

4-3/272(550)

2008

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ГУМАНИТАРНЫЕ
НАУКИ

ПРОБЛЕМЫ
ОБРАЗОВАНИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО
ТРАНСПОРТ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ
НАУКИ

ИЗВЕСТИЯ

ОрелГТУ



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ И
ТЕХНОЛОГИИ

OREL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Information Systems and Technologies

Editorial council:

Golenkov V.A., president
Radchenko S.Y., vice-president
Borzenkov M.I.
Kolchunov V.I.
Popova L.V.
Stepanov Y.S.

Editor-in-chief
Konstantinov I.S.

Editorial Committee
Averchenkov V.I.
Arhipov O.P.
Gaindrik K.G.
Eremenko V.T.
Zubarev Y.M.
Ivanov B.R.
Ivannikov A.D.
Ipatov O.S.
Kolokolov J.V.
Korndorf S.F.
Koskin A.V.
Podmasteriev K.V.
Polyakov A.A.
Raspopov V.Ya.
Sotnikov V.V.
Shkatov P.N

Responsible for edition:
Konstantinova G.A.

Address:
302020 Orel,
Naugorskoye Chaussee, 29
(4862) 43-48-90, 40-96-14
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Journal is registered in State
Committee of Russian Federation
on printing. The certificate of
registration ПИ № 77-15496 from
20.05.03

Index on the catalogue of the «Pressa
Rossii» 29504

© OSTU, 2008

Contents

Dedegkayev A.G., Kuzin E.V. Is functional-logic model of CAD System for the ferrodiode voltage stabilizer	3
Eremenko V.T., Sisoyev P.A., Zasimov A.S. Research of behaviour of transport protocols in corporate networks in the conditions of the intensive traffic	9
Konstantinov I.S., Kuzichkin O.R. Organization of systems for the automated electromagnetic control of geodinamic objects	10
Koschinsky S.L. Design of electronic resonant converter	17
Rakov V.I. Interpolation by continuous functions	22
Arkhipov O. P., Maniakov Y. A., Sirotinin D. O. Variant of the grid of reference points under the color data of the raster image	34
Bakayeva N.V. Abaut the conceptual approach to creation of model of the industrial environment of the enterprises of technical service of cars on the basis of application of information-analitical resources	40
Ivanov M.I., Ulianov I.V. The development of fiber optic linear trunk echo power calculation technique	46
Lazarev S.A. Softvare tools of sumulation modelling of discrete industrial systems	51
Lunyov R.A. Structure of information systems in automation of technological processes and manufactures	56
Averkiev S.N. The mathematical model of management of information resources of the machine-building enterprise	60
Dolgov E.V. Features of modeling in scientific researches system of a coupling drive	65
lvkin V.B., Ivanov V.A., Korunov V.V. Mathematical model operation of a radiomonitoring centre	69
Kravtsova N.A. Model of quality evaluation in communication multyservice net, which allow to describe aggregate information stream, delays and losses	74
Novikova N.M., Worontsov A.V., Nikanorova M.N., Patcovskii A.P. The ozonochemiluminescent gauges for receiving instant information about water's quality	79

УДК 621.314.2

А.Г. ДЕДЕГКАЕВ, Э.В. КУЗИН

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САПР
ФЕРРОДИОДНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ**

Приведена разработка математической модели ферродиодного стабилизатора напряжения, позволяющая произвести параметрическую оптимизацию и параметрический синтез при автоматизированном проектировании, а так же разработан алгоритм для осуществления анализа устойчивости и точности стабилизатора напряжения.

The mathematical model development for the ferrodiode voltage stabilizer allowing to carry out the parametric synthesis during the automated design was presented and a special algorithm for the stabilizer precision and reability analysis was made up.

Вычислительный процесс при автоматизированном проектировании состоит из этапов формирования модели и ее исследования. Формирование модели включает две процедуры:

- 1) разработку моделей отдельных компонентов;
- 2) формирование модели системы из моделей компонентов.

Модели компонентов разрабатываются специалистами в прикладных областях, знающими требования к моделям и формам их представления в САПР. Созданные модели включаются в библиотеку моделей прикладных программ анализа.

Формирование модели системы с использованием библиотечных моделей компонентов осуществляется с помощью маршрута проектирования каждого нового объекта (рисунок 1). Эта процедура выполняется автоматически по алгоритмам, включенным в заранее разработанные программы анализа [1].



Рисунок 1 – Процедура формирования моделей на маршрутах проектирования

На функционально-логическом уровне автоматизированного проектирования исследуют устройства, в качестве элементов которых принимают достаточно сложные узлы и блоки, считавшиеся системами на макроуровне. Поэтому необходимо упростить представление моделей этих узлов и блоков.

Другими словами, вместо полных моделей узлов и блоков нужно использовать их макромодели. В качестве примера рассмотрим принципиальную электрическую схему ферродиодного стабилизатора напряжения (ФДСН) (рисунок 2).

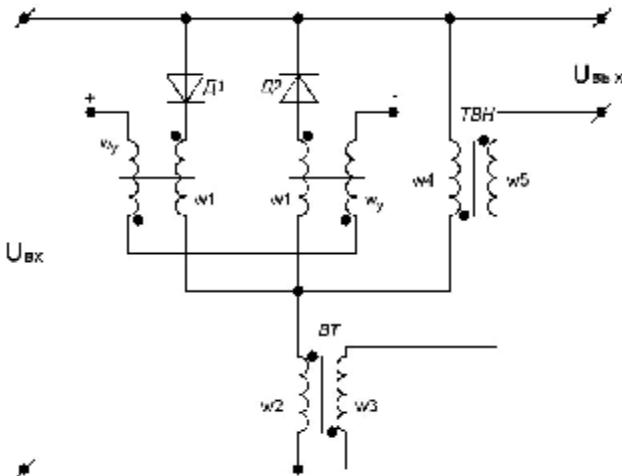


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема ФДСН

В предложенном автором стабилизаторе напряжения [2], отличающемся высокой надежностью, регулирование осуществляется за счет вольтодобавок обмоток трансформаторов W_3 и W_5 . Органом регулирования напряжения являются дроссели управления с последовательно включенными диодами D_1 и D_2 . Обмотка W_y создает отрицательное смещение намагничивания магнитопроводов из холоднокатаной стали. Дроссели управления поочередно находятся в режиме магнитных ключей, то есть тогда, когда их магнитопроводы насыщены.

Вследствие включения вентиля последовательно с каждой рабочей обмоткой W_1 напряжение сети оказывается приложенным к этой обмотке лишь в течение одного полупериода, который называется рабочим полупериодом [3]. В рабочем полупериоде изменение магнитного состояния ненасыщенного сердечника практически происходит под действием одного лишь напряжения сети в соответствии с законом электромагнитной индукции, так как можно пренебречь падением напряжения на активном сопротивлении R цепи переменного тока по сравнению с напряжением $u_L = w_1 \frac{d\Phi}{dt}$ на обмотке w_1 ненасыщенного сердечника.

В следующем полупериоде вентиль как бы отсекает источник питания от обмотки w_1 рассматриваемого сердечника, и изменение его магнитного состояния происходит под влиянием напряжения, действующего в цепи управления w_y . Поэтому этот полупериод называется управляющим. Для дальнейшего анализа принимаем следующие допущения:

1) сердечники магнитопроводов имеют прямоугольную петлю гистерезиса, при которой величина остаточной индукции B_r равна индукции насыщения B_s , то есть при $B=B_r=B_s$ производная $\frac{dB}{dH}=0$;

2) вентили имеют бесконечно большое обратное и постоянное прямое сопротивления (R_B);

3) нагрузка – активная.

В связи с симметричностью работы сердечников и для упрощения анализа будем рассматривать работу лишь одного сердечника. При этом в цепь управления w_y включено достаточно большое индуктивное сопротивление z_y , исключающее протекание в обмотке переменного тока в результате трансформаторной связи между обмотками w_1 и w_y .

В рабочем полупериоде для цепи нагрузки справедливо следующее дифференциальное уравнение:

$$w_1 \cdot S \cdot \frac{dB}{dt} + R_i = U_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения;

B – индукция в сердечнике;

u – питающее напряжение;

$R = R_0 + R_H + R_B$ – суммарное активное сопротивление, состоящее из сопротивления нагрузки R_H , рабочей обмотки R_0 и вентиля R_B .

До насыщения сердечника величина тока I определяется, как и для обычного трансформатора.

$$i = i_m + \frac{w_y}{w_1} \cdot i_y = \frac{HL}{w_1} + \frac{w_y}{w_1} \cdot i_y, \quad (2)$$

где i_m – намагничивающий ток сердечника.

До насыщения сердечника можно пренебречь падением напряжения R_i и тогда, интегрируя (1), получим

$$B = B_y + B_m (1 - \cos \omega t), \quad (3)$$

где

$$B_m = \frac{U_m}{w_1 \cdot w \cdot S}; \quad (4)$$

B_y – значение индукции в сердечнике к началу рабочего полупериода, то есть при $t=0$.

При достижении насыщения, например, при значении $\omega t = a$ из (3), получим

$$\cos a = 1 - \frac{B_S - B_y}{B_m}. \quad (5)$$

Угол a , при котором индукция становится равной B_S , называется углом насыщения сердечника.

Так как при насыщении $\frac{dB}{dt} = 0$, то из (1) для тока нагрузки имеем

$$i = \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{R}. \quad (6)$$

Ток, определяемый этой формулой, протекает до $\omega t = \pi$. При $\omega t > \pi$ изменяется полярность напряжения источника питания, и диод D_1 запирает цепь переменного тока до значения $\omega t = 2\pi$. В течение этого интервала магнитная индукция под действием сигнала управления изменится от $+B_S$ до своего исходного состояния $-B_y$, то есть происходит перемагничивание сердечника в обратном направлении. Этот полупериод называется управляющим, при котором напряжение на нагрузку будет подаваться через диод D_2 (рисунок 2).

Среднее значение тока нагрузки

$$I_H = \frac{1}{2p} \int_0^p i dt = \frac{1}{2p} \int_0^a i_m dt + \frac{1}{2p} \int_a^p \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{R} dt. \quad (7)$$

Интегрируя, находим:

$$I_H = I_m + \frac{U_m}{2pR} (1 + \cos a), \quad (8)$$

где I_m – составляющая тока нагрузки, обусловленная намагничивающим током i_m , протекающим в обмотке w_1 до насыщения сердечника.

Пренебрегая этим током и заменяя $\cos a$ согласно (5), получим среднее значение тока нагрузки

$$I_H = \frac{U_m}{2pR} \left(2 - \frac{B_S - B_y}{B_m} \right). \quad (9)$$

При двухполупериодной работе стабилизатора напряжения правая часть (9) увеличивается вдвое.

Из этой формулы видно, что величина тока нагрузки зависит от значения индукции B_y к началу рабочего полупериода. При принятом допущении, что $B_m=B_S$, получим значение тока нагрузки

$$I_H = \frac{U_m}{pR} (1 + \cos a) = \frac{U_m}{pR} \left(1 + \frac{B_y}{B_S} \right). \quad (10)$$

Выходное напряжение стабилизатора равно:

$$U_{CT} = I_H R = U_{CT.\max} \frac{1 + \cos a}{2} = U_{CT.\max} \left(1 - \frac{B_S - B_y}{2B_m} \right), \quad (11)$$

где $U_{CT.\max} = \frac{2}{p} U_m$.

Напряжение непосредственно на нагрузке, представляющее вольтодобавку стабилизатора, равно:

$$U_H = \frac{R_H}{R} U_{CT} = h \cdot U_{CT} = U_{H \max} \frac{1 + \cos a}{2}, \quad (11')$$

где $h = \frac{R_H}{R}$ – КПД цепи нагрузки.

Уравнение (11) может быть переписано в следующем виде:

$$U_{CT} = U_{CT.\max} - U_L, \quad (11'')$$

где

$$U_L = \frac{1}{p} \int_0^a U_m \cdot \sin wt \cdot dwt = U_{CT.\max} \frac{1 - \cos a}{2} = U_{CT.\max} \left(\frac{B_S - B_y}{2B_m} \right), \quad (12)$$

где U_L – среднее значение индуктивного падения напряжения на обмотке w_1 в рабочем полупериоде.

Формулы (11'') и (12) показывают, что выходное напряжение стабилизатора U_{CT} зависит от величины падения на индуктивном сопротивлении, которое, в свою очередь, зависит от сигнала управления (B_y).

В моделях на функционально-логическом уровне вместо двух типов фазовых переменных (напряжение и ток) фигурируют переменные одного типа, называемые сигналами.

Основой моделирования аналоговых устройств на функциональном уровне является использование аппарата передаточных функций. При этом модель каждого элемента представляют в виде уравнения вход-выход, то есть в виде

$$Y = f(z), \quad (13)$$

согласно блоковой функционально-логической системы (рисунок 3).

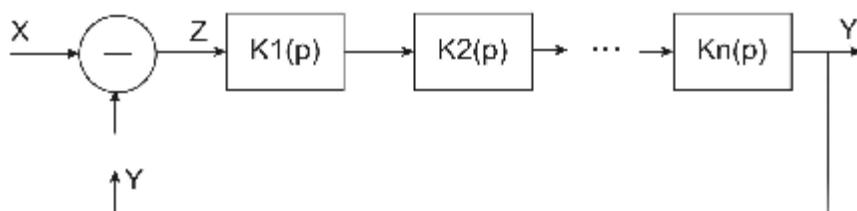


Рисунок 3 – Функционально-логическая система с разомкнутой цепью обратной связи

Здесь Y и Z – сигналы на выходе и входе разомкнутой системы, соответственно, X – входной сигнал замкнутой системы.

Представление модели в виде (13) возможно только, если узел является безынерционным, то есть в полной модели узла не фигурируют производные. Следовательно, для получения в общем случае требуется предварительная алгебраизация полной модели. Такую алгебраизацию выполняют с помощью интегральных преобразований Лапласа, переходя из временной области в пространство комплексной переменной P .

Тогда в моделях типа (13) имеют место не оригиналы, а изображения сигналов $Y(p)$ и $Z(p)$, а отношение этих сигналов представляет собой передаточную функцию

$$K(p) = \frac{Y(p)}{Z(p)}, \quad (14)$$

где $Y(p) = \int_0^{\infty} y(t) \cdot t^{-P} dt$, $Z(p) = \int_0^{\infty} z(t) \cdot t^{-P} dt$.

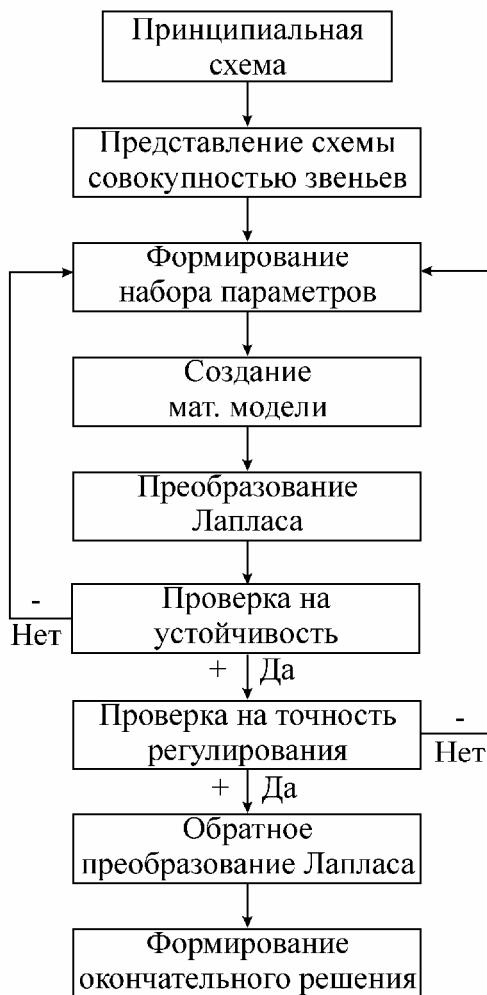


Рисунок 4 – Этапы процедуры анализа схемы

В случае применения преобразования Лапласа появляются ограничения, а именно: не должно быть нелинейных элементов. Для того чтобы была возможность использовать нелинейные элементы, применяются различные методы их линеаризации, например, метод кусочно-линейной аппроксимации.

