4 \leq x < 6$ не представляет труда, поскольку производная скобки равна 1 или -1, следовательно, на интервале $4 \leq x < 6$ она равна:

$$\begin{aligned}
dQ(x)/dx = & 60 \cdot 1 + \\
& + 2 \cdot 10 \cdot [1 + 1 - 1 - 1 - 1 - 1] + \\
& + 10 \cdot [-1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1] + \\
& + 6 \cdot 10 [-1] + \\
& + 2 \cdot 10 \cdot [-1 - 1 - 1] + \\
& + 10 [-1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1] = -220.
\end{aligned}$$

Значения производной на всех интервалах задания функции $Q(x)$ приведены на рис. 3.

x	0	2	4	6	8	10	12		17	19	21	23	25	27	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	
$dQ(x)/dx$	-420	-300	210	-220	-180	-140	-100		-60	-40	-20	0	20	40	60	180	220	260	300	320	340	360	380	400	210

Рис. 3. Значения производной $dQ(x)/dx$

Итак, оптимальные значения координаты x для установки кроссового шкафа:

$21 \leq x < 23$, при которых производная обращается в нуль. Можно выбрать в качестве оптимальной одну из этих координат, например, $x^{\text{opt}} = 22$.

Заключение. Рассмотренный алгоритм позволяет синтезировать топологию сети связи и разместить объекты системы в пространстве по критерию минимума стоимости сети связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виттих В.А., Цыбатов В.А. Оптимизация бортовых систем сбора и обработки данных. – М.: Изд-во Наука, 1985. – 178 с.

2. *Валов О.П.* Основы телекоммуникаций. Учебное пособие для студ. направления 230100 – «Информатика и вычислительная техника» по дисциплине «Сети ЭВМ и телекоммуникации». – Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н.Туполева, 2009. –180 с.

3. *Эминов Ф.И.* Технологии информационно-коммуникационной инфра-структуры предприятий. – Казань: Мастер Лайн, 2014. – 126 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ СКАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ВОКСЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

А.А. Габитов, А.В. Каляшина

(КНИТУ-КАИ, Россия, 420111, Казань, К. Маркса, 10)

E-mail: arthurgabitov@gmail.com

CREATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELLING OF SCANNED OBJECTS INTELLIGENCE SYSTEM BASED ON VOXEL METHODS DEVELOPMENT

A.A. Gabitov, A.V. Kalyashina

(KNRTU-KAI, 420111, Kazan, K. Marx str., 10)

Keywords: voxel method, 3D modelling, 3D scanning.

Введение. В настоящее время наблюдается бурное развитие робототехники в производственной сфере. В независимости от сферы применения в основе любого роботизированного комплекса лежат принципы взаимодействия с объектом окружения, основанные на данных, полученных роботом путем распознавания и оценки информации с датчиков. Как правило, основным источником информации являются различные системы технического зрения, предоставляющие роботу данные в виде изображения объекта и окружающей среды, что является причиной роста актуальности решения задач по распознаванию объектов изображения. К процессу и результату сканирования объектов, проводимом при выполнении автоматизированных технологических операций, предъявляются жесткие требования не только по качеству и точности, но также и по времени обработки полученных данных.

Постановка задачи. Современные средства визуализации справляются с большинством задач, однако потребности в более новых и высокотехнологичных системах могут быть гораздо выше и требовать иные методы визуализации. Воксельная графика является одним из таких решений в ряде случаев. Для эффективного внедрения воксельной визуализации требуется решить ряд основных проблем, заключающихся в поиске оптимальных алгоритмов и структур данных.

В данной статье рассматриваются воксельные методы визуализации и алгоритмы распознавания и совмещения изображений, полученных с по-

мощью различных видеосенсоров, что является актуальной проблемой в сфере аддитивных технологий, в частности лазерной порошковой наплавки. Для подобных технологий требуется автоматическая интеллектуальная система принятия решений, которая позволит улучшить качество процесса, повысить быстродействие и эффективность.

Воксельная графика представляет объекты при помощи атомарных элементов, расположенных в узлах сетки – вокселей. Каждый воксель может содержать некоторое количество данных – от цвета и прозрачности, аналогично двумерным пикселям, – до специализированных данных, например, информации о типе материала, плотности, упругости [1]. Кроме того, данный метод позволяет визуализировать сложноконфигурированные объекты без использования дополнительных средств, визуализировать их внутреннюю структуру.

Одной из главных проблем данного метода является ограниченная производительность аппаратных систем, производящих визуализацию комплексных сцен. Чтобы в ряде случаев уменьшить как вычислительную нагрузку, так и количество занимаемой памяти, предлагаются различные решения, зачастую основанные на технологии SVO (Разреженное воксельное октодреву). Однако, данная технология в первую очередь предназначена для решения проблем производительности, особенно для приложений, использующих трассировку лучей. Поэтому требования к памяти остаются весьма значительными [5].

Применение иерархической структуры разреженного октодреву является основой многих известных методов, ориентированных на повышение скорости обработки [1,2]. Или методов, ориентированных на сокращение объемов данных [3]. Для решения проблем визуализации при помощи воксельной графики в системах моделирования предложен специализированный метод [2], ориентированный на решение проблем, связанных с объемами данных и скоростью их обработки в ряде случаев. Допустим наличие некоторой сцены $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ и наличие в ней определенного количества вокселей v .

Исходя из такого свойства вокселей, как однозначное состояние – пустой или непустой, в сцене можно определить два непересекающихся подмножества; P – множество непустых вокселей и Z – множество пустых вокселей. Для оптимизации обработки и хранения все воксели из множества Z требуется пропускать, так как они не несут полезной информации. Октодреву дает такую возможность путем прекращения ветвления в областях, заполненных пустыми вокселями.

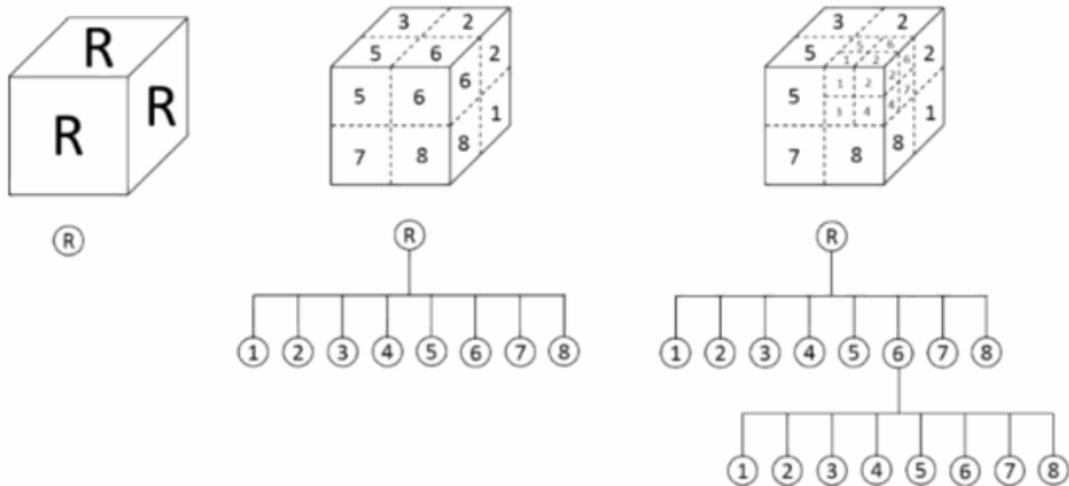


Рис. 1. Разбиение сцены при помощи октодрева

Кроме того, достаточно эффективным методом является метод ограничивающих объемов. Фактически ограниченные объемы заключают в себя некоторое количество объектов, находящихся в некотором топологическом отношении [1]. В воксельной графике применение ограничивающих объемов еще более выгодно, так как пространство дискретно, а множества конечны. Таким образом, в любой узел сцены и его ограничивающий объем попадают как непустые воксели, принадлежащие объекту, так и побочные пустые воксели, однако пустые воксели вне всех узлов будут успешно удалены.