Другое упрощающее допущение при моделировании на функционально-логическом уровне – неучет влияния нагрузки на характеристики блоков.

Поскольку при нулевых начальных условиях дифференцирование функции во времени эквивалентно умножению ее изображения на оператор Лапласа P , то, применяя преобразование Лапласа, получим функциональную связь между $Y(p)$ и $Z(p)$ в динамическом режиме для системы в следующем виде:

$$(a_n \cdot P^n + a_{n-1} \cdot P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0) \cdot Y(p) = (b_m \cdot P^m + b_{m-1} \cdot P^{m-1} + \dots + b_1 P + b_0) \cdot Z(p),$$

где a и b – коэффициенты уравнения, определяемые линеаризованными параметрами объектов. Тогда передаточная характеристика разомкнутой системы стабилизатора напряжения будет иметь вид:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{Z(p)} = \frac{b_m \cdot P^m + b_{m-1} \cdot P^{m-1} + \dots + b_1 P + b_0}{a_n \cdot P^n + a_{n-1} \cdot P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0}. \quad (14)$$

По аналогии вводится понятие передаточной характеристики замкнутой системы $K_0(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$.

В связи с вышеизложенным был разработан алгоритм для осуществления анализа устойчивости и точности регулирования стабилизатора напряжения (рисунок 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования [Текст] / И.П. Норенков. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 47 с.
2. Пат. №2262795 Российской Федерации. Ферродиодный способ стабилизации напряжения и устройство для его осуществления [Текст] / Э.В. Кузин. – 2005.
3. Розенблат, М.А. Магнитные усилители с самонасыщением [Текст] / М.А. Розенблат. – М.: Госэнергоиздат, 1963 – 12 с.

Дедегкаев Альберт Гагеевич

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет),
г. Владикавказ

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Промышленная электроника»

Тел. (8672) 40-74-38

Кузин Эдуард Владиславович

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет),
г. Владикавказ

Аспирант

Тел. (8672) 74-46-03

E-mail: ed-ed-ed@mail.ru

УДК 004.738.057.4

В.Т. ЕРЕМЕНКО, П.А. СЫСОЕВ, А.С.ЗАСИМОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОТОКОЛОВ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТРАФИКА

В работе рассматриваются различные версии протокола TCP (Transmission Control Protocol). Основная задача состоит в определении оптимальной версии TCP на основе изучения поведения этих протоколов в условиях интенсивного трафика и измерения их производительности. Для этого предлагается использовать моделирование транспортных сообщений с помощью раскрашенных сетей Петри, а также симулятора сетей (ns).

In work various versions of protocol TCP (Transmission Control Protocol) in the loaded network are considered. The basic purpose consists in definition of optimum version TCP on the basis of studying behaviour of these protocols in conditions of the intensive network traffic and measurement of their productivity. For this purpose it is offered to simulate models of transport reports with the help of painted networks Petri, and also a package network simulator (ns).

На сегодняшний день наблюдается тенденция к всеобщему переходу на стек протоколов TCP/IP, и большинство корпоративных сетей поддерживает именно его. Следует учитывать, что в Интернете, который может использоваться корпоративными сетями в качестве WAN (Wide Area Networks), могут встречаться участки с разными протоколами (Ethernet, ATM, SDH, Frame Relay, PPP и т.д.). Эти технологии имеют разные алгоритмы обработки ситуаций перегрузки (или не имеют их вовсе), а отправитель и получатель, как правило, не имеют данных о том, какие протоколы реализуют виртуальное соединение.

Для достижения высокой производительности конечных систем и сети в целом очень важно правильно выбрать транспортный протокол. В стеке TCP/IP основным транспортным протоколом является TCP (Transmission Control Protocol, RFC 793). Он обеспечивает надежную передачу данных через ненадежную среду передачи. В частности, на протокол TCP возложена задача управления потоками и перегрузками, что подразумевает согласование скорости передачи данных с техническими возможностями узлов сети.

С точки зрения архитектуры TCP/IP все узлы сети можно разделить на два класса. Первый класс составляют конечные системы, которые генерируют информационный трафик либо являются его потребителями. Например, такими системами могут быть web- или ftp-серверы, а также компьютеры пользователей, которые запрашивают с этих серверов информацию. Второй класс составляют системы, которые являются посредниками в передаче информационного трафика. В роли таких систем чаще всего выступает различное сетевое оборудование, например, маршрутизаторы. Транспортные протоколы, такие как TCP, работают только на конечных системах.

При передаче пакеты информации могут быть потеряны. Потеря пакета может быть следствием либо перегрузки сети, либо ненадежности канала связи. Надежность доставки обеспечивается с помощью стратегии подтверждений – получатель должен подтвердить прием данных путем передачи подтверждения отправителю. Если же сегмент был потерян, то он передается заново с помощью механизма повторной передачи. Протокол TCP обеспечивает управление потоком между конечными системами. С момента своей начальной публикации (RFC 793) протокол претерпел ряд изменений, целью большинства из которых являлось улучшение механизма управления потоком. Появились несколько версий протокола, например, TCP-Reno (RFC 2581), TCP-NewReno (RFC 2582, RFC 3782), TCP-Vegas [1], TCP-Westwood [2].

В настоящее время более популярной является версия TCP-NewReno, (RFC 3782), использующая алгоритм быстрой повторной передачи (Fast Retransmit) и быстрого восстановления (Fast Recovery). Алгоритм, описанный в RFC 3782, соответствует варианту *Careful* алгоритма TCP NewReno из RFC 2582, и исключает проблему множественных повторных пересылок. Этот алгоритм использует переменную *recover*, значение которой соответствует исходному порядковому номеру посланного пакета. После каждого таймаута

повторной передачи наибольший порядковый номер переданного пакета записывается в переменную *recover*.

Существует несколько эвристических подходов, основанных на временных метках или на преимуществах поля кумулятивных (групповых) подтверждений, которые отправитель в некоторых случаях использует, чтобы различить случаи с тремя задублированными ACK, следующие за повторно посланным пакетом, который был потерян, и тремя задублированными подтверждениями, сопряженными с откликами на повторно посланные по ошибке сегменты. Отправитель может использовать эвристику, чтобы решить, следует ли запускать режим быстрой повторной передачи, даже если задублированные ACK не перекрывают диапазон номеров, определенный переменной *recover*.

TCP-Vegas контролирует размер окна путем мониторирования отправителем RTT для пакетов, посланных ранее. Если обнаруживается увеличение RTT, система узнает, что сеть приближается к перегрузке и сокращает ширину окна. Если RTT уменьшается, отправитель определит, что сеть преодолела перегрузку, и увеличит размер окна. Следовательно, размер окна в идеальной ситуации будет стремиться к требуемому значению.

Версия TCP-Westwood позволяет достичь большей эффективности использования канала. В этой модификации протокола используется новый алгоритм управления окном перегрузки, основанный на оценке потока данных (RE – Rate Estimation) и текущего значения полосы пропускания (BE – bandwidth estimation). На основе этих оценок производится вычисление *cwin* и *ssthresh*. Для больших произведений полосы на RTT этот алгоритм может дать лучший результат, чем NewReno. Помимо управления перегрузкой со стороны отправителя в TCP предусмотрен механизм управления со стороны получателя. Получатель в отклике ACK посылает значение параметра *rwnd*, определяющее число сегментов, которое готов принять получатель. Такой механизм управления скользящим окном особенно важен при работе в сетях с большой величиной RTT.

Сравнительно недавно консорциум IETF одобрил версию TCP SACK (Selective Acknowledgement, RFC 2018), которая позволяет подтверждать прием данных не в порядке их поступления, как это было раньше, а выборочно. Это позволяет получить два преимущества. Во-первых, повышается эффективность повторной передачи сегментов TCP благодаря сокращению времени выполнения этой процедуры. Обычно протокол TCP использует алгоритм повторной передачи, опираясь на информацию, которую он получает на основе упорядоченных подтверждений. Такой вариант вполне приемлем, однако в случае его применения для восстановления каждого потерянного сегмента требуется примерно один цикл обращения. SACK же позволяет осуществлять в одном цикле повторную передачу сразу нескольких потерянных сегментов.

Во-вторых, благодаря выборочным подтверждениям, протокол TCP точнее оценивает доступную ширину полосы пропускания в условиях нескольких последовательных потерь сегментов и способен обойтись без алгоритма «Медленный старт». TCP SACK играет важную роль в соединениях, в которых используется окно большого размера. Во время работы данной версии протокола, при потере сегмента или серии сегментов, получатель имеет возможность точно проинформировать отправителя о том, какие данные были приняты успешно, и указать на потерянные данные в потоке сегментов. Отправитель может повторно передавать только потерянные данные, а не весь их блок.

Исследование поведения протокола, оценка его производительности являются актуальной задачей. Так, известно, что стандартный алгоритм управления потоком TCP имеет следующие недостатки:

- Потеря сегмента расценивается протоколом как наступление перегрузки сети, что в общем случае неверно, т.к. пакет с данными может быть потерян вследствие помех в канале. Это снижает эффективность работы протокола, например, на беспроводных каналах связи.
- Для оценки свободных ресурсов сети стандартный алгоритм управления потоком искусственно создает состояние перегрузки сети.

Остается актуальной и задача построения более эффективного алгоритма управления потоком. Для этого оценка свободной пропускной способности сети может быть принята как эвристическое правило. Доказано [3], что такая оценка является довольно точной. Это дает основания для использования такой оценки в будущих версиях транспортных протоколов.

Моделирование сетевого трафика. Ряд работ по исследованию сетевого трафика показывает, что этот трафик более качественно моделируется с помощью статистически самоподобных процессов, чем с помощью традиционной Пуассоновской модели.

В работе [4] приводится доказательство фундаментального свойства самоподобия сетевого трафика. Трафик рассматривается как комбинация источников, которые его генерируют. Каждый источник имеет структуру ON/OFF. Некоторый период времени источники могут генерировать пакеты информации (периоды ON), при этом внутри одного периода пакеты приходят с одинаковыми интервалами. Затем следует период OFF, когда источник не генерирует пакеты. Размер периодов ON и OFF является случайной величиной, которая, как показано в [5], должна иметь конечное математическое ожидание и бесконечную дисперсию. Предлагается длительность периодов ON и OFF рассматривать как случайную величину, распределенную по Парето по формуле $F(x) = K^\alpha x^{-\alpha}$, $1 < \alpha < 2$.

Элементами трасс самоподобного сетевого трафика являются время прихода пакета и его размер. Для генерации трасс самоподобного трафика может быть выбран параметр $\alpha = 1,4$, что соответствует реальному трафику в сетях Ethernet, согласно [5].

Сценарии модельных экспериментов. Работа заключается в наиболее полном рассмотрении различных аспектов работы транспортных протоколов, из которых выделяются два: корректность работы и производительность протоколов.

Один из используемых подходов состоит в моделировании и анализе транспортных протоколов с помощью раскрашенных сетей Петри, поскольку этот формализм является универсальным средством для исследования свойств различных систем [6].

Предлагаемый подход состоит в моделировании с помощью этого формализма протоколов TCP, а также элементов сетевой структуры с целью выполнения (симуляции) и проведения количественного анализа эффективности работы протоколов. Например, построенная в терминах раскрашенных сетей Петри модель протоколов TCP может быть использована для анализа корректности работы протоколов с помощью метода Model Checking. Вообще анализ корректности работы транспортных протоколов может быть сведен к проверке следующего правила: протокол должен передать от отправителя к получателю все требуемые для передачи данные за конечный период времени.

Анализ различных характеристик производительности транспортных протоколов в разных режимах работы является актуальной задачей [7, 8]. Основной подход состоит в создании некой тестовой сетевой инфраструктуры, нахождении в этой инфраструктуре «узких» мест и использовании самоподобных трасс для моделирования передачи трафика по этим каналам. Кроме самоподобного трафика, в моделируемой системе могут существовать и потоки, генерируемые с помощью алгоритмов TCP. Целью работы является сравнительный анализ различных параметров производительности этих протоколов (например, размер средних длин очередей маршрутизаторов, справедливость и эффективность распределения сетевых ресурсов).

С модели в терминах раскрашенных сетей Петри можно снимать различные показатели производительности. Однако, на наш взгляд, специализированные прикладные пакеты для моделирования работы протоколов подходят гораздо лучше [9]. Наиболее перспективным специализированным пакетом для исследования различных характеристик производительности протоколов является пакет Network Simulator [10] (далее – ns).

Ns позволяет строить модели коммуникационных сетей практически любой сложности. Одной из главных сильных сторон пакета является то, что модели протоколов, реализованные в этом пакете, были представлены либо непосредственными разработчиками протоколов, либо построены под их руководством. Представленные модели протоколов прошли квалифицированную экспертную оценку на соответствие спецификациям и реальным реализациям в операционных системах. Таким образом, эти модели с большой долей вероятности можно считать «эталонными».

В исследованиях работы транспортных протоколов важную роль должны играть современные версии протокола TCP, а также его экспериментальные модели. Внимание, в первую очередь, уделяется работе этих протоколов для непрерывной передачи больших массивов данных за один сеанс. В реальных сетях, например, в Интернете, такому режиму соответствует, в частности, передача файлов с помощью протокола FTP. Однако для исследования важны и другие режимы, которые моделируют, например, интерактивный трафик. Такая ситуация возникает, когда с помощью транспортного протокола передается html-страница от web-сервера клиенту, который обычно представлен браузером. Такая страница может содержать изображения, которые передаются с помощью отдельных транспортных соединений. В совокупности при передаче такой страницы образуется

несколько транспортных потоков, по каждому из которых передается относительно небольшое количество информации. Так, в [7] было показано, что передача такого вида данных создает значительно большую нагрузку на коммуникационную сеть (например, на буферы маршрутизаторов), чем передача небольшого количества объемных файлов того же размера. Таким образом, при анализе производительности транспортных протоколов необходимо обязательно учитывать поведение приложения, использующего сервис транспортного уровня.

Другим полезным средством является использование трасс трафика, причем как моделируемых, так и реальных. Моделируемые трассы могут быть получены, например, с помощью средств самого ns. Несмотря на то, что ns позволяет моделировать сети, состоящие из нескольких тысяч узлов, использование трасс помогает избежать моделирования одновременной работы большого количества информационных потоков в коммуникационных сетях. Кроме того, система ns позволяет использовать при анализе моделей трассы, которые были получены с помощью измерения реального трафика.