Если рассматривать сам процесс формирования октодрева [2], то основная идея заключается в рекурсивном разбиении пространства на восемь равных частей, которые заключаются в узлы (рис. 1). Каждому узлу ставится в соответствие блок данных, фактически – некоторая часть всей воксельной сетки сцены.

Таким образом, производится переход от большой однородной сетки к некоторому количеству малых сеток. Благодаря тому, что пространство в воксельной графике дискретно, воксели, не несущие полезной информации, хранить не требуется.

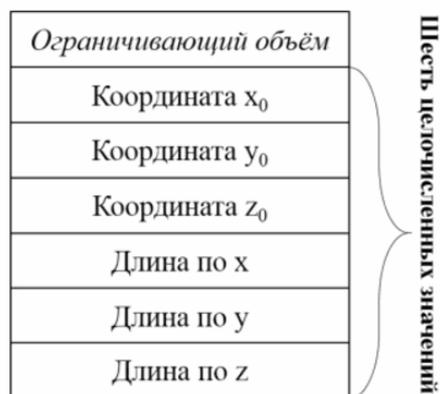


Рис. 2. Структура ограничивающего объема в памяти ЭВМ

Определение значений ограничивающего объема заключается в нахождении в блоке данных экстремальных значений каждой координат вокселей. Такая процедура должна выполняться один раз во время сегментации всей сцены и каждый раз после изменения координат внутри этого объема.

Кроме того, в процессе решения таких задач, как определение дефектов, нахождение стыков, швов и конструктивных элементов возникает задача исследования однородности криволинейных поверхностей. В общем случае, криволинейная поверхность описывается в аналитическом виде уравнением с небольшим числом параметров.

В работе [4] авторы используют систему технического зрения для получения набора точек с трехмерными координатами с целью определения точек, которыми можно пренебречь при поиске параметров исследуемой поверхности. Для упрощения задачи был сделан ряд допущений: авторы предположили, что число варьируемых параметров поверхности невелико, ограничив значения этих параметров; количество точек, принадлежащих неоднородным включениям, значительно меньше общего числа точек. Авторы разработали алгоритм аппроксимации, позволяющий определить параметры поверхности по подмножеству точек, которые находятся в пределах заданного удаления от искомой поверхности. Поскольку целевая функция дискретна и содержит множество локальных максимумов, а допустимое множество непрерывно, для решения задачи выбран метод Монте-Карло, известный как метод «имитации отжига» или алгоритм Метрополиса. После того, как определены параметры поверхности, в исходном множестве точек выделены подмножества «неоднородных включений», содержащие точки, удаленные от поверхности на расстояние больше заданного.

В работе [3] предлагается алгоритм произвольного доступа к сжатым данным, что позволяет с минимальными издержками уйти от проблем перегрузки памяти вычислительной системы при использовании воксельных данных для моделирования сложных сцен. В качестве эксперимента, для сжатия были выбраны два набора данных: первый – пустое пространство, а второй – пространство вблизи поверхности. Пустое однородное пространство не требует моделирования, в то время, как пространство вблизи поверхности представляет наибольшую нагрузку к сжатию данных. Для случая компрессии пустого пространства были получены следующие результаты: удалось уменьшить блок данных размером 256 МБ до 0.5 кБ (0.0002%). При сжатии данных об участке вблизи поверхности земли, блок размером 256 МБ сократился до 5 МБ (2%), что так же дает существенную разницу: вместо одного участка можно хранить одновременно 50, занимая

тот же объем памяти. В качестве дальнейшего развития данного алгоритма, авторы предлагают воспользоваться преимуществом независимости блоков данных внутри файла, для того чтобы реализовать параллельные алгоритмы компрессии, декомпрессии, чтения и записи.

Для того, чтобы эффективно использовать описанные методы при сканировании объекта во всей области сканирования необходимо выстроить сцену с определенным количеством «больших» вокселей. Каждому вокселю присваивается однозначное состояние – пустой или непустой, таким образом мы определяем два пересекающихся подмножества вокселей. Данные о координатах каждой точки поверхности объекта сканирования и соответствующая координата положения сканера, позволяет определить и отсечь «пустые» воксели. Затем поверхностные «непустые» воксели разбиваются на 8 равных частей, которым так же присваивается пустое или непустое состояние, определяемое наличием точек из облака в данном «маленьком» вокселе. Для того чтобы добиться оптимального разрешения необходимо проводить несколько итераций.

Для ускорения процесса обработки и визуализации объекта мы предлагаем использовать программно-аппаратную архитектуру параллельных вычислений, которая позволит существенно увеличить вычислительную производительность комплекса, а так же проводить параллельное сжатие данных с возможностью доступа к данным.

Заключение. При использовании рассмотренных методов достигается следующее:

- Исходная сетка высокого разрешения преобразуется методом последовательных приближений;
- Пустые воксели, не попавшие ни в один узел, не хранятся и не обрабатываются;
- Для ускорения процесса обработки и визуализации объекта предлагается использовать программно-аппаратную архитектуру параллельных вычислений, которая позволит существенно увеличить вычислительную производительность комплекса;
- Для улучшения производительности необходимо использовать комбинированные способы хранения и обработки воксельных данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (Задание №9.3236.2017/ПЧ),

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bautembach D.* Animated Sparse Voxel Octrees // Bachelor's Thesis – University of Hamburg, Department of Informatics, 2011, <http://www.bautembach.de>.
2. *Витиска Н.И., Гуляев Н.А.* Метод визуализации трехмерных сцен и объектов воксельной графики для систем имитационного моделирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки, №4(165), 2015.
3. *Бланко Л.М.Л., Березняк С.А., Пантелюк П.А.* Алгоритм компрессии воксельного поля, оптимизированный для хранения данных о ландшафте // Инженерный вестник Дона, №4 (27), т.27, 2013.
4. *Пискарев А.А., Михайлов Б.Б.* Исследование однородности криволинейных поверхностей с помощью системы объемного зрения // Сборник тезисов научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления-2017», 2017.
5. *Purgathofer W., Tobler R.* Current trends in computer graphics // Buletinul institutului politehnic din Iasi. Vol. 56, 2010.

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОКРАТНОГО ПОКРЫТИЯ СФЕРЫ СФЕРИЧЕСКИМИ СЕГМЕНТАМИ

Ш.И. Галиев, А.В. Хорьков, К.Ю. Тарасова

(КНИТУ-КАИ им. А.Н Туполева, Россия, 420111, Казань, К. Маркса, 10)
E-mail: sh.galiev@mail.ru, aLex22fcrk@yandex.ru, zagajnova_1992@mail.ru

OPTIMIZATION OF MULTIPLE COVERING OF THE SPHERE BY SPHERICAL CAPS

Sh.I.Galiev, A.V.Khorkov, K.Yu.Tarasova

(KRNTU-KAI named after A.N.Tupolev, 420111, Kazan, K. Marx str., 10)

Keywords: multiply covering of a sphere, spherical caps, optimization, k -covering of sphere by spherical caps.

Введение. Предложен метод оптимизации многократного покрытия сферы заданным числом сферических сегментов одинакового наименьшего возможного углового радиуса.

Задача многократного покрытия сферы и связанная с ней задача многократной упаковки сферических сегментов находит важные приложения для решения различных практических задач. Фундаментальные математические результаты по данной тематике опубликованы в работах [1]-[4]. В этих же работах содержатся важные их приложения в области теоретической информатики для анализа и синтеза проблем передачи информации.

В работе [5] показано, что оптимизация k -кратного покрытия сферы трехмерного евклидова пространства n равными сферическими сегментами наименьшего возможного углового радиуса позволяет найти $(n-k)$ -кратную упаковку n равных сферических сегментов наибольшего возможного углового радиуса на этой сфере. Имеет место и обратное утверждение: найдя k -кратную упаковку n равных сферических сегментов наибольшего возможного углового радиуса, мы найдем $(n-k)$ -кратное покрытие сферы n равными сферическими сегментами наименьшего возможного углового радиуса. В работе [6] этот результат рассмотрен более подробно, а в [7] указанный результат обобщен для многократных упаковок и покрытий сфер в евклидовых пространствах размерности 4 и более.

Полученный в работах [5]-[7] важный результат позволяет, оптимизируя многократное покрытие сферы евклидова пространства, одновременно решать задачу оптимизации многократной упаковки равных сферических сегментов на этой сфере. Либо, оптимизируя упаковки, находить требуемые покрытия.

Задачи многократного покрытия сферы сферическими сегментами оказались связанными с задачами проектирования спутниковых систем: многократного обзора всей поверхности Земли, навигационных систем типа

«GPS», «ГЛОНАСС» и «Галилео», систем глобальной связи, а также при оптимизации расположения наземных систем наблюдения за околоземным пространством и т.п. В работах [8]–[14] рассмотрены некоторые вопросы проектирования структур указанных выше спутниковых систем.

В данной работе исследуется задача многократного покрытия сферы заданным числом сферических сегментов одинакового наименьшего возможного углового радиуса. Можно рассматривать данную работу как продолжение и развитие исследований, представленных в [6] и [7] с использованием новых идей, например, полученных в работе [15].

Постановка задачи. Пусть S – сфера единичного радиуса в трехмерном евклидовом пространстве. Совокупность n замкнутых сферических сегментов $M = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ углового радиуса r образует k -кратное ($1 \leq k \leq n$) покрытие сферы S (k -покрытие S) если каждая точка из S принадлежит не менее чем k сферическим сегментам из M .

Задача многократного покрытия сферы заданным числом сферических сегментов одинакового углового радиуса r состоит в следующем. Требуется найти расположения сферических сегментов K_1, K_2, \dots, K_n таким образом, чтобы обеспечивалось k -кратное покрытие сферы S и угловой радиус равных сферических сегментов достигал наименьшего возможного значения.

Методика решения задачи и результаты. В данной работе оптимизация многократного покрытия сферы трехмерного евклидова пространства заданным числом равных сферических сегментов наименьшего возможного углового радиуса осуществляется с помощью нового численного алгоритма. При этом, как в [6] и [7], используются многократные области Вороного на сфере.

Построение многократных областей Вороного, как правило, является неотъемлемой частью при рассмотрении задач многократного покрытия сферы в 3-х мерном пространстве и в пространствах большей размерности, задач многократной упаковки сферических сегментов на поверхности сферы, которые используются при решении задач кодирования в теоретической информатике, см. работы [1], [2].

В работе [6] многократные области Вороного строились с использованием сетки на сфере, узлы этой сетки являлись исходными для нахождения вершин многократных областей Вороного.

В данной работе, в отличие от [6], многократные области Вороного строятся точно, что позволяет избежать пропуска некоторых ее вершин, отсутствие которых может привести к возможным неточностям. При нахождении многократных областей решаются системы уравнений для кривых на поверхности сферы, затем полученные решения используются при нахождении вершин многократных областей. Отметим, что указанные преобразования требуют кропотливой переборной работы для получения требуемых вершин. Однако такой подход менее трудоемкий по сравнению

с предыдущим и обеспечивает нахождение всех вершин. На этапе построения многократных областей также определяются наименьшие значения радиусов сферических сегментов, обеспечивающих заданную кратность покрытия сферы.

Следующим важным, принципиальным моментом является выбор исходных расположений центров покрывающих сферических сегментов. Этот выбор осуществляется на основе идей работы [15]. Для этого строится задача 0-1 линейного программирования. Построенная задача имеет очень большую размерность. Для решения этой задачи 0-1 линейного программирования строится релаксированная задача линейного программирования. Используя решения построенной релаксированной задачи линейного программирования, строится ядерная задача 0-1 линейного программирования. Решения ядерной задачи и позволяют выбрать исходные расположения центров покрывающих сферических сегментов. При построении ядерной задачи возможны различные подходы. В работе предложен эвристический метод.

После нахождения многократных областей Вороного выполняется процедура точного нахождения новых положений центров сферических сегментов наименьших возможных угловых радиусов, которые покрывают найденные многократные области Вороного.

Далее строится итерационная процедура оптимизации многократного покрытия сферы, которая состоит в следующем. Решая релаксированную и ядерную задачи, выбираются начальные положения центров покрывающих сферических сегментов. Зная начальные положения центров сферических сегментов находятся вершины многократных областей.

Далее находим новые положения центров сферических сегментов наименьших возможных угловых радиусов, которые покрывают найденные многократные области Вороного. Используя положения указанных центров, вновь находятся многократные области Вороного на поверхности сферы. Эта процедура повторяется до достижения заданной точности по суммарным сдвигам центров покрывающих сферических сегментов.

Отметим, что либо на этапе нахождения новых центров, либо с помощью независимой процедуры, вновь можно определить наименьшие значения радиусов сферических сегментов, обеспечивающих заданную кратность покрытия сферы.

Указанная процедура реализована для ПК. Расчеты проводились на компьютере Intel Core i7-3537U CPU 2.5GHz, ОЗУ 6Гб, Windows 10 x64, с помощью библиотеки CPLEX-12.6.

В работе проведены расчеты, показывающие результативность метода. Получены новые результаты, улучшающие уже известные из [6], в ча-

стности, улучшены результаты 2-х кратного покрытия сферы при n равных 7, 9 и 10 и для некоторых других случаев.