Современные коммуникационные сети являются в большей части гетерогенными – в них работают различные протоколы, в том числе и транспортные. Более того, практически невозможно обеспечить переход сразу всей сетевой инфраструктуры для использования более новой версии какого-либо транспортного протокола. Поиски решения оптимизации протокола TCP можно вести по двум направлениям. Модифицировать сам протокол, адаптируя его для новых условий и требований, или изменять сетевую среду, делая ее более дружественной по отношению к TCP. Любое изменение протокола должно обеспечить обратную совместимость, чтобы миллионы «старых» программ могли по-прежнему работать в этой среде. Поэтому большой интерес представляет исследование производительности транспортных протоколов в средах, где работают различные версии протоколов. Это необходимо для того, чтобы быть уверенным, что внедрение нового транспортного протокола или его версии не создаст проблем в сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/2d/2d_2.htm](http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/2d/2d_2.htm)
2. [Http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/tcpw_papers.html](http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/tcpw_papers.html)
3. Jain M., Dovrolis K. End-to-end available bandwidth: measurement, dynamics, and relation with TCP throughput // ACM SIGCOMM'2002. - August, 2002. - P. 295-309.
4. Taqqu M., Willinger W., Sherman R. Proof of a fundamental result in self-similar traffic modeling // Computer Communication Review. - 1997. - № 4.
5. Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D. On the self-similar nature of Ethernet traffic // IEEE/ACM. Transactions on Networking. - 1994, February. - Vol. 2(1). -P. 1-15.
6. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения [Текст]/ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Youngmi Joo, Ribeiro V., Feldmann A., Gilbert A., Willinger W. TCP/IP traffic dynamics and network performance: A lesson in workload modeling, flow control, and trace-driven simulations // ACM Computer Communication Review. - April, 2001.
8. Mathis M., Semke J., Mahdavi J., Ott T. The macroscopic behaviour of the TCP congestion control algorithm // ACM Computer Communication Review. - July, 1997.
9. Сысоев, П. А. Моделирование процессов оценки скорости передачи данных в стеке протоколов TCP/IP [Текст] / П. А. Сысоев, В. Т. Еременко // Изв. ОрелГТУ. Информационные системы и технологии, 2006. – № 2. – С. 174-182.
10. Ns-2 network simulator. - <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

Еременко Владимир Тарасович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Проектирование
и технология электронных и вычислительных систем»
Тел.: +7(4862) 41-57-65
E-mail: wladimir@orel.ru

Сысоев Павел Анатольевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: +7(4862) 36-53-55
E-mail: spam@orel.ru

Засимов Алексей Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: +7(4862) 76-75-06
E-mail: axcelhost@mail.ru

УДК 621.396:580.83

И.С. КОНСТАНТИНОВ, О.Р. КУЗИЧКИН

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассмотрен подход к организации системы автоматизированного электромагнитного контроля геодинамических объектов. Определена структура взаимосвязей объектно-ориентированных и обслуживающих подсистем, реализующих методическое, программно-техническое и информационное обеспечение процессов регистрации и обработки данных геодинамического контроля.

The construction of the automated system for data processing of the electromagnetic control of geodynamic objects is considered in this paper. The structure of interrelations for the object-oriented and serving subsystems realizing methodical, technical and a supply with information of processes of registration and data processing of the geodynamic control is determined here.

В настоящее время, в связи с необходимостью решения проблем защиты и предупреждения катастроф на природных и техногенных объектах, значительно возросла актуальность создания систем автоматизированного контроля геодинамических объектов [1]. Это особенно важно в случаях расположения сложных народнохозяйственных объектов в сейсмически активных районах, а также в зонах естественных и искусственных неустойчивых геодинамических структур (оползни, осьпи, обвалы и зоны развития карста).

Наиболее перспективным при организации автоматизированного контроля геодинамических объектов является применение электромагнитных методов зондирования сред, которые обеспечивают эффективную организацию наблюдений за геологическими объектами, оценку состояния и прогноза развития, что определяется их высокой технологичностью.

Существующие в настоящее время системы автоматизированного электромагнитного контроля и мониторинга геологических объектов предназначены в основном для научных исследований и строятся на сравнительном анализе временных рядов с фильтрацией природных и техногенных ритмов и на выделении полезной геодинамической составляющей [2]. В большинстве случаев такой подход удобен для исследовательских целей, а при реализации функции контроля, предназначенного для оперативной реакции на критичные геодинамические изменения объекта, он является крайне неэффективным.

Кроме того, при их практическом применении возникает серьезная проблема, связанная с необходимостью выделения малых геодинамических вариаций отдельных объемов геологической среды. Контроль над вариациями отдельных объемов среды позволяет получить информацию о возможных катастрофических изменениях раньше, чем при слежении за геодинамикой среды в целом.

Повышение геодинамической чувствительности за счет выделения аномальных составляющих сигналов и обязательность контроля вариаций отдельных геодинамических объектов среды приводит к необходимости расширения информационной насыщенности и разнообразию геоэлектрических моделей. В этом случае применяемые алгоритмы информационной обработки могут быть ориентированы лишь на анализ аномальных сигналов, а геодинамическая оценка определится структурой используемых при интерпретации моделей геодинамических объектов.

Целью настоящей работы является формирование подхода к организации систем автоматизированного электромагнитного контроля, в основе которого лежит возможность адаптации моделирующей составляющей системы к изменениям контролируемой среды.

Схема организации автоматизированного электромагнитного контроля геодинамических объектов

Сложность и разнообразность проявления геодинамики сред приводит к необходимости расширения количества контролируемых параметров геодинамических объектов при электромагнитном мониторинге, что значительно увеличивает поток измерительной информации. При этом при решении задач геодинамического контроля необходимо существенно уменьшать время обработки информации для формирования оперативной реакции на критичные изменения объекта контроля. Именно улучшение качественных показателей, сокращение времени обработки информации и соответственно повышение эффективности является основной целью разработки и применения автоматизированных систем геодинамических исследований.

На рисунке 1 предложена обобщенная схема организации электромагнитного контроля, отражающая особенности геодинамических воздействий на контролируемый объект и основные процессы информационной обработки.



Рисунок 1 – Обобщенная схема организации электромагнитного контроля геодинамических объектов

Геодинамический объект находится под воздействием природных и техногенных факторов, определяемых совокупностью геодеформационных воздействий S_d и S_m (геодеформационные процессы и микросейсмы x_d , x_m), а также влиянием климатических и планетарных факторов S_T и S_p . Кроме того, под действием климатических факторов E_T происходит изменение электромагнитных параметров объекта исследования.

Процессы информационной обработки строятся в соответствии с базовыми принципами решения обратной задачи геодинамического контроля [3]:

$$(M_S, S) = A^{-1}(d_S),$$

где M_S – вектор, описывающий модельные параметры объекта;

\mathbf{d}_S – наблюдаемый вектор данных;

$\mathbf{S} = \{\mathbf{X}_E, \tilde{\mathbf{E}}_p\}$ – параметры источника зондирующего поля;

\mathbf{A}^{-1} – оператор обратной задачи.

Следует отметить, что геоэлектрические данные всегда регистрируются с шумом, определяемым как помехами в каналах измерений \mathbf{X}_k , так и специфичными климатическими и техногенными факторами. В этом случае решение обратной задачи заключается в определении такой модели $\tilde{\mathbf{M}}_S$, которая формирует прогнозные данные $\tilde{\mathbf{d}}_S$, с наилучшей точностью соответствующие наблюдаемым данным:

$$\tilde{\mathbf{d}}_S = \mathbf{A}(\tilde{\mathbf{M}}_S), \|\mathbf{d}_S - \tilde{\mathbf{d}}_S\|_{L_2}^2 = \min,$$

где \mathbf{A} – оператор прямой задачи.

Оптимизация процессов геодинамического контроля обеспечивается за счет управления регистрацией электромагнитных сигналов \mathbf{g}_m по модельным параметрам объекта, управления \mathbf{g}_E параметрами зондирующих сигналов \mathbf{X}_E и управления \mathbf{g}_p по данным селекции сигналов естественных геомагнитных возмущений $\tilde{\mathbf{E}}_p$.

Объектные и обслуживающие подсистемы обработки данных геодинамического контроля

При организации автоматизированного контроля геодинамических объектов выделяется ряд объектно-ориентированных и обслуживающих подсистем, реализующих методическое, программно-техническое и информационное обеспечение процессов регистрации и обработки информации. Структура их взаимосвязей приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Структура взаимосвязей подсистем автоматизированного контроля геодинамических объектов

Приведенная структура хорошо согласуется с общей схемой организации электромагнитного геодинамического контроля (рисунок 1). В ее составе выделены следующие объектные подсистемы: подсистема регистрации электромагнитных сигналов,

подсистема базы данных моделей, подсистема обработки, подсистема диагностики и контроля, экспертная подсистема. Стандартные обслуживающие подсистемы на структурной схеме не приведены за исключением подсистемы представления информации и принятия решений в части представления информации.

Подсистема регистрации обеспечивает распределенную регистрацию электромагнитных сигналов в среде и, соответственно, метрологическое обеспечение проводимых измерений с требуемой точностью, а также в данном случае дает возможность оптимизации процессов регистрации под конкретный геодинамический объект с целью повышения качества метрологических параметров.

Подсистема обработки включает в себя как предварительную обработку и выделение полезных электромагнитных сигналов на основе алгоритмов фильтрации, так и оценку геодинамических вариаций объектов исследования и получение основных статистических и математических зависимостей.

Подсистема диагностики и контроля предназначена для обеспечения корректности получаемых данных электромагнитного контроля геодинамических объектов и включает в себя модули тестирования и коррекции параметров измерительных трактов подсистемы регистрации, а также модуль контроля источников зондирующего сигнала.

Подсистема базы данных моделей является основой построения электромагнитного контроля геодинамических объектов, ее отличительной особенностью является применение динамических моделей с возможностью текущей динамической коррекции.

Наличие в разработанной структуре экспертной системы подчеркивает необходимость использования при геодинамической оценке и при принятии решений дополнительных геофизических и петрофизических данных или привлечения данных ГИС.

Данная структура отражает основную направленность организации автоматизированного геодинамического контроля – это геодинамический контроль отдельных выделяемых объектов на основе разработанных моделей этих объектов и процессов. Адекватность и точность применяемых моделей определяется всем комплексом методических, программно-технических и информационных средств системы и обеспечивает надежность работы системы геодинамического контроля в целом.

Следует отметить, что при таком подходе на выходе автоматизированной системы геодинамического контроля мы получаем обработанные данные и соответственно полученные геодинамические оценки по разработанным моделям исследуемых геодинамических объектов, процессов и явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епишин, В.К.. Литомониторинг – система контроля и управления геологической средой [Текст]/ В.К. Епишин, В.Т. Трофимов //«Теоретические основы инженерной геологии» – М.: Недра, 1985.
2. Волкова, Е.Н. Геоэлектрический мониторинг. Методы, способы и средства [Текст]/ Е.Н. Волкова, А.Н. Камшилин //Материалы Международной конференции «Эффективная и безопасная добыча угля на базе современных достижений геомеханики». – М.: Наука, 1996.
3. Жданов, М.С. Теория обратных задач и регуляризация в геофизике [Текст]/ М.С. Жданов. – М.: Научный мир, 2007.

Константинов Игорь Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные системы»
Тел.(4862) 40-96-14
E-mail: konstantinov@ostu.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, г. Муром
Кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой
«Информационные технологии в проектировании и управлении»
Тел.(49234) 3-20-22
E-mail: electron@mivlgu.ru

УДК 621.376.54

С.Л. КОСЧИНСКИЙ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

В работе представлены результаты сравнительных исследований резонансного преобразователя с последовательным контуром и управлением с переменной и постоянной частотой. Получены зависимости токов и напряжений в резонансном контуре в функции нагрузки, позволяющие произвести расчет элементов преобразователя исходя из заданной мощности. Показана эффективность способа управления с постоянной частотой по ряду показателей.

The results of comparative study of series resonant converter with variable frequency and constant frequency control modes are presented in the paper. The implicit dependencies of currents and voltages in the LC series tank are given with respect to load power. The effectiveness of series resonant converter control mode with constant frequency is clarified.

ВВЕДЕНИЕ

Резонансные преобразователи напряжения широко используются в различных электронных системах. Принцип действия резонансных преобразователей заключается в возбуждении электрических колебаний в колебательном контуре, путем воздействия на него последовательностью прямоугольных импульсов и последующем преобразовании энергии вынужденных колебаний в энергию нагрузки с заданными характеристиками [1-5]. Существенными преимуществами преобразователей напряжения, использующих эффект электрического резонанса, являются, во-первых, пониженный уровень высокочастотных помех, по сравнению с другими преобразователями, а, во-вторых, пониженные потери энергии в преобразователе. Известно, что коммутация силовых полупроводниковых приборов импульсного преобразователя обуславливает наличие высокочастотных помех, распространяемых в сопряженные системы, как за счет гальванической связи, так и путем излучения. В резонансных преобразователях в процессе преобразования энергии используются синусоидальные колебания, которые характеризуются значительно более низкими значениями di/dt и dv/dt по сравнению с аналогичными прямоугольными колебаниями токов и напряжений в классических преобразователях с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Кроме того, коммутация силовых полупроводниковых приборов резонансного преобразователя, как правило, производится при значениях токов или напряжений близких к нулевым, что обуславливает практически полное отсутствие динамических потерь энергии. Основным недостатком резонансных преобразователей, препятствующим повсеместному замещению ими систем с ШИМ, является относительно низкий уровень их удельной энергетической эффективности, определяемой как отношение величины преобразуемой энергии к массогабаритным (стоимостным) показателям преобразователя. При этом проблема повышения энергетической эффективности резонансных преобразователей является актуальной.

Известны различные варианты топологии резонансных преобразователей напряжения. Фактором, определяющим топологию преобразователя, является тип используемого колебательного контура: последовательный, параллельный, смешанный. Наибольшее распространение получили преобразователи с последовательным колебательным контуром (рисунок 1). Основным способом управления параметрами выходной энергии резонансного преобразователя является частотное управление (pulse-density modulation (PDM)) [1-3,5], при котором за счет увеличения (уменьшения) частоты следования импульсов, возбуждающих колебательный контур, соответственно увеличивается (уменьшается) количество преобразуемой энергии. Известны регулировочные характеристики и зависимости токов и напряжений в резонансном контуре преобразователя с частотным управлением в функции

нагрузки [1,5]. Однако в настоящее время наблюдается интерес к стратегии управления преобразователем с постоянной частотой и переменным фазовым сдвигом (phase-shifted control (PSC)), для которой подобные результаты в систематизированном виде отсутствуют.

В данной работе представлены результаты сравнительных исследований резонансного преобразователя с последовательным LC-контуром и управлением с переменной и постоянной частотой. Получены зависимости токов и напряжений в резонансном контуре преобразователя в функции нагрузки, позволяющие произвести расчет элементов преобразователя, исходя из заданной мощности. Эффективность способа управления с постоянной частотой оценивается по совокупности характеристик в сопоставлении с аналогичными показателями резонансного преобразователя с переменной частотой и классического преобразователя с ШИМ.

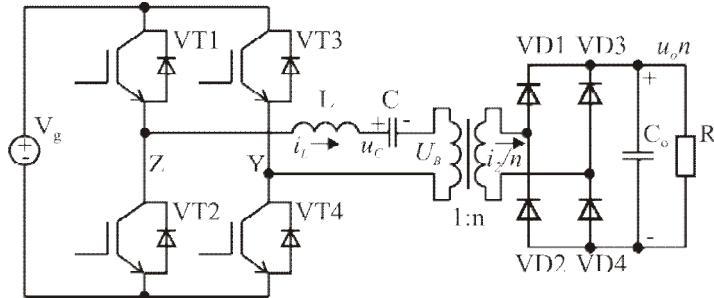


Рисунок 1 – Резонансный преобразователь напряжения

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Математическая модель преобразователя (рисунок 1) может быть получена с учетом общепринятых допущений [1,5]:

- все переменные выходной части преобразователя пересчитываются в первичную обмотку трансформатора;
- выходное напряжение преобразователя изменяется много медленнее, чем токи и напряжения в LC-контуре, поэтому в пределах периода колебаний оно принимается постоянным;
- потери в LC-контуре в преобразователе и в трансформаторе моделируются приведенным эквивалентным сопротивлением LC-контура r ;
- рассеяние трансформатора учтено в индуктивности контура

$$L \frac{di_L}{dt} + ri_L + u_c + L_m \frac{di_m}{dt} = U_{ZY}, \quad (1)$$

$$C \frac{du_c}{dt} = i_L,$$

$$L_m \frac{di_m}{dt} = U_B,$$

где L_m , i_m – индуктивность и ток намагничивания трансформатора, причем $i_m = i_L - i_2$; U_{ZY} – напряжение на выходе мостового преобразователя $VT1-VT4$; U_B – напряжение на первичной обмотке трансформатора.

Значение U_B зависит от величины и полярности тока нагрузки i_2 и может принимать значения $U_B \in \{u_o, -u_o, (U_{ZY} - u_c - ri_L)L_m / (L_m + L)\}$ в зависимости от состояния выпрямительного моста $VD1-VD4$. Напряжение $U_{ZY} \in \{V_g, -V_g, 0\}$ в функции управления мостовым преобразователем $VT1-VT4$. Для резонансного преобразователя с управлением с переменной частотой

$$U_{ZY} = \begin{cases} (-1)^k V_g, & t_{k-1} \leq t < t_{k-1} + D_k T_s; \\ -\text{sign}(i_L) V_g, & t_{k-1} + D_k T_s \leq t < t_k, k = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (2)$$

где интервал времени от t_{k-1} до t_k – k -й период модуляции преобразователя; $D_k T_s$ – относительная длительность импульса управления мостовым преобразователем.