Заключение. Предложен численный метод оптимизации k -кратного покрытия сферы заданным числом сферических сегментов одинакового наименьшего возможного углового радиуса. Метод позволяет улучшить некоторые ранее известные результаты. Если удастся решить введенные релаксированные и ядерные задачи для больших размерностей, то тем самым мы расширим возможности предлагаемого метода. Возможны модернизации метода при других, отличных от предложенного, методах построения ядерной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвей Дж., Слоан Н. Упаковки шаров, решетки и группы. Т. 1, 2. Москва, Мир, 1990.
2. Сидельников В.М. О плотнейшей укладке шаров на поверхности n – мерной евклидовой сферы и числе векторов двоичного кода с заданным кодовым расстоянием // Докл. АН СССР, 1973, Том 213, С. 1029-1032.
3. Fejes Toth G. Multiple packing and covering of spheres // Acta Math. Acad. Sci. Hungar. 1979. Vol. 27 (1-2), P. 165-176.
4. Роджерс К. Укладки и покрытия. Москва, Мир, 1968.
5. Галиев Ш.И. Нахождение приближенного решения максимина со связанными переменными и кратного максимина // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1986. Том 26, № 10, С. 1455-1467.
6. Галиев Ш.И. Многократные упаковки и покрытия сферы // Сибирский математический журнал. – 1989. – Т. 30. – № 3. – С. 202-203.
7. Галиев Ш.И. Многократные упаковки и покрытия сферы // Дискретная математика. – 1996. – Т. 8. – № 3. – С. 148-160.
8. Можяев Г.В. Задачи о непрерывном обзоре Земли кинематически правильные спутниковые системы I, II // Космические исследования. – Т. 10. – Вып. 6. – С. 833-840. – Т. 11. – Вып. 1. – С. 59-69. 1972, 1973.
9. Ballard A.H. Rosete Constellation of Earth Satellites // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. V. AES-16. – № 5. – P. 656-673, 1980.
10. Beste D.C. Design of Satellite Constellation for Optimal Continuous Coverage // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. V. AES-14. – № 3. – P. 466-473, 1978.
11. Draim J.E. A Six-Satellite Continuous Global Double Coverage Constellation // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference. Kalispell, Montana, August 10-13. – P. 1-11. – 1987.
12. Галиев Ш.И., Заботин В.И. Системы из минимального числа спутников для многократного обзора Земли // Исследование Земли из Космоса. – 1990. – №5. – С. 102-108.

13. *Галиев Ш.И.* Динамические оценки числа спутников для многократного обзора Земли. *Космические исследования*, 1996. – Т. 34. – № 5. – С. 500-504.

14. *Галиев Ш.И., Заботин В.И.* Модели спутниковых систем глобальной связи и методы анализа и синтеза их структур // *Исследование Земли из Космоса*. – 1993. – №5. – С. 66-74.

15. *Галиев Ш.И., Карпова М.А.* Оптимизация многократного покрытия ограниченного множества кругами // *Журнал вычислительной математики и математической физики*, 2010. – Т. 50. – № 4. – С. 757-769.

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ МНОГОСТАДИЙНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА

Н.Н. Зиятдинов, Г.М. Островский, И.И. Емельянов, Л.К. Туен

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет», 420015, г. Казань, Россия,
ул.К. Маркса, 68)

E-mail: nnziat@yandex.ru

SYNTHESIS SEQUENTIAL METHOD OF OPTIMAL MULTISTAGE HEAT EXCHANGE SYSTEMS

N.N. Ziyatdinov, G.M. Ostrovskii, I.I. Emel'yanov, L.Q. Tuyen

(Kazan National Research Technological University, 420015, Kazan,
K. Marx str., 68)

Keywords: heat integration, optimal design, simulation, chemical engineering, multistage heat exchange network.

Задача синтеза оптимальной системы теплообмена (СТО) является сложной комбинаторной задачей большой размерности, вследствие наличия в технологических установках множества источников и стоков тепловой энергии. За последние несколько десятилетий был разработан ряд подходов и методов теплоинтеграции, позволяющих достичь существенного снижения значения критерия – суммы приведенных капитальных и энергетических затрат [1]. Ввиду своей относительной простоты, наибольшую популярность получила группа методов, основанных на эвристических правилах и термодинамическом подходе к оптимальной теплоинтеграции.

К сожалению, они не гарантируют достижения глобального минимума экономического критерия. Это привело к разработке методов математического программирования на основе строгих математических моделей теплообменного оборудования. К числу последних относятся методы интегрального синтеза СТО [2]. Однако они приводят к проблеме больших размерностей и характеризуются наличием множества локальных минимумов. Для устранения этих недостатков был разработан последовательный подход, который разбивает исходную проблему на ряд целевых под-

задач и поэтому считается более эффективным способом нахождения оптимальных СТО. В рамках этого подхода в [3] проблему синтеза оптимальных СТО предложено решать в три этапа: во-первых, минимизировать энергетические затраты с помощью модели линейного программирования; во-вторых, минимизировать число теплообменников решением задачи дискретно-непрерывного линейного программирования для определения оптимальных сочетаний потоков; наконец, находить минимальные суммарные приведенные затраты решением задачи нелинейного программирования, тем самым определяя оптимальную структуру СТО. Несмотря на значительные успехи в использовании такого подхода для синтеза оптимальных СТО, все же остаются открытым ряд вопросов. Во-первых, вычислительная трудоемкость; во-вторых, сужение поисковой области, вследствие использования эвристик пинч-анализа.

Пусть имеется M «горячих» потоков S_i^h , ($i = 1, \dots, M$) и M «холодных» потоков S_j^c , ($j = 1, \dots, M$), имеющих массовые расходы F_i^h , F_j^c , удельные изобарные теплоемкости c_i^h , c_j^c и начальные температуры $T_i^{h,in}$, ($i = 1, \dots, M$), $T_j^{c,in}$, ($j = 1, \dots, M$), соответственно. Задача синтеза СТО ставится следующим образом [4]: необходимо найти структуру СТО «горячих» и «холодных» потоков, содержащую рекуперативные теплообменники, и, в случае необходимости, поставить холодильники на «горячих» потоках и нагреватели на «холодных», определить такие значения всех поверхностей теплообмена рекуперативных теплообменников A_{ij} , нагревателей A_j и холодильников A_i , расходов «холодного» теплоносителя F_i^{cu} в холодильнике и «горячего» теплоносителя F_j^{hu} в нагревателе, при которых температуры «горячих» и «холодных» потоков после СТО будут равны заданным значениям

$$T_i^{h,out}, (i = 1, \dots, M), \quad T_j^{c,out}, (j = 1, \dots, M),$$

а критерий (сумма приведенных капитальных и оперативных затрат) примет минимальное значение.

Нами разработан ряд модификаций классического декомпозиционного подхода математического программирования на основе задачи «о назначениях». Суть подхода заключается в декомпозиции задачи на подзадачу вычисления локальных экономических оценок для каждой совокупности «горячих» и «холодных» потоков, и подзадачу нахождения структуры СТО.

Для этого сначала проводится поиск и оптимизация структурно связанных аппаратов, осуществляющих охлаждение «горячего» и нагревание «холодного» потоков до заданных температур.

Для формализации задачи нахождения оптимальных экономических оценок на организацию теплообмена каждой совокупности пар технологических потоков, предлагается выделять некоторую суперструктуру теплообменных аппаратов, содержащую ряд дочерних структур – элементарных блоков системы теплообмена (ЭБСТ) [5].

Под ЭБСТ нами понимается такая структурная единица, которая позволяет осуществить передачу некоторого заданного количества теплоты ΔQ_j^c j -му «холодному» потоку S_j^c ($j = 1, \dots, M$), и отбор некоторого заданного количества теплоты ΔQ_i^h от i -го «горячего» потока S_i^h ($i = 1, \dots, M$). В общем случае ЭБСТ включает рекуперативный теплообменник E_{ij} , нагреватель (кипятильник) B_j и холодильник (конденсатор) C_i (рис. 1). Задача оптимизации ЭБСТ решается на моделях нелинейного математического программирования с ограничениями на допустимую движущую силу процесса теплопередачи.

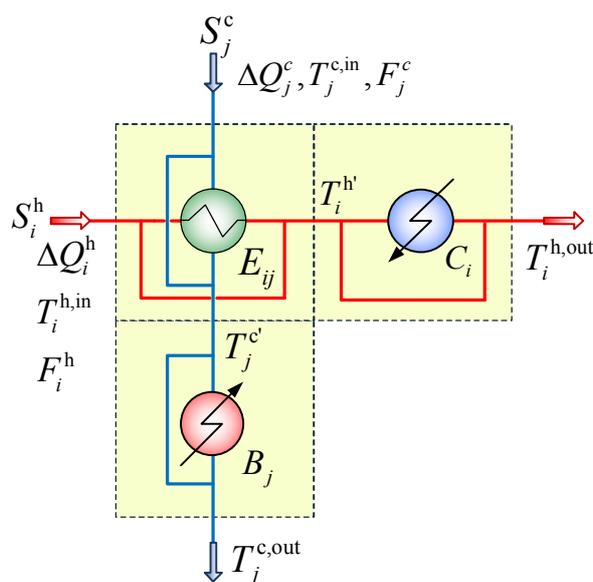


Рис. 1. Суперструктура элементарного блока системы теплообмена

Приведем математические модели аппаратов, входящих в общем случае в состав ЭБСТ.

Математическая модель рекуперативного теплообменника:

$$\Delta Q_i^{\text{he}} = F_i^h c_i^h (T_i^{\text{h,in}} - T_i^{\text{h}'}) + F_i^h r_i^h, \Delta Q_j^{\text{he}} = F_j^c c_j^c (T_j^{\text{c}'} - T_j^{\text{c,in}}) + F_j^c r_j^c, \quad (1)$$

$$\Delta Q_i^{\text{he}} = \Delta Q_j^{\text{he}} = U_{ij}^{\text{he}} A_{ij} \Delta t_{\ln}, \Delta t_{\ln} = \left| \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)} \right|, \quad (2)$$

$$\Delta t_1 = T_i^{\text{h,in}} - T_j^{\text{c}'}, \Delta t_2 = T_i^{\text{h}'} - T_j^{\text{c,in}}. \quad (3)$$

Математическая модель холодильника (конденсатора):

$$\Delta Q_i^{\text{col}} = F_i^h c_i^h (T_i^{\text{h}'} - T_i^{\text{h,out}}) + F_i^h r_i^h,$$

$$\Delta Q_i^{\text{cu,col}} = F_i^{\text{cu}} c_i^{\text{cu}} (T_i^{\text{cu,out}} - T_i^{\text{cu,in}}) + F_i^{\text{cu}} r_i^{\text{cu}}, \quad (4)$$

$$\Delta Q_i^{\text{col}} = \Delta Q_i^{\text{cu,col}} = U_i^{\text{col}} A_i \Delta t_{\ln}, \Delta t_{\ln} = \left| \frac{\Delta t_3 - \Delta t_4}{\ln(\Delta t_3 / \Delta t_4)} \right|, \quad (5)$$

$$\Delta t_3 = T_i^{\text{h}'} - T_i^{\text{cu,out}}, \Delta t_4 = T_i^{\text{h,out}} - T_i^{\text{cu,in}}. \quad (6)$$

Математическая модель нагревателя (кипятильника):

$$\Delta Q_j^{\text{reb}} = F_j^c c_j^c (T_j^{\text{c,out}} - T_j^{\text{c}'}) + F_j^c r_j^c,$$

$$\Delta Q_j^{\text{hu,reb}} = F_j^{\text{hu}} c_j^{\text{hu}} (T_j^{\text{hu,in}} - T_j^{\text{hu,out}}) + F_j^{\text{hu}} r_j^{\text{hu}}, \quad (7)$$

$$\Delta Q_j^{\text{reb}} = \Delta Q_j^{\text{hu,reb}} = U_j^{\text{reb}} A_j \Delta t_{\ln}, \Delta t_{\ln} = \left| \frac{\Delta t_5 - \Delta t_6}{\ln(\Delta t_5 / \Delta t_6)} \right|, \quad (8)$$

$$\Delta t_5 = T_j^{\text{hu,in}} - T_j^{\text{c,out}}, \Delta t_6 = T_j^{\text{hu,out}} - T_j^{\text{c}'}. \quad (9)$$

где $U_{ij}^{\text{he}}, U_i^{\text{col}}, U_j^{\text{reb}}$ – коэффициенты теплопередачи; $T_i^{\text{h}'}, T_j^{\text{c}'}$ – температуры «горячего» и «холодного» потоков на выходе рекуперативного теплообменника; r_j^c, r_i^h – удельные теплоты парообразования j «холодного» и конденсации i «горячего» потоков.

Задача оптимизации ЭБСТ по критерию суммарных приведенных капитальных и эксплуатационных затрат решается при наличии ограничений на неотрицательность тепловых нагрузок теплообменников и существ-

вовании движущей силы процесса теплопередачи большей минимально допустимой разности температур ξ , и принимает вид (10).

$$f_{ij}^{\text{opt}} = \min_{A_{ij}, A_i, A_j, F_i^{\text{cu}}, F_j^{\text{hu}}} (\hat{m}^{\text{he}} A_{ij}^{\gamma^{\text{he}}} + \hat{m}^{\text{col}} A_i^{\gamma^{\text{col}}} + \tilde{m}^{\text{cu}} F_i^{\text{cu}} + \hat{m}^{\text{reb}} A_j^{\gamma^{\text{reb}}} + \tilde{m}^{\text{hu}} F_j^{\text{hu}}) \quad (10)$$

$$\Delta Q_i^{\text{he}} \geq 0, \Delta Q_i^{\text{col}} \geq 0, \Delta Q_j^{\text{reb}} \geq 0,$$

$$\Delta t_1 \geq \xi, \Delta t_2 \geq \xi, \Delta t_3 \geq \xi, \Delta t_4 \geq \xi, \Delta t_5 \geq \xi, \Delta t_6 \geq \xi.$$

где $\hat{m}^{\text{he}}, \hat{m}^{\text{col}}, \hat{m}^{\text{reb}}$ – ценовые коэффициенты для вычисления капитальных затрат рекуперативного теплообменника, холодильника и кипятильника, соответственно; $\gamma^{\text{he}}, \gamma^{\text{col}}, \gamma^{\text{reb}}$ – корреляционные коэффициенты; $\tilde{m}^{\text{cu}}, \tilde{m}^{\text{hu}}$ – стоимость единицы расхода «горячего» и «холодного» теплоносителя.

Далее, решением задачи линейного дискретного программирования «о назначениях» (11) находится структура одностадийной системы теплообмена (рис. 2).