При управлении преобразователем в соответствии с алгоритмом (2) длительность k -го периода модуляции может быть найдена как корень выражения (3)

$$i_L(t_k) = 0. \quad (3)$$

Для преобразователя с управлением с постоянной частотой $f_s = 1/T_s$ закон управления имеет вид

$$U_{ZY} = \begin{cases} (-1)^k V_g, (k-1)T_s \leq t < (k-1+D_k)T_s; \\ -\text{sign}(i_L)V_g, (k-1+D_k)T_s \leq t < kT, k = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (4)$$

Модели (1)-(3) и (1), (4) относятся к классу кусочно-линейных, решение которых может быть получено путем сшивания частных решений на интервалах постоянства структуры мостового преобразователя VT1-VT4 и диодного выпрямителя VD1-VD4 (рисунок 1).

АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Анализ процессов в резонансном преобразователе будем проводить в безразмерных единицах. При этом все напряжения будем нормировать к входному напряжению питания преобразователя V_g , все токи – к $V_g \sqrt{C/L}$, а значения времени – к величине T_s . Типичные диаграммы установившихся процессов тока и напряжения колебательного контура преобразователя представлены на рисунке 2.

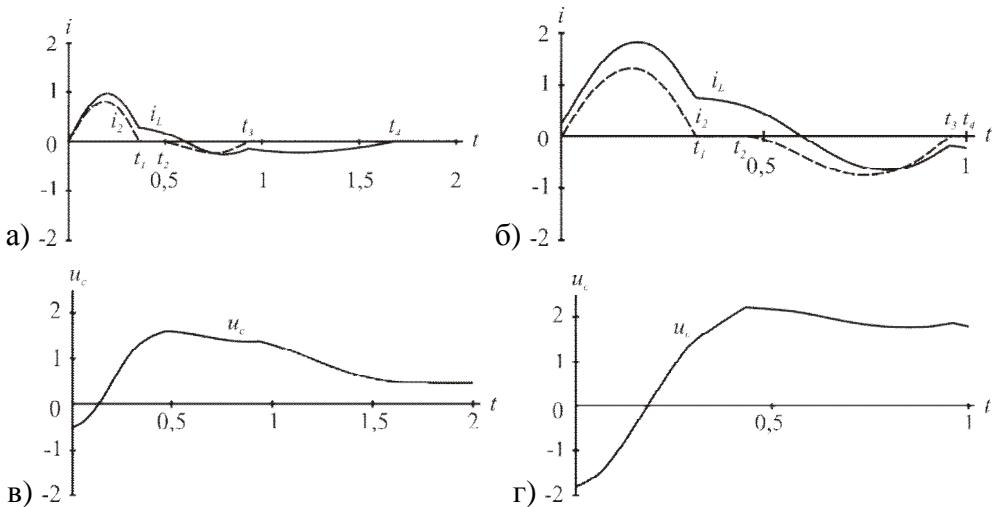


Рисунок 2 – Временные диаграммы токов (а, б) и напряжений (в, г) в преобразователе:
а, в – для управления с переменной частотой; б, г – для управления с постоянной частотой

На диаграммах рисунка 2 можно выделить интервалы проводимости выходного выпрямителя $(0, t_1), (t_2, t_3)$ и интервалы «свободного хода» $(t_1, t_2), (t_3, t_4)$, характеризующиеся отсутствием передачи энергии в нагрузку. При этом длительность интервалов «свободного хода» может существенно превышать длительность интервалов проводимости в зависимости от отношения L_m к L . Особенность способа управления резонансным преобразователем с переменной частотой (рисунок 2а, в) заключается в том, что новый цикл коммутации не может начаться до полного завершения текущего цикла, т.е. до выполнения условия (3). Это условие, с одной стороны обеспечивает минимум динамических потерь преобразователя, минимум перегрузки элементов колебательного контура, а с другой – существенно уменьшает величину преобразуемой энергии. В то же время из диаграммы (рисунок 2а) очевидно следует, что в интервале свободного хода (t_3, t_4) значение тока дросселя мало и

определяется током намагничивания трансформатора. При этом можно предположить, что если разрешить новый цикл коммутации преобразователя, не дожидаясь завершения интервала (t_3, t_4) , то можно существенно повысить энергетическую отдачу преобразователя за счет некоторого увеличения динамических потерь. Характерные временные диаграммы тока и напряжения в контуре преобразователя при управлении с постоянной частотой приведены на рисунке 2б, г. Очевидно, что отдача преобразователя существенно увеличилась, однако при этом увеличились коммутационные потери (коммутация на рисунке 2а производится в условиях ненулевого тока i_L) и перегрузка элементов колебательного контура.

Систематизированная информация о напряжении и токе в колебательном контуре, а также об относительных длительностях характерных временных интервалов работы преобразователя представлена на рисунке 3 в функции выходного напряжения.

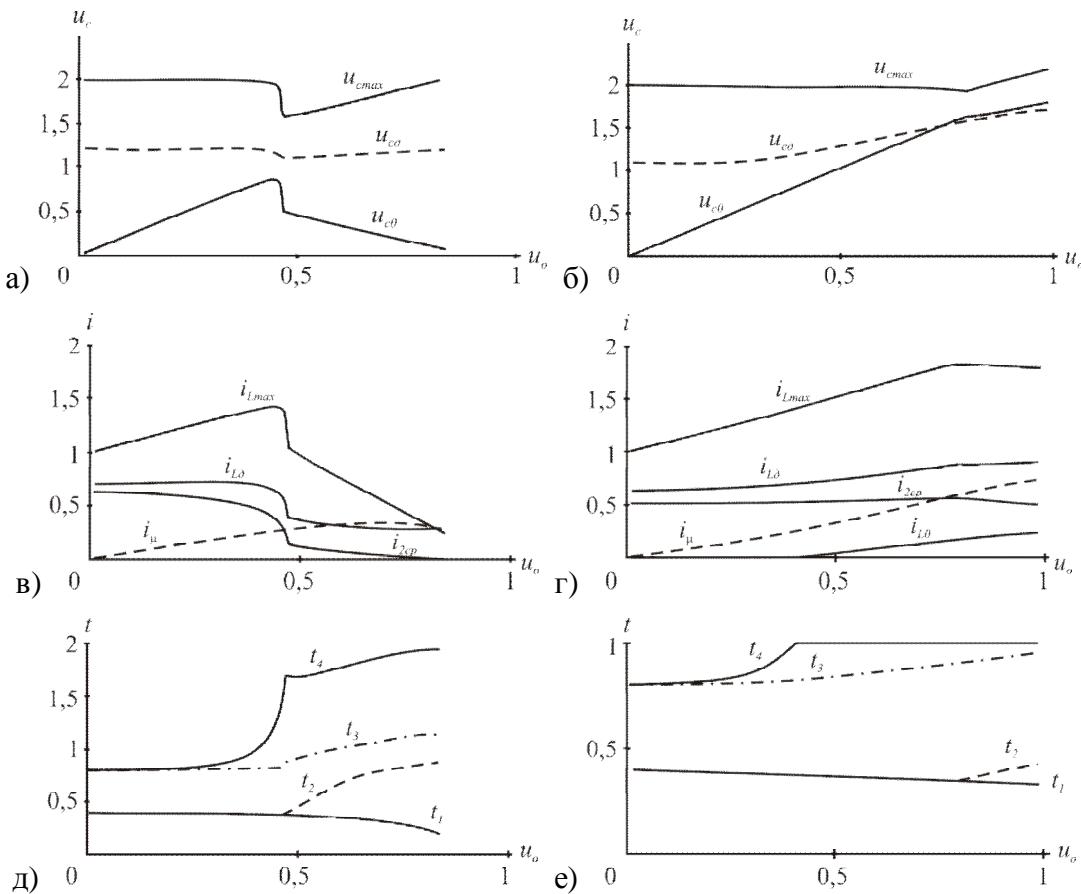


Рисунок 3 – Зависимости напряжений (а, б), токов (в, г) и характерных моментов временной диаграммы (д, е) от выходного напряжения преобразователя:

а, в, д – для управления с переменной частотой; б, г, е – для управления с постоянной частотой

Относительная выходная мощность резонансного преобразователя при управлении с постоянной и переменной частотой может быть оценена из зависимости действующего значения тока нагрузки i_{20} от выходного напряжения u_o (рисунок 3в, г). На диаграммах (рисунок 3в, г) линия постоянной мощности нагрузки будет представлять собой гиперболу. Из сопоставления диаграмм рисунка 3 можно заключить, что управление резонансным преобразователем с постоянной частотой обеспечивает в два раза больший диапазон регулирования (вплоть до величины $u_o = V_g$) и в два раза большую выходную мощность по сравнению с аналогичной системой с переменной частотой. При этом, однако, на 30% увеличивается перегрузка дросселя и конденсатора колебательного контура. Кроме того, в диапазоне выходных напряжений $u_o > 0,5V_g$ коммутация моста VT1-VT4 преобразователя будет происходить с ненулевыми динамическими потерями (диаграмма i_{L0} на рисунке 3г),

что обусловлено ненулевым током дросселя i_{L0} на момент включения преобразователя. Для того чтобы оценить увеличение потерь в преобразователе при переходе на управление с постоянной частотой, был проведен расчет потерь для различных силовых транзисторов при номинальной мощности преобразователя 10кВт. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение потерь в резонансном преобразователе с различным управлением

Марка силового транзистора	Статические потери, Вт			Динамические потери, Вт		
	переменная частота	постоянная частота	управление с ШИМ	переменная частота	постоянная частота	управление с ШИМ
IRG4PC40UD	68,7	32,4	40,7	2	17	108
SKM50GB123 D	69,6	35,4	46,3	35	115	432

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе с единых методологических позиций проведен сравнительный анализ установившихся процессов в резонансном преобразователе с различными способами управления. Установлено, что управление с постоянной частотой позволяет повысить в два раза выходную мощность преобразователя и расширить в два раза диапазон регулирования по сравнению со способом управления с переменной частотой. При этом на 30% увеличиваются перегрузки элементов колебательного контура и возрастают динамические потери в преобразователе на величину до 40%. Поскольку относительная величина потерь в преобразователе составляет $\sim 5\div 10\%$ от преобразуемой мощности, то увеличение потерь можно считать несущественным с точки зрения КПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Witulski, A.F. Steady-state analysis of the series resonant converter [Text] / A.F. Witulski, R.W. Erickson // IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. – 1985. – Vol.21. – No.6. – Pp.791-799.
2. Fujita, H. Control and performance of a pulse-density-modulated series resonant inverter for corona discharge processes [Text] / H. Fujita, H. Akagi // IEEE Trans. Industry Applicat. – 1999. – Vol.35. – No.3. – Pp.621-627.
3. Цанков, Д.Т. Метод регулирования мощности в резонансных преобразователях электрической энергии [Текст] / Д.Т. Цанков, Н.Д. Банков, С.Е. Табаков // Электротехника. 1997 – №11. – С.60-63.
4. Павлов, Г.В. Релейное управление последовательным резонансным преобразователем [Текст] / Г.В. Павлов, М.В. Покровский, А.В. Обрубов // Техническая электродинамика, темат. выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2003. – Ч.2. – С.72-77.
5. Косчинский, С.Л. Высоковольтный резонансный преобразователь напряжения с частотным управлением [Текст] / С.Л. Косчинский // Известия ОрелГТУ. Серия Машиностроение. Приборостроение. – 2005. – №1. – С.56-58

Косчинский Станислав Леонидович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и технология электронных и вычислительных систем»
Тел. (4862) 41-98-79
E-mail: dynamics@ostu.ru

ТЕХНИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРПОЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

В работе описан новый подход к моделированию непрерывных функций.

The new idea of formation of functions is offered.

Несмотря на успешное применение полиномиальных моделей и некоторый прогресс в развитии методологии приближений для формирования нелинейных зависимостей [1], при конструировании функций действительного переменного нередко оказывается недостаточно структурных особенностей полиномов для их использования в качестве исходных аппроксимирующих компонент. Исходя из системного характера потребности моделирования нелинейностей [2] и учитывая некоторое несоответствие существа формальных методов приближений и реальных процессов моделирования нелинейностей [3], вполне понимаемо желание применения не полиномиальных исходных функций при решении различных прикладных задач.

Как известно, до организации собственно процессов математического моделирования (вычислительных экспериментов), как правило, проводится ёмкое «содержательное» исследование соответствующей прикладной задачи («природного» явления). Наверное, можно считать постулатом факта того, что одним из важных результатов такого исследования является установление неких «механизмов» образования закономерностей, то есть формулировка таких видов функциональных связей, которые определяют или обуславливают образование закономерностей, по крайней мере, с позиций конкретных (текущих) концептуальных представлений.

Поэтому не удивительно, что при переходе уже к созданию формальных методов решения прикладных задач *почти всегда* оказываются известными виды функциональных зависимостей, обусловленные конкретной природой сигналов, отношений и связей конкретного исследуемого явления объективной реальности. Это обстоятельство означает, что выбор любого иного вида функциональных связей может изначально внести погрешности (неадекватность, ошибки) содержательного (качественного) плана, которые могут быть принципиально не компенсируемы ни одним методом аппроксимации. Также это означает, что при обработке (формальном описании) конкретного численного материала изначально одни виды зависимостей могут быть предпочтительнее других, в том числе и известных систем базисных функций.

В этом плане можно говорить об актуальности вопросов создания интерполирующих языковых структур из любых непрерывных зависимостей заранее известного аналитического вида.

Для разрешения этих вопросов будем использовать «обобщенный» метод Лагранжа [4,5] конструирования аппроксимирующей функции $F(x)$ в виде:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x). \quad (1)$$

Функции $h_i(x)$ будем называть характеристическими функциями, заданными на совокупности узлов аппроксимации $x_i (i = 1, 2, \dots, N)$ исходной нелинейности:

$$\{(x_i; y_i), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \forall i \neq j: x_i \neq x_j\}, \quad (2)$$

при этом $N < n < \infty$, и будем требовать, чтобы функции $\{h_i(x)\}$ удовлетворяли условиям:

$$h_i(x_i) = 1, \quad h_i(x_j) = 0 \quad (i \neq j), \quad i, j = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Для определенности зависимости $\{g_1(x), g_2(x), \dots, g_L(x)\}$, посредством которых будем конструировать (образовывать, формировать) характеристические функции $h_i(x)$, будем

называть *структурообразующими* функциями и будем полагать, что именно структурообразующие функции являются исходным материалом для построения интерполяционных формул (1):

$$F(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x, g_1(x), g_2(x), \dots, g_s(x)), s = s (i, N) \in \{1, 2, \dots, L < \infty\}. \quad (4)$$

Арсенал структурообразующих функций может создаваться или выбираться по-разному. Например, если с помощью одной функции можно охарактеризовать (с позиций конкретной прикладной задачи) все участки исходной кривой, то, наверное, достаточно и одной функции. Если с помощью одной функции можно оценить только участок кривой $[x_1, x_2]$, а другой, – $[x_2, x_N]$, то, возможно, достаточно двух функций. Если каждый из $(N-1)$ интервалов исходной зависимости характеризуется отдельной функцией, то может быть много оснований для того, чтобы считать достаточным для создания соответствующих характеристических функций именно $(N-1)$ структурообразующую функцию. Обосновывать объём структурообразующих функций можно, и связывая их с пересекающимися интервалами, с непересекающимися интервалами и прочими особенностями исходной зависимости, но, в общем, нет видимых причин обуславливать мощность множества структурообразующих функций именно количеством или содержательностью параметров кривой.

Пусть $\Phi = \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_L(x)\}$ – совокупность непрерывных структурообразующих функций, где $L < \infty$. Образуем на Φ алгебру [6] (множеств) A_Φ . В A_Φ войдут всевозможные совокупности функций из Φ , которые будем называть для простоты элементами A_Φ :

$$\{0\}, \{g_1(x)\}, \{g_2(x)\}, \dots, \{g_L(x)\}, \{g_1(x), g_2(x)\}, \{g_1(x), g_3(x)\}, \dots, \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_L(x)\} \quad (5)$$

Под мощностью s -го элемента из A_Φ будем традиционно понимать количество функций в этом элементе, а сам элемент обозначать символом $\|A_\Phi^s\|_D$, где D – его мощность.

Будем вкладывать в символы n, N смысл, определенный соотношениями (1)-(3), то есть n – количество точек исходной нелинейности, N – число узлов аппроксимации (интерполяции). Используя алгебру A_Φ , можно наметить разные направления по построению характеристических функций, вводя *разные отображения* элементов алгебры в множество $\{h_i(x)\}$.

1 ФОРМИРОВАНИЕ $\{h_i(x)\}$ НА БАЗЕ $\|A_\Phi^s\|_1$

Очевидно, что в данном случае характеристические функции будут строиться из элементов:

$$\|A_\Phi^s\|_1 \subset A_\Phi : \|A_\Phi^1\|_1 = \{g_1(x)\}, \|A_\Phi^2\|_1 = \{g_2(x)\}, \dots, \|A_\Phi^L\|_1 = \{g_L(x)\}. \quad (6)$$

Введём отображения структурообразующих функций в функции характеристические посредством:

$$\|A_\Phi^s\|_1 \xrightarrow{j \stackrel{s^1}{\rightarrow}} \{h_i(x; j)\}^{s^1}, i = 1, 2, \dots, N; s = 1, 2, \dots, L.$$

Тогда:

$$\text{- для } j_1^{s^1} : \{g_s(x)\} \rightarrow h_1^{s^1}(x; j) =$$

$$= \frac{[g_s(x) - g_s(x_2)] \cdot [g_s(x) - g_s(x_3)] \cdot \dots \cdot [g_s(x) - g_s(x_N)]}{[g_s(x_1) - g_s(x_2)] \cdot [g_s(x_1) - g_s(x_3)] \cdot \dots \cdot [g_s(x_1) - g_s(x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq 1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq 1}^N [g_s(x_1) - g_s(x_j)]};$$

$$\text{- для } j_2^{s^1} : \{g_s(x)\} \rightarrow h_2^{s^1}(x; j) = \frac{[g_s(x) - g_s(x_1)] \cdot [g_s(x) - g_s(x_3)]}{[g_s(x_2) - g_s(x_1)] \cdot [g_s(x_2) - g_s(x_3)]} \times$$

$$\times \frac{[g_s(x) - g_s(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_s(x) - g_s(x_N)]}{[g_s(x_2) - g_s(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_s(x_2) - g_s(x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq 2}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq 2}^N [g_s(x_2) - g_s(x_j)]}; \dots;$$

- для j_i^{s1} :

$$\{g_s(x)\} \rightarrow h_i^{s1}(x; j) = \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]}; \dots; \quad (7)$$

- для j_{N-1}^{s1} :

$$\{g_s(x)\} \rightarrow h_{N-1}^{s1}(x; j) = \frac{[g_s(x) - g_s(x_1)] \cdot [g_s(x) - g_s(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_s(x) - g_s(x_{N-2})] \cdot [g_s(x) - g_s(x_N)]}{[g_s(x_{N-1}) - g_s(x_1)] [g_s(x_{N-1}) - g_s(x_2)] \dots [g_s(x_{N-1}) - g_s(x_{N-2})] [g_s(x_{N-1}) - g_s(x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq N-1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq N-1}^N [g_s(x_{N-1}) - g_s(x_j)]};$$

- для j_N^{s1} : $\{g_s(x)\} \rightarrow h_N^{s1}(x; j) =$

$$= \frac{[g_s(x) - g_s(x_1)] \cdot [g_s(x) - g_s(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_s(x) - g_s(x_{N-2})] \cdot [g_s(x) - g_s(x_{N-1})]}{[g_s(x_N) - g_s(x_1)] \cdot [g_s(x_N) - g_s(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_s(x_N) - g_s(x_{N-2})] \cdot [g_s(x_N) - g_s(x_{N-1})]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq N}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq N}^N [g_s(x_N) - g_s(x_j)]},$$

где:

$$\forall x_i, x_j (i \neq j) : g(x_i) \neq g(x_j), i, j = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

Полученные $\{h_i(x; j)\}^{s1}, i = 1, 2, \dots, N; s = 1, 2, \dots, L$ при условии (8) удовлетворяют требованиям (3), предъявляемым к характеристическим функциям. Если $g_s(x)$ - линейные операторы $g_s(x), s = 1, 2, \dots, L$: $g_s(a \cdot x_1 + b \cdot x_2) = a \cdot g_s(x_1) + b \cdot g_s(x_2)$, $a, b \in \mathbb{R}^1$, то (7) представится в виде:

$$\{g_s(x)\} \rightarrow h_i^{s1}(x; j) = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[a \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[a \cdot (x_i - x_j)]} \quad (9)$$

при условии того, что:

$$\forall x_i, x_j (i \neq j) \exists a \in \mathbb{R}^1 : g_s[a \cdot (x_i - x_j)] \neq 0 \quad \& \quad g_s(0) = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, N). \quad (10)$$

Нетрудно заметить, что если исходить не из требования линейности $g_s(x)$ в (9), а только из условий (10), то можно обобщить, сняв требование линейности $g_s(x)$ в (9), и организовать (6), определив (9) новым отображением:

$$\{\|A_\Phi^s\|_1\} \xrightarrow{j_i^{s2}(x_1, x_2, \dots, x_N)} \{h_i(x; j)\}^{s2}, i = 1, 2, \dots, N; s = 1, 2, \dots, L; \quad (11)$$

- для j_1^{s2} :

$$\{g_s(x)\} \rightarrow h_1^{s2}(x; j) = \frac{g_s[a \cdot (x - x_2)] \cdot g_s[a \cdot (x - x_3)] \cdot \dots \cdot g_s[a \cdot (x - x_N)]}{g_s[a \cdot (x_1 - x_2)] \cdot g_s[a \cdot (x_1 - x_3)] \cdot \dots \cdot g_s[a \cdot (x_1 - x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq 1}^N g_s[a \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq 1}^N g_s[a \cdot (x_1 - x_j)]};$$

- для j_2^{s2} : $\{g_s(x)\} \rightarrow h_2^{s2}(x; j) =$

$$= \frac{g_s[a \cdot (x - x_1)] \cdot g_s[a \cdot (x - x_3)] \cdot g_s[a \cdot (x - x_4)] \cdot \dots \cdot g_s[a \cdot (x - x_N)]}{g_s[a \cdot (x_2 - x_1)] \cdot g_s[a \cdot (x_2 - x_3)] \cdot g_s[a \cdot (x_2 - x_4)] \cdot \dots \cdot g_s[a \cdot (x_2 - x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq 2}^N g_s[a \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq 2}^N g_s[a \cdot (x_2 - x_j)]}; \dots;$$

- для j_i^{s2} :

$$\{g_s(x)\} \rightarrow h_i^{s2}(x; \varphi) = \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}; \dots; \quad (12)$$

- для j_{N-1}^{s2} : $\{g_s(x)\} \rightarrow h_{N-1}^{s2}(x; j) =$

$$= \frac{g_s[\alpha \cdot (x - x_1)] \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_2)] \cdot \dots \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_{N-2})] \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_N)]}{g_s[\alpha \cdot (x_{N-1} - x_1)] \cdot g_s[\alpha \cdot (x_{N-1} - x_2)] \cdot \dots \cdot g_s[\alpha \cdot (x_{N-1} - x_{N-2})] \cdot g_s[\alpha \cdot (x_{N-1} - x_N)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq N-1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq N-1}^N g_s[\alpha \cdot (x_{N-1} - x_j)]}$$

- для j_N^{s2} : $\{g_s(x)\} \rightarrow h_N^{s2}(x; j) =$

$$= \frac{g_s[\alpha \cdot (x - x_1)] \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_2)] \cdot \dots \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_{N-2})] \cdot g_s[\alpha \cdot (x - x_{N-1})]}{g_s[\alpha \cdot (x_N - x_1)] \cdot g_s[\alpha \cdot (x_N - x_2)] \cdot \dots \cdot g_s[\alpha \cdot (x_N - x_{N-2})] \cdot g_s[\alpha \cdot (x_N - x_{N-1})]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq N}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq N}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_N - x_j)]}.$$

Сформированные $\{h_i(x; j)\}^{s2}, i=1,2,\dots,N; s=1,2,\dots,L$ при условии (10) также удовлетворяют требованиям (3), предъявляемым к характеристическим функциям. Ввиду условий (10) характеристические функции $\{h_i(x; j)\}^{s2}$ составляют другой «класс» функций, чем функции $\{h_i(x; j)\}^{s1}, i=1,2,\dots,N; s=1,2,\dots,L$, удовлетворяющие (8).

Если наложить более жёсткие требования к *структурообразующим функциям*, например, объединив условия (8) и (10), то возможно построение дополнительного множества характеристических функций, сочетающих в себе «чистые» конструкции (7) и (12):

$$\begin{aligned} h_i(x) &= \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)]}, \\ h_i(x) &= \frac{\prod_{j=1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} = \\ &= \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1, j \neq i}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1, j \neq i}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)]}, \\ h_i(x) &= \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)]} = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1, j \neq i}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)]}, \\ h_i(x) &= \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]}, \\ h_i(x) &= \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{\alpha} \cdot (x_i - x_j)]}, \end{aligned} \quad \boxed{ } \quad (13)$$

а также соответствующие «взвешенные» (модулированные) конструкции характеристических функций (13), включающие взвешивание каждой из $\{h_i(x)\}$ целиком или модуляцию структурообразующей функции внутри каждой из $\{h_i(x)\}$:

$$\left\{
 \begin{aligned}
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_i + b)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\tilde{f}(x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\tilde{f}(x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_i + b)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\tilde{f}(x - x_j)]}{\prod_{j=1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\tilde{f}(x_i - x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{f}(x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{f}(x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_i + b)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\tilde{f}(x - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{f}(x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\tilde{f}(x_i - x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\tilde{f}(x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \cdot \prod_{j=i+1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]},
 \end{aligned}
 \right.$$

$$\begin{aligned}
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^k [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^k [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)] \prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_i + b)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)] \prod_{j=i+1}^N [g_s(x_i) - g_s(x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{g_s(\alpha \cdot x + \beta)}{g_s(\alpha \cdot x_i + \beta)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]}, \\
 h_i(x) &= \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(\alpha \cdot x + \beta) \cdot g_s(x) - g_s(\alpha \cdot x_j + \beta) \cdot g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(\alpha \cdot x_i + \beta) \cdot g_s(x_i) - g_s(\alpha \cdot x_j + \beta) \cdot g_s(x_j)]} \times \\
 &\quad \times \left. \frac{\prod_{j=i+1}^k [g_s(\alpha \cdot x + \beta) \cdot g_s(x) - g_s(\alpha \cdot x_j + \beta) \cdot g_s(x_j)]}{\prod_{j=i+1}^k [g_s(\alpha \cdot x_i + \beta) \cdot g_s(x_i) - g_s(\alpha \cdot x_j + \beta) \cdot g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x - x_j)]}{\prod_{j=k+1}^N g_s[\alpha \cdot (x_i - x_j)]} \right\} \quad (14)
 \end{aligned}$$

и т.д., где весовые функции:

$$\frac{g_s(x)}{g_s(x_k)}, \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_k + b)}, \frac{g_s(x)}{g_s(x_k)}, \frac{g_s(\alpha \cdot x + b)}{g_s(\alpha \cdot x_k + b)}, g_s(x), g_s(\alpha \cdot x + b) \quad (15)$$

не должны вносить появление недопустимых особенностей в конструируемые характеристические функции внутри интервалов:

$$[\min_{k=1,2,\dots,N} (x_k), \max_{k=1,2,\dots,N} (x_k)] \subset [\min_{i=1,2,\dots,n} (x_i), \max_{i=1,2,\dots,n} (x_i)].$$

Надо специально подчеркнуть реальность обобщения весовых функций (15) и структур (13) и (14) посредством замены линейного масштабирования неким нелинейным преобразованием аргумента $x \rightarrow a \cdot x + b \rightarrow y(x)$, например, в виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{g_s(y(x))}{g_s(y(x_k))}, \quad & \frac{g_s(a \cdot y(x) + b)}{g_s(a \cdot y(x_k) + b)}, \quad \frac{g_s(y(x))}{g_s(y(x_k))} \cdot \frac{g_s(a \cdot y(x) + b)}{g_s(a \cdot y(x_k) + b)}, \\
 & \frac{g_s(x)}{g_s(x_k)} \cdot \frac{g_s(a \cdot y(x) + b)}{g_s(a \cdot y(x_k) + b)}, \quad \frac{g_s(y(x))}{g_s(y(x_k))} \cdot \frac{g_s(x)}{g_s(x_k)}. \quad (16)
 \end{aligned}$$

Однако в связи с появлением при этом дополнительных условий возможно получение более «замысловатых», но, вероятно, не всегда более общих характеристических функций, например, как:

$$h_i(x) = \frac{g_s(\psi(x))}{g_s(\psi(x_i))} \cdot \frac{g_s(x)}{g_s(x_i)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x) - g_s(x_j)]}{\prod_{j=1}^{i-1} [g_s(x_i) - g_s(x_j)]} \cdot \frac{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (\psi(x) - x_j)]}{\prod_{j=i+1}^N g_s[\alpha \cdot (\psi(x_i) - x_j)]}.$$

2 ФОРМИРОВАНИЕ $\{h_i(x)\}$ НА БАЗЕ $\|A_\Phi^s\|_2$

В данном случае характеристические функции могут строиться из элементов:

$$\left\| A_\Phi^s \right\|_2 \subset A_\Phi : \left\| A_\Phi^{\{g_i\}, \{g_j\}} \right\|_2 = \{ \{g_i(x)\}, \{g_j(x)\} \}, \left\| A_\Phi^{\{g_i, g_j\}} \right\|_2 = \{g_i(x), g_j(x)\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, L. \quad (17)$$

Если толковать $\left\| A_{\Phi}^{\{g_i\},\{g_j\}} \right\|_2 = \{\{g_i(x)\},\{g_j(x)\}\}$ как *пару* функций, независимо участвующих в формировании характеристической функции, а $\left\| A_{\Phi}^{\{g_i,g_j\}} \right\|_2 = \{g_i(x),g_j(x)\}$ – как совокупность элементов (двух функций), составляющих *одно целое* при формировании характеристической функции, то для этого представления можно ввести отображения структурообразующих функций в функции характеристические, например, в следующих вариантах.