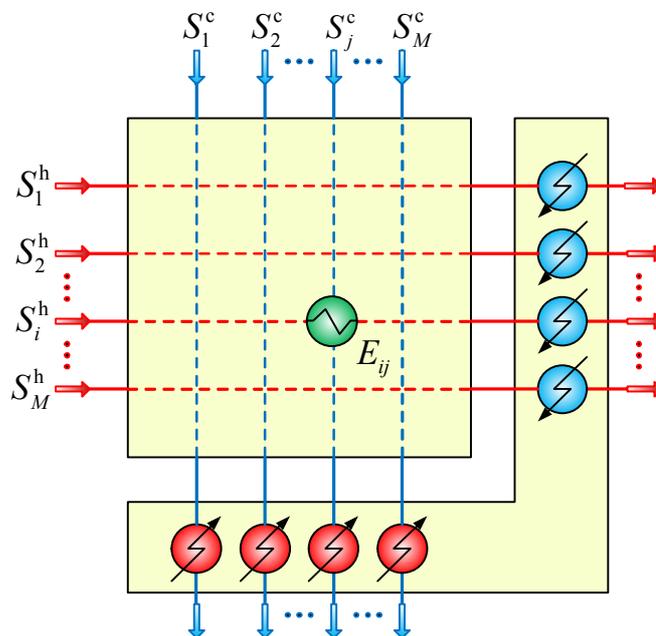


Рис. 2. Суперструктура одностадийной системы теплообмена

Под одностадийной системой теплообмена (ОСТО) будем понимать такую систему, в которой для каждого i -го «горячего» потока определен единственный j -й «холодный» поток, для совокупности которых найдены оптимальные структуры ЭБСТ и управляющие переменные. Исходными

данными для решения такой задачи является матрица экономических оценок, элементы которой найдены в результате решения задачи (10). Для случая неравного числа «горячих» потоков числу «холодных» потоков, матрицу оценок задачи «о назначениях» предлагается достраивать до квадратного вида путем добавления дополнительных оценок на автономный теплообмен, т.е. теплообмен целевого потока с внешним теплоносителем.

$$\begin{aligned} \min_{z_{ij}} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M f_{ij}^{opt} z_{ij}, \\ \sum_{i=1}^M z_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^M z_{ij} = 1, \\ i, j = 1, \dots, M, z \in \{0, 1\}. \end{aligned} \quad (11)$$

где двоичная поисковая переменная z_{ij} определяет оптимальную структуру ОСТО:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ организуется теплообмен между горячим потоком } S_i^h \text{ и холодным} \\ \text{потоком } S_j^c \text{ с помощью рекуперативного теплообменника, либо} \\ \text{горячий поток охлаждается с помощью холодильника} \\ \text{и холодный поток нагревается с помощью нагревателя;} \\ 0, \text{ либо оба потока } (S_i^h, S_j^c) \text{ обмениваются теплом с другими} \\ \text{потоками, либо один из потоков } (S_i^h, S_j^c) \text{ обменивается теплом} \\ \text{с одним из других потоков, а другой автономно нагревается} \\ \text{(охлаждается).} \end{cases}$$

Под многостадийной СТО будем понимать систему, в которой каждый i -й «горячий» поток может передавать тепловую энергию нескольким «холодным» потокам, а каждый j -й «холодный» поток может принимать тепловую энергию от нескольких «горячих» потоков. Сложность решения такой задачи заключается в том, что заранее не известно, какое количество энергии должно отбираться от «горячего» и передаваться «холодному» потоку на каждой стадии теплообмена. Поэтому в число поисковых переменных должны быть включены суммарные тепловые нагрузки $\Delta Q_{i,q}^h, \Delta Q_{j,q}^c$ теплообменников q ($q = 1, \dots, N$) стадии для i -го «горячего» и j -го «холодного» потоков. Мы могли бы их определить решением задачи нелинейного программирования для определенной структуры СТО. Но топология СТО нам также не известна. Поэтому с использованием метода закрепления промежуточных переменных [6] проведем декомпозицию задачи на подзадачу определения оптимальной структуры многостадийной

СТО при фиксированных тепловых нагрузках каждой стадии, и подзадачу поиска на заданной структуре новых значений $\Delta Q_{i,q}^h, \Delta Q_{j,q}^c$. Для решения первой подзадачи представим многостадийную СТО в виде некоторой суперструктуры, состоящей из последовательности ОСТО. В случае когда число стадий $N=2$ суперструктура СТО принимает вид рис. 3.

Поиск оптимальной структуры СТО на заданной суперструктуре будем строить на основе итерационной процедуры, где в качестве поисковых переменных используется количество теплоты, отбираемое от i -го «горячего» потока и передаваемое j -му «холодному» потоку на каждой стадии. Это потребует задания начальных приближений для $\Delta Q_{i,q}^{h,(0)}, \Delta Q_{j,q}^{c,(0)}$, с учетом требования:

$$\sum_{q=1}^N \Delta Q_{j,q}^{c,(0)} = \Delta Q_j^c, \quad \sum_{q=1}^N \Delta Q_{i,q}^{h,(0)} = \Delta Q_i^h.$$

Поскольку нами заданы значения $\Delta Q_{i,q}^h, \Delta Q_{j,q}^c$, задача поиска оптимальной структуры многостадийной СТО может сведена к последовательному решению задач поиска оптимальных структур ОСТО. В результате их решения будет найдена оптимальная структура многостадийной СТО при фиксированных суммарных тепловых нагрузках теплообменников каждой стадии.

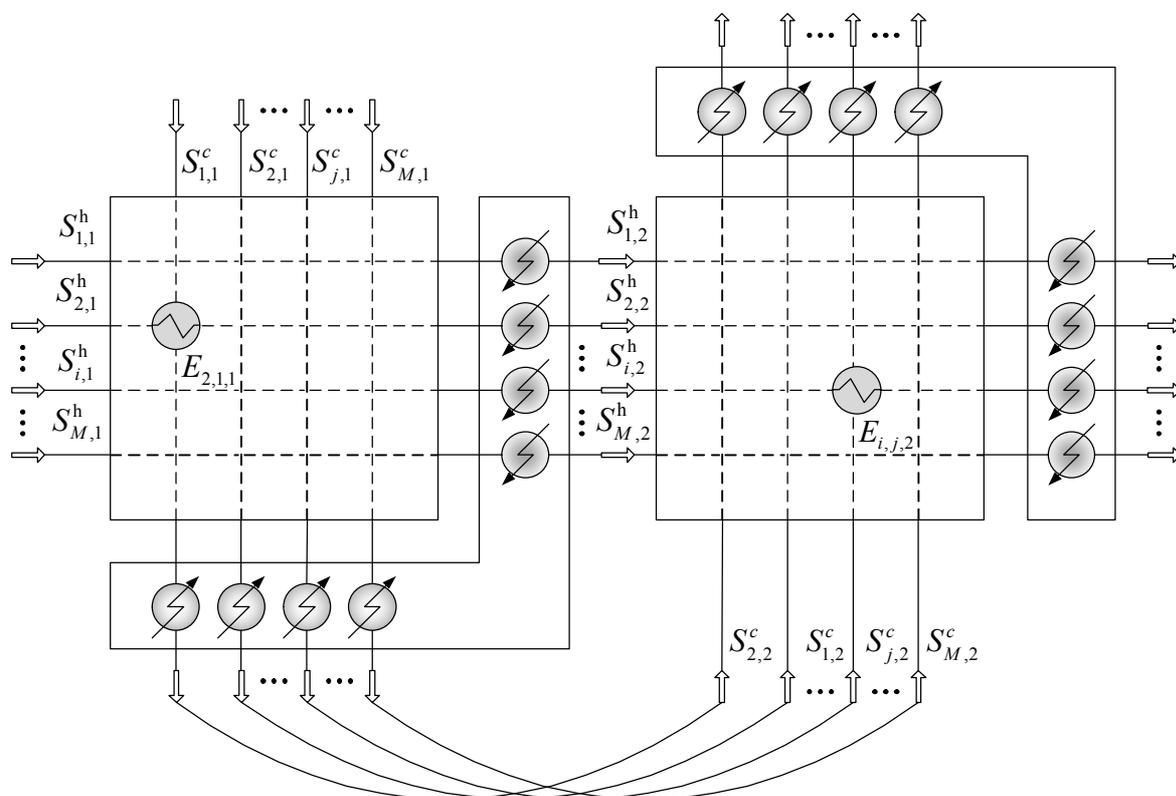


Рис. 3. Система многостадийного теплообмена

Решение второй подзадачи будем основывать на полученной структуре многостадийной СТО, и сведем к задаче условной оптимизации с нелинейной целевой функцией суммарных приведенных капитальных и операционных затрат. Поскольку полученная модель будет включать помимо рекуперативных теплообменников нагреватели и холодильники на выходе каждой стадии теплообмена, что, в сущности, будет понижать движущую силу процесса, в результате решения задачи оптимизации они будут ликвидироваться. Это нами подтверждено в результате решения модельных задач синтеза многостадийных СТО.