Вариант a). Для $\left\| A_{\Phi}^{\{g_i\},\{g_j\}} \right\|_2 = \{\{g_i(x)\},\{g_j(x)\}\}$: отображения как «перестановки» структурообразующих функций $g_i(x), g_j(x)$ в формулах (7) и (12) формирования $\{h_i(x)\}$, например, в виде:

$$h_1^1(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_2)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_3)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_N)]}{[g_i(x_1) - g_i(x_2)] \cdot [g_j(x_1) - g_j(x_3)] \cdot [g_j(x_1) - g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_1) - g_j(x_N)]} = \\ = \frac{[g_i(x) - g_i(x_2)] \prod_{s=1, s \neq 1, 2}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_1) - g_i(x_2)] \prod_{s=1, s \neq 1, 2}^N [g_j(x_1) - g_j(x_s)]}, \quad (18)$$

$$h_2^1(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_3)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_N)]}{[g_i(x_2) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x_2) - g_j(x_3)] \cdot [g_j(x_2) - g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_2) - g_j(x_N)]} = \\ = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, 2}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_2) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, 2}^N [g_j(x_2) - g_j(x_s)]}, \quad (19)$$

$$h_3^1(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_2)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_4)]}{[g_i(x_3) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x_3) - g_j(x_2)] \cdot [g_j(x_3) - g_j(x_4)]} \times \frac{[g_j(x) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_N)]}{[g_j(x_3) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_3) - g_j(x_N)]} = \\ = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, 3}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_3) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, 3}^N [g_j(x_3) - g_j(x_s)]}, \dots, h_k^1(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, k}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_k) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, k}^N [g_j(x_k) - g_j(x_s)]} \quad (20)$$

$$h_N^1(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_{N-2})]}{[g_i(x_N) - g_i(x_1)] \cdot [g_j(x_N) - g_j(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_N) - g_j(x_{N-2})]} \times \\ \times \frac{[g_j(x) - g_j(x_{N-1})]}{[g_j(x_N) - g_j(x_{N-1})]} = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, N}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_N) - g_i(x_1)] \prod_{s=1, s \neq 1, N}^N [g_j(x_N) - g_j(x_s)]}, \quad (21)$$

$$h_1^2(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_2)] \cdot [g_i(x) - g_i(x_3)]}{[g_i(x_1) - g_i(x_2)] \cdot [g_i(x_1) - g_i(x_3)]} \times \frac{[g_j(x) - g_j(x_4)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_N)]}{[g_j(x_1) - g_j(x_4)] \cdot [g_j(x_1) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_1) - g_j(x_N)]} = \\ = \frac{[g_i(x) - g_i(x_2)] \cdot [g_i(x) - g_i(x_3)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{[g_i(x_1) - g_i(x_2)] \cdot [g_i(x_1) - g_i(x_3)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_1) - g_j(x_s)]} = \frac{\prod_{k=1, k \neq 1}^3 [g_i(x) - g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x) - g_j(x_s)]}{\prod_{k=1, k \neq 1}^3 [g_i(x_1) - g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_1) - g_j(x_s)]}, \quad (22)$$

$$h_2^2(x) = \frac{[g_i(x) - g_i(x_1)] \cdot [g_i(x) - g_i(x_3)] \cdot [g_j(x) - g_j(x_4)]}{[g_i(x_2) - g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_2) - g_i(x_3)] \cdot [g_j(x_2) - g_j(x_4)]} \times \frac{[g_j(x) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x) - g_j(x_N)]}{[g_j(x_2) - g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_2) - g_j(x_N)]} =$$

$$=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x)-g_i(x_3)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{[g_i(x_2)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_2)-g_i(x_3)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_2)-g_j(x_s)]}=\frac{\prod_{k=1, k \neq 2}^3 [g_i(x)-g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{k=1, k \neq 2}^3 [g_i(x_2)-g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_2)-g_j(x_s)]}, \quad (23)$$

$$h_3^2(x)=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x)-g_i(x_2)] \cdot [g_j(x)-g_j(x_4)]}{[g_i(x_3)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_3)-g_i(x_2)] \cdot [g_j(x_3)-g_j(x_4)]} \times \frac{[g_j(x)-g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x)-g_j(x_N)]}{[g_j(x_3)-g_j(x_5)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_3)-g_j(x_N)]}=$$

$$=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x)-g_i(x_2)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{[g_i(x_3)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_3)-g_i(x_2)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_3)-g_j(x_s)]}=\frac{\prod_{k=1, k \neq 3}^3 [g_i(x)-g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{k=1, k \neq 3}^3 [g_i(x_3)-g_i(x_k)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, 3}^N [g_j(x_3)-g_j(x_s)]}, \dots,$$

$$h_k^2(x)=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x)-g_i(x_2)]}{[g_i(x_k)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_k)-g_i(x_2)]} \times \frac{[g_j(x)-g_j(x_3)] \cdot [g_j(x)-g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x)-g_j(x_{k-1})]}{[g_j(x_k)-g_j(x_3)] \cdot [g_j(x_k)-g_j(x_4)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_k)-g_j(x_{k-1})]} \times \frac{\dots \cdot [g_j(x)-g_j(x_{k+1})] \cdot \dots \cdot [g_j(x)-g_j(x_N)]}{[g_j(x_k)-g_j(x_{k+1})] \cdot \dots \cdot [g_j(x_k)-g_j(x_N)]}=$$

$$=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x)-g_i(x_2)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, k}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{[g_i(x_k)-g_i(x_1)] \cdot [g_i(x_k)-g_i(x_2)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, k}^N [g_j(x_k)-g_j(x_s)]}=\frac{\prod_{s=1, s \neq 3}^3 [g_i(x)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, k}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{s=1, s \neq 3}^3 [g_i(x_k)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=1, s \neq 1, 2, k}^N [g_j(x_k)-g_j(x_s)]}, \dots, \quad (24)$$

$$h_k^2(x)=\frac{\prod_{s=1}^{k-1} [g_i(x)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^m [g_i(x)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{s=1}^{k-1} [g_i(x_k)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^m [g_i(x_k)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^N [g_j(x_k)-g_j(x_s)]}, \dots, \quad (25)$$

$$h_k^2(x)=\frac{\prod_{s=1}^{k-1} [g_i(x)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{s=1}^{k-1} [g_i(x_k)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N [g_j(x_k)-g_j(x_s)]}, \dots, \quad (26)$$

$$h_k^2(x)=\frac{\prod_{s=1}^m [g_i(x)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^{k-1} [g_j(x)-g_j(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N [g_j(x)-g_j(x_s)]}{\prod_{s=1}^m [g_i(x_k)-g_i(x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^{k-1} [g_j(x_k)-g_j(x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N [g_j(x_k)-g_j(x_s)]}. \quad (27)$$

и т.д. вплоть до последних в этой совокупности характеристических функций, в которых присутствует всего один сомножитель либо одной, либо другой структурообразующей функции (в зависимости от порядка (18) - (27) их построения), например:

$$\tilde{h}(x)=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)]}{[g_i(x_N)-g_i(x_1)]} \times \frac{[g_i(x)-g_i(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_i(x)-g_i(x_{N-2})] \cdot [g_j(x)-g_j(x_{N-1})]}{[g_i(x_N)-g_i(x_2)] \cdot \dots \cdot [g_i(x_N)-g_i(x_{N-2})] \cdot [g_j(x_N)-g_j(x_{N-1})]}$$

или:

$$\tilde{h}(x)=\frac{[g_i(x)-g_i(x_1)]}{[g_i(x_N)-g_i(x_1)]} \times \frac{[g_j(x)-g_j(x_2)] \cdot [g_j(x)-g_j(x_3)] \cdot \dots \cdot [g_j(x)-g_j(x_{N-1})]}{[g_j(x_N)-g_j(x_2)] \cdot [g_j(x_N)-g_j(x_3)] \cdot \dots \cdot [g_j(x_N)-g_j(x_{N-1})]}.$$

Вариант б) По подобию и на основе (11), (12), но с учетом двух структурообразующих функций $g_i(x), g_j(x)$ формируются разнообразные совокупности

характеристических функций, в структурах которых отображения простейшего элемента $\|A_\Phi^s\|_1$ алгебры A_Φ приобретают новые особенности, представляясь в отображениях $\|A_\Phi^{\{g_i\},\{g_j\}}\|_2$, например, в следующих формах:

$$- \left\{ h_1(x) = \frac{g_i[\alpha_2 \cdot (x - x_2)]}{g_i[\alpha_2 \cdot (x_1 - x_2)]} \times \frac{g_i[\alpha_3 \cdot (x - x_3)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})] \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{g_i[\alpha_3 \cdot (x_1 - x_3)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x_1 - x_{N-1})] \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x_1 - x_N)]} = \right.$$

$$= \frac{\left(\prod_{s=1, s \neq 1}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{\left(\prod_{s=1, s \neq 1}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x_1 - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x_1 - x_N)]},$$

$$h_2(x) = \frac{g_i[\alpha_1 \cdot (x - x_1)]}{g_i[\alpha_1 \cdot (x_2 - x_1)]} \times \frac{g_i[\alpha_3 \cdot (x - x_3)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})] \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{g_i[\alpha_3 \cdot (x_2 - x_3)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x_2 - x_{N-1})] \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x_2 - x_N)]} = \\ = \frac{\left(\prod_{s=1, s \neq 2}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{\left(\prod_{s=1, s \neq 2}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x_2 - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x_2 - x_N)]}, \dots,$$

$$h_{N-1}(x) = \frac{g_i[\alpha_1 \cdot (x - x_1)]}{g_i[\alpha_1 \cdot (x_{N-1} - x_1)]} \times \frac{g_i[\tilde{f}_2 \cdot (x - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\tilde{f}_{N-2} \cdot (x - x_{N-2})] \cdot g_j[\tilde{f}_N \cdot (x - x_N)]}{g_i[\tilde{f}_2 \cdot (x_{N-1} - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\tilde{f}_{N-2} \cdot (x_{N-1} - x_{N-2})] \cdot g_j[\tilde{f}_N \cdot (x_{N-1} - x_N)]} =$$

$$= \frac{\left(\prod_{s=1, s \neq N-1}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{\left(\prod_{s=1, s \neq N-1}^{N-1} g_i[\alpha_s \cdot (x_{N-1} - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_N \cdot (x_{N-1} - x_N)]},$$

$$h_N(x) = \frac{g_i[\alpha_1 \cdot (x - x_1)] \cdot g_i[\alpha_2 \cdot (x - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})]}{g_i[\alpha_1 \cdot (x_N - x_1)] \cdot g_i[\alpha_2 \cdot (x_N - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{N-1} \cdot (x_N - x_{N-1})]} = \frac{\prod_{s=1}^{N-1} g_i[\tilde{f}_s \cdot (x - x_s)]}{\prod_{s=1}^{N-1} g_i[\tilde{f}_s \cdot (x_{N-1} - x_s)]} \quad (\tilde{f}_s \in \mathfrak{R}^1) \right\};$$

$$- \left\{ h_k(x) = \frac{g_i[\alpha_1 \cdot (x - x_1)] \cdot g_i[\alpha_2 \cdot (x - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{k-1} \cdot (x - x_{k-1})]}{g_i[\alpha_1 \cdot (x_k - x_1)] \cdot g_i[\alpha_2 \cdot (x_k - x_2)] \cdot \dots \cdot g_i[\alpha_{k-1} \cdot (x_k - x_{k-1})]} \times \right.$$

$$\times \frac{g_i[\alpha_{k+1} \cdot (x - x_{k+1})] \cdot g_i[\alpha_{k+2} \cdot (x - x_{k+2})]}{g_i[\alpha_{k+1} \cdot (x_k - x_{k+1})] \cdot g_i[\alpha_{k+2} \cdot (x_k - x_{k+2})]} \times \dots \times$$

$$\times \frac{g_i[\alpha_{N-2} \cdot (x - x_{N-2})] \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})] \cdot g_i[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{g_i[\alpha_{N-2} \cdot (x_k - x_{N-2})] \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x_k - x_{N-1})] \cdot g_i[\alpha_N \cdot (x_k - x_N)]} =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{\left(\prod_{s=1, s \neq k}^{N-2} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})] \cdot g_i[\alpha_N \cdot (x - x_N)]}{\left(\prod_{s=1, s \neq k}^{N-2} g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x_k - x_{N-1})] \cdot g_i[\alpha_N \cdot (x_k - x_N)]} \quad \text{при } k=1, \\ \frac{\prod_{s=1, s \neq k}^N g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)]}{\prod_{s=1, s \neq k}^N g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)]} \quad \text{при } k=N-1, \\ \frac{\left(\prod_{s=1}^{N-2} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x - x_{N-1})]}{\left(\prod_{s=1}^{N-2} g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)] \right) \cdot g_j[\alpha_{N-1} \cdot (x_k - x_{N-1})]} \quad \text{при } k=N; \quad \alpha_s \in \mathfrak{R}^1 \end{array} \right\}; \dots;$$

$$- h_k(x) = \frac{\prod_{s=1}^{k-1} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \prod_{s=k+1}^N g_j[\alpha_s \cdot (x - x_s)]}{\prod_{s=1}^{k-1} g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N g_j[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)]}; \dots; \quad (28)$$

$$- h_k(x) = \frac{\prod_{s=1}^{k-1} g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^m g_i[\alpha_s \cdot (x - x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^N g_j[\alpha_s \cdot (x - x_s)]}{\prod_{s=1}^{k-1} g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^m g_i[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^N g_j[\alpha_s \cdot (x_k - x_s)]}; \dots; \quad (29)$$

$$- h_k(x) = \frac{\prod_{s=1}^m g_i[\tilde{r}_s \cdot (x - x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^{k-1} g_j[\tilde{r}_s \cdot (x - x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N g_j[\tilde{r}_s \cdot (x - x_s)]}{\prod_{s=1}^m g_i[\tilde{r}_s \cdot (x_k - x_s)] \cdot \prod_{s=m+1}^{k-1} g_j[\tilde{r}_s \cdot (x_k - x_s)] \cdot \prod_{s=k+1}^N g_j[\tilde{r}_s \cdot (x_k - x_s)]}; \dots; \quad (30)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N; \alpha_s \in \Re^1)$$

и т.д.

Вариант в). Для $\left\| A_{\Phi}^{\{g_i\}, \{g_j\}} \right\|_2 = \{\{g_i(x)\}, \{g_j(x)\}\}$: отображения как «взвешивание» (модуляция) формул характеристических функций (7), (12), (25) - (30) своими структурообразующими функциями $g_i(x), g_j(x)$ или их некоторыми преобразованиями $j_i(g_i(x)), m_j(g_j(x))$, включая возможности организации композиций $g_i(g_j(x)), g_j(g_i(x))$ и «масштабирования» аргумента посредством другого преобразования $y(x)$:

$$\left. \begin{aligned} h_k(x) &= \frac{\varphi_i(g_i(x))}{\varphi_i(g_i(x_k))} \cdot \frac{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x)) - \varphi_i(g_i(x_p))]}{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x_k)) - \varphi_i(g_i(x_p))]}, \\ h_k(x) &= \frac{\mu_j(g_j(x))}{\mu_j(g_j(x_k))} \cdot \frac{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x)) - \varphi_i(g_i(x_p))]}{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x_k)) - \varphi_i(g_i(x_p))]}, \\ h_k(x) &= \frac{\varphi_i(g_i(x))}{\varphi_i(g_i(x_k))} \cdot \frac{\mu_j(g_j(x))}{\mu_j(g_j(x_k))} \cdot \frac{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x)) - \varphi_i(g_i(x_p))]}{\prod_{p=1, p \neq k}^N [\varphi_i(g_i(x_k)) - \varphi_i(g_i(x_p))]} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

$$\left\{ h_k(x) = \frac{j_i(g_i(x))}{j_i(g_i(x_k))} \times \frac{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^m [j_i(g_i(x)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=m+1}^N [m_j(g_j(x)) - m_j(g_j(x_s))]}{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x_k)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^m [j_i(g_i(x_k)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=m+1}^N [m_j(g_j(x_k)) - m_j(g_j(x_s))]}, \right.$$

$$\left. h_k(x) = \frac{j_i(g_i(x))}{j_i(g_i(x_k))} \times \frac{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^N [m_j(g_j(x)) - m_j(g_j(x_s))]}{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x_k)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^N [m_j(g_j(x_k)) - m_j(g_j(x_s))]}, \right.$$

$$\begin{aligned} h_k(x) &= \frac{j_i(g_i(x))}{j_i(g_i(x_k))} \cdot \frac{m_j(g_j(x))}{m_j(g_j(x_k))} \times \frac{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^m [j_i(g_i(x)) - j_i(g_i(x_s))]}{\prod_{s=1}^{k-1} [j_i(g_i(x_k)) - j_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^m [j_i(g_i(x_k)) - j_i(g_i(x_s))]} \times \\ &\quad \times \frac{\prod_{s=m+1}^N [m_j(g_j(x)) - m_j(g_j(x_s))]}{\prod_{s=m+1}^N [m_j(g_j(x_k)) - m_j(g_j(x_s))]}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_k(x) &= \frac{\mathbf{j}_i(g_i(x))}{\mathbf{j}_i(g_i(x_k))} \cdot \frac{\mathbf{m}_j(g_j(x))}{\mathbf{m}_j(g_j(x_k))} \times \frac{\prod_{s=1}^{k-1} [\mathbf{j}_i(g_i(x)) - \mathbf{j}_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))] }{\prod_{s=1}^{k-1} [\mathbf{j}_i(g_i(x_k)) - \mathbf{j}_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=k+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x_k)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))]}, \\
h_k(x) &= \frac{\mathbf{j}_i(g_i(x))}{\mathbf{j}_i(g_i(x_k))} \cdot \frac{\mathbf{m}_j(g_j(x))}{\mathbf{m}_j(g_j(x_k))} \times \frac{\prod_{s=1}^{k-1} [\mathbf{j}_i(g_i(x)) - \mathbf{j}_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=m+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))] }{\prod_{s=1}^{k-1} [\mathbf{j}_i(g_i(x_k)) - \mathbf{j}_i(g_i(x_s))] \cdot \prod_{s=m+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x_k)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))]} \times \\
&\quad \left. \times \frac{\prod_{s=k+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))] }{\prod_{s=k+1}^N [\mathbf{m}_j(g_j(x_k)) - \mathbf{m}_j(g_j(x_s))]} \right\}, \tag{33}
\end{aligned}$$

и т.д., где должны быть выполнены соответствующие требования типа (8), (10) для того чтобы (18) - (33) в действительности являлись характеристическими функциями в интервале:

$$[\min_{k=1,2,\dots,N}(x_k), \max_{k=1,2,\dots,N}(x_k)] \subset [\min_{i=1,2,\dots,n}(x_i), \max_{i=1,2,\dots,n}(x_i)]. \quad (34)$$

В общем, по подобию множества характеристических функций, порожденных отображением (11), и на основе (18) - (33) не трудно выделить многочисленное множество характеристических функций, в структурах которых:

- сочетаются все использованные исходные структурообразующих функции;
 - сочетаются эти же функции с «масштабированными» (взвешенными) аргументами;
 - сочетаются все использованные исходные структурообразующих функции с формулами, взвешенными (модулированные) композициями структурообразующих функций, и т.д.

3 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для повышения продуктивности организуемых процессов моделирования непрерывных функций взамен использования интерполяционных полиномов с относительно «скучными» структурными особенностями предложено использование интерполирующих зависимостей, конструируемых посредством структурообразующих функций:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x, g_1(x), g_2(x), \dots, g_s(x)), \quad s = s(i, N) \in \{1, 2, \dots, L < \infty\}. \quad (35)$$

Представлено множество характеристических функций $\{h_i(x)\}$ (7) - (33) (удовлетворяющих условиям: $h_i(x_i) = 1$, $h_i(x_j) = 0$ ($i \neq j$), $i, j = 1, 2, \dots, N$) для одной и двух

структурообразующих зависимостей $\{g_1(x), g_2(x)\}$. Показан процесс построения интерполирующих формул для любого числа структурообразующих $\{g_i(x)\}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая результаты проведенного исследования, можно утверждать, что формирование интерполирующих формул посредством структурообразующих функций $F(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x) = \sum_{i=1}^N y_i \cdot h_i(x, g_1(x), g_2(x), \dots, g_s(x))$, порождая все известные интерполяционные формулы в зависимости от вида структурообразующих функций, существенно расширяет арсенал инструментальных средств теории аппроксимации.

Однако моделирование нелинейности – это не столько решение формальной задачи аппроксимации, сколько разрешение *компромисса* между способами восприятия, обусловленного концептуальными представлениями человека-исследователя, семиотическими формами представления результатов восприятия, способами конструирования аппроксимирующих функций и критериями близости.

Поэтому эффективность предложенного подхода, по-видимому, во многом обуславливается адекватной организацией соответствующего *интерактивного* взаимодействия формального и экспертного, дедуктивного и «индуктивного» вывода, вычислительных процедур (ЭВМ) и человека. И здесь неоспоримо значение соответствующих программных систем интерполирования или аппроксимации в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Раков, В.И. Вывод интерполяционной формулы для полиномиальных моделей имитации нелинейностей [Текст]/ В.И. Раков// Известия Орловского государственного технического университета, 2003. – Серия: «Естественные науки». – №3-4. – С. 3-21.

2 Раков, В.И. О системном характере потребности моделирования нелинейностей [Текст]/ В.И. Раков // Известия ОрёлГТУ, 2006. – Серия: «Естественные науки». – № 9-10. – С. 21-30.

3 Раков, В.И. О некоторой неадекватности формальных методов приближений и процессов моделирования нелинейностей [Текст]/ В.И. Раков // Известия ОрёлГТУ, 2005. – Серия: «Естественные науки». – № 7-8. – С. 8-24.

4 Хемминг, Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров [Текст]:[пер. с англ.] / Р.В. Хемминг; под ред. Р.С. Гутера. – М.: Наука, 1972. – 2-е изд. - 400 с.

5 Гончаров, В.Л. Теория интерполирования и приближения функций [Текст]/ В.Л. Гончаров. – М.: Гос. изд. тех.-теоретич. лит., 1954. – 2-е изд. – 328 с.

6 Гладкий, А.В. Алгебра множеств [Текст]/А.В. Гладкий //Энциклопедия кибернетики. – Киев: гл. ред. Укр.Сов.энц., 1975. – Том 1. – С. 77-80.

Раков Владимир Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»
Тел.: + 7(4862) 76-19-10
E-mail: rakov2000@hotbox.ru

ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ СЕТКИ ОПОРНЫХ ТОЧЕК ПО ЦВЕТОВЫМ ДАННЫМ РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В статье описывается вариант построения сетки опорных точек, использующий цветовые данные растрового изображения, получаемые в процессе съемки реального объекта. Для реализации используются алгоритмы построения цветовой индексной палитры, структурирования совокупности пикселей ограничивающими прямоугольниками и выделения представителей в них, с последующей идентификацией. Данный вариант построения сетки опорных точек позволяет отслеживать поведение объекта без использования специальных средств.

In article the variant of construction of a grid of the reference points, using the colour data of the raster image received in the course of shooting of real object is described. For realisation algorithms of construction of a colour index palette, structurization of set of pixels by limiting rectangles and allocation of representatives in them, with the subsequent identification are used. The given variant of construction of a grid of reference points allows to trace behaviour of object without use of special means.

В процессе создания анимации трехмерных объектов необходима разработка сценария поведения объекта. Аналогом такого сценария могут быть данные, полученные в ходе натурного эксперимента. Натурный эксперимент ставится над реальным объектом и осуществляется регистрация изменений его поверхности. Регистрация проводится путем съемки объекта цифровой камерой. Поведение объекта регистрируется путем съемки объекта с нескольких ракурсов в исходной и в итоговой позиции. Для регистрации морфинга объекта необходимо отследить изменение положения опорных точек, расположенных на поверхности. Опорные точки объединяются в сетку опорных точек и являются представителями определенных совокупностей пикселей.

Сетка опорных точек может создаваться путем физического нанесения на объект или путем проецирования на поверхность объекта.

В данной работе сетка опорных точек строится на основе цветовых характеристик объектов, что подразумевает бесконтактное взаимодействие с объектом и отсутствие необходимости в специальном оборудовании. Для этого совокупность пикселей, полученных в результате регистрации двумерных растровых изображений в исходном и итоговом состояниях, структурируется и выделяются идентичные цветоразличимые опорные точки, по изменению положения которых будет регистрироваться морфинг. Цветоразличимые опорные точки – это некоторая совокупность пикселей, имеющих четкое цветовое различие с соседними пикселями и одни и те же цветовые координаты в исходной и итоговой совокупности пикселей.

Использование сетки опорных точек для регистрации морфинга в данной работе представлено следующей последовательностью действий:

- 1) съемка объекта;
- 2) создание индексной палитры цветов;
- 3) совмещение изображений;
- 4) структурирование совокупности пикселей;
- 5) выделение представителей ОП;
- 6) определение идентично идентифицируемых зон;
- 7) получение координат опорных точек.

Результатом съемки объекта является пара изображений, взаимно смещенных на величину базиса. Наименьшей единицей плоского растрового изображения является пиксель, который характеризуется координатами положения на изображении и цветовыми данными. Таким образом, совокупности пикселей для исходных и итоговых изображений можно представить в виде матрицы, где каждый элемент содержит информацию о цвете одного пикселя, положение которого в изображении определяется индексом данного элемента:

$$A1 = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & R_{1,m} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \dots & R_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n,1} & R_{n,2} & \dots & R_{n,m} \end{bmatrix}, A2 = \begin{bmatrix} G_{1,1} & G_{1,2} & \dots & G_{1,m} \\ G_{2,1} & G_{2,2} & \dots & G_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{n,1} & G_{n,2} & \dots & G_{n,m} \end{bmatrix}, A3 = \begin{bmatrix} B_{1,1} & B_{1,2} & \dots & B_{1,m} \\ B_{2,1} & B_{2,2} & \dots & B_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{n,1} & B_{n,2} & \dots & B_{n,m} \end{bmatrix},$$

$$L = A1 \cup A2 \cup A3,$$

где L – результирующая матрица цветов изображения;

$$R, G, B \in \{0, 1, 2, \dots, 255\};$$

n, m – размер раstra по горизонтали и вертикали соответственно.

Учитывая возможные погрешности в процессе получения двумерных растровых изображений, сравнение опорных цветоразличимых точек в исходных и итоговых совокупностях пикселей является трудновыполнимым из-за возможного несоответствия цветовых координат аналогичного пикселя. То есть, для цветовых координат аналогичных точек на поверхности объекта может измениться интенсивность в результате проведения морфинга, при котором возможно затенение или осветление некоторой совокупности точек. Для определения идентичности цветовых координат опорных точек создадим цветовые индексные палитры для левого и правого изображений совокупности пикселей и согласуем их между собой.

Создание индексной цветовой палитры позволит уменьшить количество различных цветов изображения путем приведения неразличимых цветов, близких по цветовым координатам, к обобщенному цвету. Это позволит повысить эффективность идентификации пикселей по цветовым характеристикам.

В качестве индексной палитры возможно использование готовой «безопасной» палитры, цвета которой адекватно определяются в различных системах. Однако при использовании цифрового фотоаппарата для регистрации двумерных изображений объекта итоговая совокупность пикселей может содержать цвета, отсутствующие в палитре. Также существует проблема наличия пикселей, цветовые координаты которых расположены на стыке разграничения двух различных цветов готовой палитры. Такая ситуация приводит к ошибочным результатам индексирования в результате небольшого изменения цветовых координат идентичных пикселей на снимках с разных ракурсов. Для устранения недостатков использования готовой палитры необходимо создание адаптированной цветовой индексной палитры. Создание такой палитры осуществляется путем анализа совокупности пикселей двумерного изображения и выделения групп пикселей, близко расположенных по цветовым координатам друг к другу. Для составления адаптированной палитры будем использовать алгоритм, предложенный в статье «Технология создания палитры цветоразличимых пикселей»[1].

Основная идея алгоритма заключается в рекурсивном разбиении совокупности пикселей на равное количество областей. На первом шаге алгоритма итоговая совокупность пикселей разбивается равномерно на 4 области по вертикали и горизонтали. В каждой области производится усреднение цветовых координат путем нахождения средне-арифметической цветовой координаты и сравнением с координатами других областей. Если усредненные цветовые координаты областей равны, то эти области не рассматриваются в дальнейшем и в цветовую палитру заносятся усредненные цветовые данные области под определенным индексом, образуя новый цвет в индексной палитре. Области пикселей, в которых цветовые характеристики не совпали, разбиваются по описанному выше принципу. Работа процедуры заканчивается при достижении размера области, равной одному пикслю.

При использовании данного алгоритма формируется адаптированная цветовая индексная палитра. Для её хранения используется матрица, элементами которой являются значения красной (Red), зеленой (Green) и синей (Blue) составляющей цвета:

$$CIP = \begin{bmatrix} R_1 & G_1 & \dots & B_1 \\ R_2 & G_2 & \dots & B_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_l & G_l & \dots & B_l \end{bmatrix},$$

где l – количество элементов цветовой индексной палитры.

При таком способе хранения цветовой палитры номер строки матрицы будет являться индексом цвета.

Соответственно, формальное описание растрового изображения будет следующим:

$$L = CIP^1 \cup CIP^2 \cup \dots \cup CIP^l,$$

где – L – исходное изображение;

$CIP^1, CIP^2, \dots, CIP^l$ – совокупность пикселей, принадлежащих каждому цвету из цветовой индексной палитры CIP ;

$$CIP^k \in \begin{bmatrix} x_1^k & y_1^k \\ x_2^k & y_2^k \\ \dots & \dots \\ x_n^k & y_n^k \end{bmatrix},$$

где x, y – координаты пикселей, принадлежащих k -му цвету индексной цветовой палитры CIP ;

k – номер элемента цветовой индексной палитры CIP .

n – количество пикселей.

$$k \in \{0, 1, 2, \dots, l\},$$

где l – количество элементов индексной цветовой палитры CIP .

Созданные вышеописанным способом индексные цветовые палитры для исходной и итоговой совокупности пикселей будут различны, поэтому необходимо произвести сопоставление цветов в индексных палитрах. На первом шаге сопоставления производится выборка идентичных цветов и приведение их индексов к одному значению. Следующим шагом является нахождение близких по отношению друг к другу цветов и присвоение им идентичных индексов. Так как цветовое пространство RGB трехмерно, то для поиска близких цветов воспользуемся тригонометрической формулой:

$$AB = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2},$$

где $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ – координаты точек.

Таким образом, после сопоставления цвета в исходной совокупности пикселей будут те же цветовые индексы, что и цвета в итоговой совокупности пикселей.

После приведения левого и правого изображения к адаптированному цветовому пространству необходимо произвести совмещение изображений. В результате съемки реального объекта камерами, расположенными на базисном расстоянии друг от друга, происходит смещение объекта на изображении относительно начала координат растра. Идентификация идентичных цветоразличимых пикселей будет возможна при четком определении идентичных зон на обоих снимках. Для адекватного распознавания опорных пикселей необходимо поставить в соответствие расположение объекта на обоих снимках и определить зону структурирования.

На объекте путем физического нанесения ставятся метки. Метки должны иметь цвет, контрастирующий с цветом объекта. Метки должны быть четко различимы на левом и правом кадре. Поэтому желательно ставить метки ближе к центру объекта. В качестве меток можно использовать точки с выходящими из них линиями на небольшое расстояние в

сторону других точек. В соответствии с рисунком 1, точки будут формировать незавершенный прямоугольник.

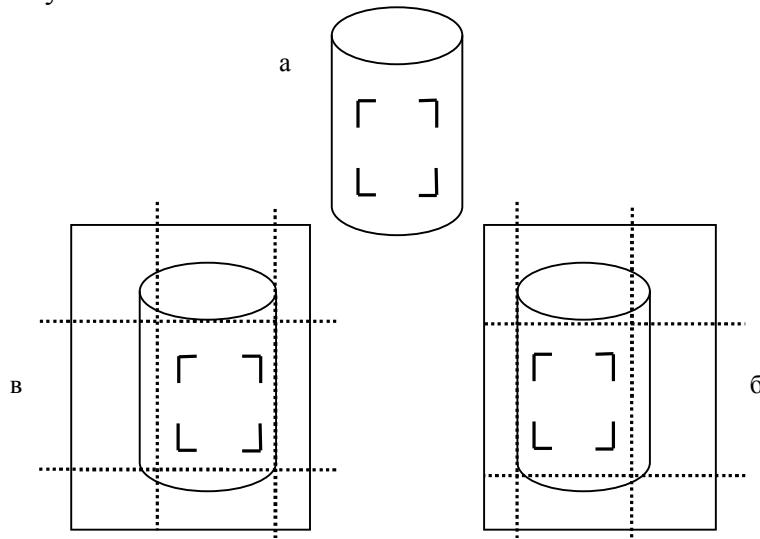


Рисунок 1 – Пример использования меток: а) реальный объект с метками; б) левый кадр с зоной распознавания; в) правый кадр с зоной распознавания

Алгоритм сопоставления изображений определяет указанные границы прямоугольника на обоих изображениях и сохраняет их координаты. После нахождения положения меток на смещенных изображениях определяются области изображения для структурирования. Такие области должны содержать видимые и одинаково идентифицируемые пиксели на обоих изображениях, правом и левом. Пиксели, видимые на обоих изображениях, могут располагаться за зоной меток, поэтому область идентификации должна превышать по размерам зону, ограниченную метками прямоугольника. Для этого рассчитывается расстояние от контуров объекта до сторон прямоугольника на двух изображениях и берутся наименьшие значения. Выбор наименьших значений обуславливается тем, что при съемке с разных ракурсов метки будут расположены на разных расстояниях от края объекта, а выбор наименьших значений от меток до границ объекта гарантирует попадание в зону идентификации наибольшего числа цветоразличимых идентичных пикселей.