Алгоритм решения задачи упрощенно можно представить тремя уровнями (рис. 4). На верхнем (третьем) уровне первой итерации, используя информацию x_j^c, x_i^h о входных и выходных параметрах «холодных» и «горячих» потоков технологической системы, соответственно, вычисляется количество тепла, которое необходимо передать «холодным» потокам и отобрать от «горячих» потоков для обеспечения заданного теплового баланса. Задается число, стадий N . Для каждой q -ой стадии задается начальное приближение количества тепла, передаваемого «холодными» потоками и отбираемого от «горячих» потоков. Эта информация передается на второй уровень и является фиксированной для данной итерации для каждой стадии. На втором уровне для каждой стадии решается задача о назначениях (11). Ее решение требует вычисления значений локальных экономических оценок для каждой совокупности i -го «горячего» и j -го «холодного» потоков каждой стадии $f_{ij,q}^{opt}$. Поэтому на нижнем уровне решением задачи оптимизации ЭБСТ определяется его структура, $\psi_{ij,q}$ и вектор управляющих переменных $u_{ij,q}$, при которых локальный экономический критерий принимает оптимальное значение. Полученные для каждой стадии СТО их структуры, расходы «холодных» и «горячих» внешних теплоносителей, передаются на третий уровень, на котором проводится оптимизация режимов работы многостадийной СТО с заданной структурой всей СТО. В результате получаем новые значения долей нагрузок по «горячим» и «холодным» потокам каждой стадии. Эта информация передается на второй уровень и процедура повторяется. Критерием окончания работы алгоритма является близость суммарных тепловых нагрузок теплообменников каждой стадии на двух последовательных итерациях верхнего уровня. Решением задачи является векторы $\psi_{ij,q}, z_{ij,q}$, определяющие структуру СТО, вектор управления $u_{ij,q}$, определяющий площади теплообмена и режимы функционирования теплообменников, при которых экономический критерий Φ^{opt} принимает минимальное значение.

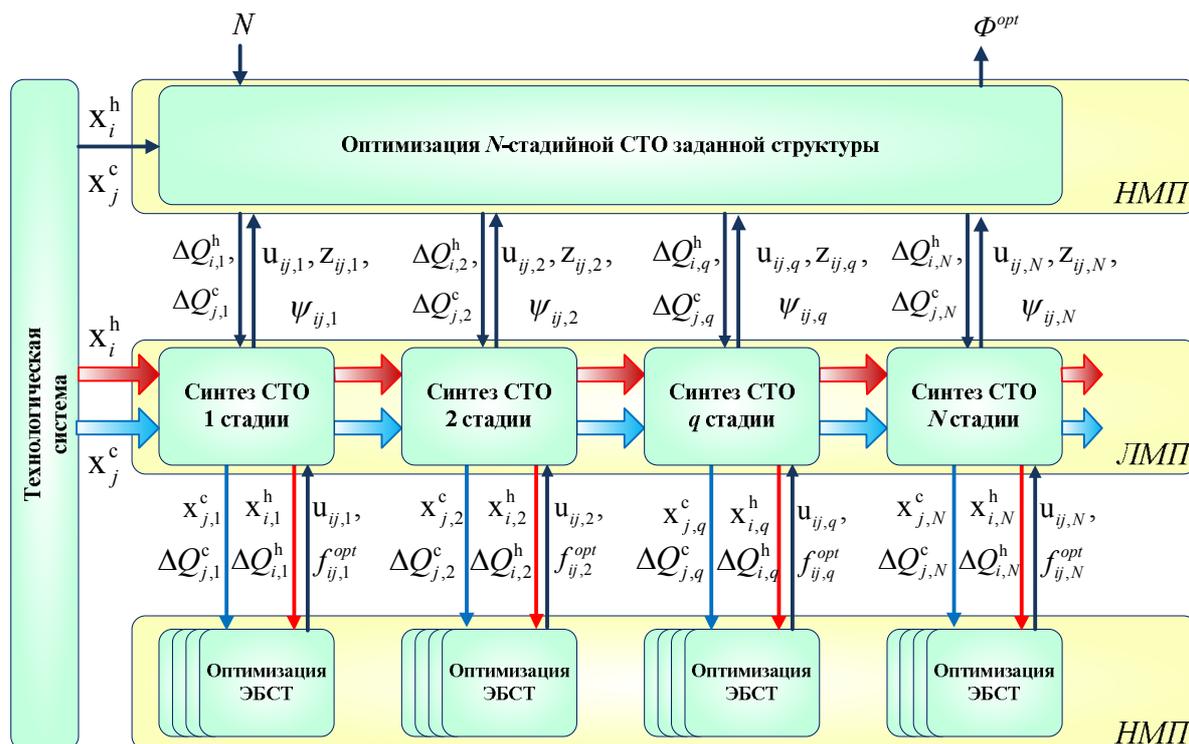


Рис. 4. Упрощенная блок-схема алгоритма

Обозначения: ЛМП, НМП – задачи линейного и нелинейного математического программирования, соответственно.

Отметим, что предлагаемый метод решения задачи синтеза оптимальных многостадийных СТО позволяет полностью алгоритмизировать процесс нахождения решения, характеризуется независимостью от эвристических правил и позволяет решать крупномасштабные производственные задачи. Его эффективность подтверждена на ряде модельных примеров установок химической и нефтехимической технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Klemeš J.J, Kravanja Z.* Forty years of heat integration: pinch analysis (PA) and mathematical programming (MP) // *Current Opinion in Chemical Engineering.* – 2013. – Vol. 2. – No. 4. – P. 461-474.
2. *Yee T.F., Grossmann I.E.* Simultaneous optimization models for heat integration - II. Synthesis of heat exchanger networks. *Comput. Chem. Eng.*, 1990; 14(10):1165-1184.
3. *Chen Y., Grossmann, I.E., and Miller D.C.* Computational Strategies for Large-Scale MILP Transshipment Models for Heat Exchanger Network Synthesis, *Computers and Chemical Engineering*, 2015.

4. *Ostrovskii G. M., Ziyatdinov N.N., and Emel'yanov I.I.*, Synthesis of Optimal Systems of Simple Distillation Columns with Heat Recovery // *Doklady Chemistry*. – 2015. – V. 461. – No. 2. – Pp. 89-92.

5. *Ziyatdinov N.N., Ostrovskii G.M., Emel'yanov I.I.* Designing a Heat-Exchange System upon the Reconstruction and Synthesis of Optimal Systems of Distillation Columns // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2016. –Vol. 50. – No. 2. – P. 178 – 187.

6. *Островский Г.М., Волин Ю.М.* Моделирование сложных химико-технологических схем. – М.: Химия, 1975. – 312 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Авхадиев Р.А.</i> Быстрая оценка длины маршрута по матрице проходимости в задачах производственного планирования	3
<i>Аганин А.А., Гусева Т.С.</i> Влияние прослойки на характер нагрузки на стенке при ударе струи	9
<i>Агафонова Р.Р., Габдуллин И.М., Мингалев А.В.</i> Способ распознавания объектов, находящихся на водной поверхности	16
<i>Айда-заде К.Р., Гашимов В.А.</i> Методы высокого порядка точности для численного решения систем дифференциальных уравнений с нелокальными условиями	21
<i>Александров А.Ю., Урахчинский И.Н.</i> Система автоматизации службы технической поддержки дистанционного обучения	26
<i>Аширафзянов А.М.</i> Обнаружение объектов на изображении в реальном времени	31
<i>Борисов А.Н.</i> Аппаратно-программный комплекс для передачи оповещений в системе контроля доступа	37
<i>Данилаев Д.П., Емалетдинова Л. Ю., Усманов А.М.</i> Автоматизированная экспертная система поддержки принятия решений при организации подготовки технических специалистов для предприятий	41
<i>Желтов С.Ю., Федунов Б.Е.</i> Первый глобальный уровень управления на борту летательного аппарата: оперативное целеполагание	52
<i>Катасёв А.С.</i> Технология формирования нечетких правил в интеллектуальных системах диагностики состояния сложных объектов	67
<i>Катасёва Д.В.</i> Технология анализа и прогнозирования временных рядов на основе нечеткой нейронной сети	71
<i>Кербицков Ю.И.</i> Распознавание изображений лиц в интеллектуальных системах	80
<i>Ктомас Б.Г.</i> Реализация бортовых средств объективного контроля в ГП LabVIEW	85

<i>Ктомас Б.Г., Песошин В.А.</i> Симуляции дерева отказов в ГП «LabVIEW» .	90
<i>Лантева Т.В., Сильвестрова А.С., Островский Г.М.</i> Проектирование оптимальных технических и технологических систем при учете неопределенности в исходной информации	94
<i>Лантева Т.В., К.Т. Нгуен</i> Аппроксимация вероятностных ограничений в задачах проектирования работоспособных технологических систем .	103
<i>Лебедев Д.А.</i> Фильтр Калмана для систем второго порядка	111
<i>Ляшева С.А., Шлеймович М.П.</i> Нейросетевое прогнозирование параметров быстропротекающих процессов	118
<i>Мальшев В.В.</i> Принятие решений при проектировании спутниковых систем	124
<i>Медведев М.В.</i> Детектирование объектов в системах управления технологическим процессом при помощи компьютерного зрения	131
<i>Медведева С.Н.</i> Новые инструменты создания электронного контента по математическим дисциплинам в общеевропейской веб-ориентированной интеллектуальной системе обучения математике Math-Bridge	136
<i>Мифтахутдинов Д.И., Ризаев И.С.</i> Интеллектуальная информационная система определения ошибки геопозиционирования объекта на изображении местности	143
<i>Моисеев В.С., Моисеева Л.Т.</i> Комплекс программ оперативного управления группой беспилотных летательных аппаратов	150
<i>Надеждин К.Д., Шарнин Л.М.</i> Методика проведения прочностных испытаний авиационной техники визуальными методами	158
<i>Пакшина Н.А., Копосов А.С.</i> Командные тесты по теории управления как средство промежуточного контроля знаний студентов	162
<i>Побегайло П.А.</i> Создание методологии автоматизированного проектирования горных и строительных роботов-манипуляторов (на примере одноковшовых гидравлических экскаваторов)	168
<i>Рудницкий С.Ф.</i> Системный инжиниринг и использование стандартов MESA при построении системы управления станочным парком машиностроительного предприятия	178
<i>Сиразетдинов Р.Т.</i> Моделирование устойчивого развития предприятия	192
<i>Смирнова О.С.</i> Разработка программного продукта, позволяющего повышать точность обнаружения новообразований в теле человека с применением нейронных сетей	201
<i>Солодуша С.В.</i> Численное решение полиномиальных интегральных уравнений Вольтерра	206

<i>Урахчинский И.Н., Александров А.Ю.</i> К вопросу реализации мобильности контента автоматизированных обучающих систем	212
<i>Фархадов М.П., Васьковский С.В.</i> Мультимедийные компьютерные технологии для интерактивного дистанционного обучения	217
<i>Хрусталева М.М., Халина А.С.</i> Аффинные стабилизирующие стратегии в квазилинейных стохастических системах диффузионного типа	227
<i>Шакирзянов Р.М.</i> Анализ вейвлетных методов для первичной обработки изображений	236
<i>Шалагин С.В.</i> Вычисление нелинейных полиномиальных функций на распределенных вычислительных системах с программируемой архитектурой	243
<i>Шалагин С.В.</i> Конвейерное генерирование заданных подклассов дискретных стохастических марковских процессов	248
<i>Шалимова Е.С., Климина Л.А., Самсонов В.А., Лин Ч.Ч.</i> Асимптотическое моделирование динамики двухъярусной ветротурбины Дарье	255
<i>Широков П.С., Дегтярев А.Г.</i> Применение нейросетевого моделирования для решения задач прогнозирования и рациональное использование энергоресурсов с автоматической подстройкой функций принадлежности и параметров нейронной сети	261
<i>Шлеймович М.П., Ляшева С.А.</i> Анализ изображений в робототехнических системах на основе вейвлет-преобразования	270
<i>Эминов Ф.И.</i> Параметры для развертывания беспроводных сетей в составе системы управления предприятия	277
<i>Якупов З.Я., Филичев А.С., Галимова Р.К.</i> Защита информационного пространства с использованием технологии rbhm	
<i>Якушенко Е.И., Гурьев Ю.В., Перцев А.В., Ткаченко И.В.</i> Компьютерные технологии в гидродинамическом проектировании и управлении морскими объектами и их гидрофизическими полями	292
<i>Алексеев А.А.</i> Латентно-семантический анализ судебных документов в задаче отбора информативных признаков	302
<i>Ахметвалеев А.М.</i> Технология бесконтактного превентивного выявления потенциально опасных лиц в интеллектуальных системах поддержки принятия решений	309

<i>Валов О.П., Фролова К.А.</i> Оптимизация расположения коммутационного шкафа.....	317
<i>Габитов А.А., Каляшина А.В.</i> Разработка интеллектуальной системы построения трехмерных моделей сканирования на основе развития воксельных методов	323
<i>Галиев Ш.И., Хорьков А.В., Тарасова К.Ю.</i> Оптимизация многократного покрытия сферы сферическими сегментами	329
<i>Зиятдинов Н.Н., Островский Г.М., Емельянов И.И., Туен Л.К.</i> Декомпозиционный метод синтеза оптимальных многостадийных систем теплообмена.....	334

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА,
УСТОЙЧИВОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ

ТРУДЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ
ЧЕТАЕВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

Секция 4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ,
ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ

13 – 17 июня 2017 г.

*Статьи воспроизводятся с оригиналов, представленных авторами,
и Издатель не несет ответственности за содержание статей*

Ответственный за выпуск В.Н. Милёхин
Компьютерная верстка – Н.Н. Семёнова
Дизайн обложки – Н.Н. Семёнова

Подписано в печать 05.06.17.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 20,23. Тираж 300 экз. Заказ Б 38.

Издательство КНИТУ-КАИ
420111, Казань, К. Маркса, 10

ISBN 978-5-7579-2234-8