Выбранную зону идентификации необходимо структурировать. Структурирование совокупности пикселей проводится путем разбиения на ограничивающие прямоугольники (ОП) и выбора представителя. Это необходимо для определения совокупности пикселей, которые будут привязаны к опорной точке ОП. Ограничивающий прямоугольник представляет собой совокупность пикселей, выделенную из общей совокупности, прямоугольной формой определенного размера. ОП описывается двумя координатами вершин – левой верхней и правой нижней.

Количество ОП выбираем на основании удобства хранения информации, в зависимости от размеров изображения. Так как один байт кодирует 256 элементов, а изображение, к примеру, 1024 на 768 разбивается на 256 ОП с целочисленным размером сторон.

$$O = \begin{bmatrix} tlx_1 & tly_1 & brx_1 & bry_1 \\ tlx_2 & tly_2 & brx_2 & bry_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ tlx_n & tly_n & brx_n & bry_n \end{bmatrix},$$

где n – количество ОП;

tlx, tly, brx, bry – координаты вершин ОП, верхней левой (TopLeft) и нижней правой (BottomRight), соответственно.

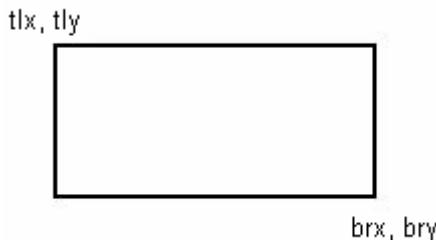


Рисунок 2 – Координаты точек обозначения ОП

Соответственно ОП будут иметь размерность 64x48. При использовании изображения, размер которого больше, чем 1024 на 768, для кодирования берется большее число байт, что увеличивает количество ОП.

После разбиения общей совокупности пикселей, в каждом ОП необходимо выбрать представителя, цветоразличимую опорную точку. В качестве представителя возьмем серединный пиксель ОП. Координаты положения опорной точки в ОП определяются следующими формулами относительно координат ОП:

$$X = ((x_2 - x_1)/2) + x_1, \\ Y = ((y_2 - y_1)/2) + y_1,$$

где x_1, x_2 – значение по оси абсцисс левой верхней и правой нижней точки ОП;

y_1, y_2 – значение по оси ординат левой верхней и правой нижней точки ОП.

Результатом структурирования совокупности пикселей является набор ОП. Рассмотрение всех ОП является нецелесообразным, так как объект может иметь нелинейную форму и при съемке со смещением возможно скрытие элементов поверхности, что препятствует определению идентичных точек для идентификации. Структурирование таких поверхностей и выделение на них опорных точек может дать неадекватные результаты и привести к ошибочному расчету морфинга. Для исключения неидентичных зон из рассмотрения необходимо произвести проверку аналогичных ОП на смещенных изображениях. Для этого спроектируем пиксели каждого цвета на оси абсцисс и ординат [2]. Таким образом, получим количество пикселей каждого цвета в строках и столбцах матрицы представления изображения.

Совокупность проекций создается для одного из двух изображений. Для определения идентичности зон рассматриваются ОП второго изображения. В каждом ОП проводится сравнение количества пикселей каждого цвета с количеством на проекции аналогичного ОП на первом изображении. В связи с возникновением погрешности в процессе съемки количество пикселей определенного цвета в аналогичных ОП на правом и левом изображении может отличаться. Для определения таких зон необходимо ввести коэффициент погрешности. Например, количество несовпадающих пикселей не может превосходить 10 процентов. Такое ограничение исключит возможное несоответствие количества пикселей каждого цвета в ОП и позволит определять идентичные зоны с некоторой погрешностью. В процессе определения идентичных зон некоторые ОП исключаются из рассмотрения, поэтому для каждого ОП устанавливается состояние, которое характеризует ОП как рассматриваемый или исключенный из рассмотрения.

$$OS = \begin{bmatrix} tlx_1 & tly_1 & brx_1 & bry_1 & s \\ tlx_2 & tly_2 & brx_2 & bry_2 & s \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ tlx_n & tly_n & brx_n & bry_n & s \end{bmatrix},$$

где s – состояние ОП, $s \in \{0,1\}$

Получение координат опорных точек заключается в рассмотрении ОП, которые имеют активное состояние, и вычислении координат опорных пикселей относительно исходных значений точки начала оси координат.

В результате будет получен набор точек в двумерном пространстве, которые преобразуются в точки трехмерного пространства [4]. Эти точки используются для дальнейшего анализа и переноса на трехмерную модель объекта. Набор точек представляет собой массив координат точек:

$$M = ([Px_1;Py_1], [Px_2;Py_2], \dots, [Px_n;Py_n]),$$

где n – количество опорных точек совокупности пикселей.

Предлагаемый в данной статье вариант построения сетки опорных точек по цветовым данным растрового изображения позволяет на основании данных, полученных в процессе регистрации реального объекта, отследить его поведение. В рамках статьи были решены задачи: создание индексной цветовой палитры для сокращения погрешностей идентификации цветов; структурирование совокупности пикселей изображений для сокращения времени процесса идентификации; определение идентичных зон для адекватного определения опорных точек. Результатом использования данного варианта построения сетки опорных точек, является массив координат опорных точек, для которых вычисляются трехмерные координаты, позволяющие отслеживать поведение объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов, П. О. Технология создания палитры цветоразличимых пикселей [Текст] / П.О. Архипов, А.А. Стычук. – Известия ОрелГТУ, 2008.
2. Короткий, С. Введение в распознавание образов [Текст] / С. Короткий. – Монитор, 1995. – №5. – С. 24-26.
3. Воройский, Ф. С. Новый систематизированный толковый словарь-справочник [Текст] / Ф. С. Воройский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 2003. – 102 с. ; 20 см. – Библиогр.: с. 457-458. – 2000 экз. – ISBN.
4. Архипов, О. П. Вычисление пространственных координат опорных точек морфинга по плоским изображениям [Текст] / Ю.А. Маняков, Д.О. Сиротинин. – Известия ОрелГТУ, 2008 .– №3.

Архипов Олег Петрович

Орловский филиал Учреждения Российской академии наук
Института проблем информатики РАН, г. Орел
Кандидат технических наук, с.н.с, директор ОФ ИПИ РАН
302025, г. Орел, Московское шоссе 113 б, кв. 91
Тел.: +7 (4862) 33-57-41,
E-mail: ofran@orel.ru

Маняков Юрий Анатольевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
302001, г. Орел, ул. 1-я Посадская, д. 15, кв. 41
Тел.: +7 (903) 88-22-689,
E-mail: maniakov_yuri@mail.ru

Сиротинин Денис Олегович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
302016, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 124, кв. 20
Тел.: +7 (905) 046-38-70
E-mail: vespert@mail.ru

Н.В. БАКАЕВА

О КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Рассматривается возможность применения информационно-аналитических ресурсов как функциональной основы создания модели производственной среды системы предприятий технического сервиса автомобилей. Выделяются и структурируются информационно-аналитические ресурсы, характерные для рассматриваемой системы, предлагаются показатели к их оценке.

Is considered possibility of application of information-analytical resources as functional basis of creation of model of the industrial environment of system of the enterprises of technical service of cars. Information-analytical resources, characteristic for considered system are allocated and structured, indicators to their estimation are offered.

Социально-экономические преобразования, произошедшие в нашей стране за последние годы, способствовали росту автомобильного парка и развитию инфраструктуры технического сервиса автомобилей (ТСА). Развитие рыночных отношений в автосервисе обусловило создание конкурентной среды в этой сфере, и одним из основных направлений в работе предприятий ТСА стало совершенствование качества предоставляемых услуг и обеспечение дорожной и экологической безопасности. Однако достичь определенных показателей качества и безопасности на сегодняшний день достаточно сложно в условиях несовершенства производственных структур, некачественных запасных частей, устаревшего оборудования, низкого уровня применения современных технологий, в т. ч. информационных, и квалификации персонала. Наиболее успешные шаги относительно повышения качества услуг автосервиса и обеспечения безопасности в этой сфере связаны с заимствованием западных технологий [1], вместе с тем такая практика далеко не всегда обеспечивает желаемый результат.

Сформировавшаяся за последнее десятилетие в условиях рыночной экономики и реформирования нормативно-правовой базы новая система отраслевого управления предприятиями ТСА, основанная на механизмах добровольной сертификации услуг (работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств (АТС), требованиям и рекомендациям технического регулирования отрасли не всегда обеспечивает достижение показателей качества, экологической и дорожной безопасности. Сегодня для достижения хотя бы нормативных показателей каждое предприятие решает эту задачу в силу своего понимания и материальных возможностей. В сложившихся условиях следует отметить преждевременность ликвидации лицензирования деятельности предприятий ТСА и ослабления государственного контроля над их деятельностью, особенно в области обеспечения работоспособности автомобилей, экологической и дорожной безопасности.

Одним из решений проблемы устойчивого функционирования и развития предприятий ТСА в условиях структурной перестройки экономики и нестабильности на финансовом рынке, а также проблемы снижения антропогенного воздействия на окружающую среду и обеспечения дорожной безопасности при сервисном сопровождении АТС может служить рассмотрение согласованного взаимодействия предприятий в рамках единой системы. Системное представление предполагает не только организацию согласованного взаимодействия предприятий ТСА как отдельных территориально распределенных объектов с различными классификационными признаками, но и возможность координации их деятельности и управления ими.

Комплексное представление предприятий ТСА в рамках единой системы позволит сформулировать цели и задачи различных предприятий, сориентировав их на генеральную цель формируемой системы и описать условия ее достижения. Применяя системный подход к организации взаимодействия отдельно взятых предприятий ТСА, возможно провести анализ их поведения как компонентов, образующих систему, выявить связи между элементами системы [2]. Кроме того, важным условием функционирования предприятий ТСА как элементов системы является своевременное информирование о текущем их состоянии и обмен информацией и ресурсами. Системный анализ поведения компонентов системы позволит выявить отраслевые тенденции и риски, что особенно важно на сегодняшний день в условиях роста многочисленных аварийных и чрезвычайных ситуаций. Своевременная оценка, в том числе и обнаружение и локализация отказов в системе, прогноз поведения системы дадут возможность преодолеть поверхностный подход к анализу динамики развития технического сервиса автомобилей, обеспечить его устойчивое и безопасное функционирование и развитие.

Создаваемая система предприятий ТСА, как представитель больших систем, имеет сложную внутреннюю структуру. Характерной ее особенностью является наличие соответствующей производственной среды, формируемой из показателей различного уровня (технических, технологических, экономических, информационных и др.). В структуре производственной среды рассматриваемой системы выделим основные составляющие (рисунок 1).



Рисунок 1 – Производственная среда системы предприятий ТСА

Производственная среда системы предприятий ТСА представляет собой совокупность условий, в которых реализуются услуги и выполняются работы по поддержанию и восстановлению работоспособности автотранспортных средств, обеспечению их дорожной и экологической безопасности. Производственная среда рассматриваемой системы и ее характеристики обеспечивают достижение определенных показателей качества, соответствия продукции установленным требованиям технических регламентов, стандартов организаций и нормативам отрасли.

Как объект исследования, производственная среда системы предприятий ТСА обладает определенными особенностями (элементной и структурной сложностью, наличием прямых и обратных связей, динамичностью и стохастичностью характера воздействий), что создает трудности при ее формализованном описании и выборе оптимального варианта ее состояния.

Производственная среда системы предприятий ТСА характеризуется наличием информационных ресурсов, которые при соответствующей организации могут являться отображением фактического состояния параметров системы, взаимодействия ее внутренней среды с внешней средой. Информационные ресурсы и характеризующие их показатели состояния производственной среды системы предприятий ТСА можно формализовать и использовать в качестве аналитической составляющей процесса управления [3]. Формализованные информационные ресурсы являются отображением реальных ресурсных потоков на некоторое факторное пространство. Результат отображения в виде совокупности факторов производственной среды назовем информационно-аналитическими ресурсами (ИАР) [3].

Введенное понятие информационно-аналитических ресурсов производственной среды системы предприятий ТСА может быть использовано для отражения состояния основных производственных фондов, возобновляемых ресурсов, кадрового потенциала, экологического баланса, технологического оснащения, нормативного обеспечения и других показателей функциональной деятельности рассматриваемых предприятий. На этом основании предлагается гипотеза о возможности описания производственной среды (ПС) системы предприятий ТСА в виде следующего вектора:

$$ПС=\{ПТБ, П, С, Н, КБ\}, \quad (1)$$

где *ПТБ* – показатели производственной среды (производственная мощность, номенклатура и количество реализуемых технологий, количество технологического оборудования, численность производственных рабочих, производственная площадь, объемы материальных запасов и др.);

П – показатели полноты и качества оказываемых услуг (работ);

С – показатели самооценки или аудита предприятий;

Н – показатели нормативно-правового обеспечения деятельности предприятий;

КБ – показатели инспекционного контроля и обеспечения безопасности деятельности предприятий.

Производственная среда системы предприятий ТСА может быть описана совокупностью моделей, выстраиваемых на основе ИАР, характеризующих наилучшим образом данный объект исследования. В свою очередь, ИАР могут быть представлены функциями показателей конкретной производственной составляющей формализуемой среды системы предприятий ТСА.

К настоящему времени проведено комплексное обследование 70 предприятий ТСА в г. Орле. Среди них в качестве объектов исследования были выбраны 12 станций технического обслуживания автомобилей, 15 автозаправочных станций, 30 региональных складов и магазинов запасных частей, 4 станции периодического технического осмотра АТС, 5 гаражей-стоянок, 4 автосалона.

С точки зрения формирования необходимого объема выборки для анализа ИАР и показателей производственной среды предприятий ТСА, оказывающего влияние на достоверность полученных результатов, статистические данные выявлялись в течение пяти лет. Кроме того, исходной информацией для анализа и последующей обработки служили сведения сертификационных проверок, выполненных ФГУ «Орловский ЦСМ» и некоммерческим партнерством ОрелСТО, сведения проверок по обеспечению экологической безопасности предприятиями ТСА, выполненные территориальными органами Роспотребнадзора, Ростехнадзора, сведения о техническом состоянии парка автотранспортных средств г. Орла, предоставленные ООО «Орловский центр безопасности дорожного движения».

Проведенное обследование позволило выделить всего лишь девять групп факторов (1 – Производственно-техническая база, 2 – Технологии; 3 – Конкурентоспособность; 4 – Технологическое и контрольно-диагностическое оборудование, оснастка и инструмент; 5 – Запасные части, расходные материалы; 6 – Персонал; 7 – Нормативно-правовое

обеспечение; 8 – Качество; 9 – Комплексная безопасность) для анализа состояния производственной среды системы предприятий ТСА и последующего ее моделирования на основе ИАР (рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура ИАР производственной среды системы предприятий ТСА

Итак, ИАР рассматриваемой системы представляют собой информацию о состоянии параметров системы предприятий ТСА в рамках обозначенных групп факторов и могут быть выражены количественными и качественными показателями, характеризующими наилучшим образом определенную группу факторов. Например, группу «Производственно-техническая база» описывают следующие показатели:

- Б₁ – производственная мощность;
- Б₂ – уровень оснащенности производственными площадями;
- Б₃ – уровень технической оснащенности элементами ПТБ;
- Б₄ – оптимальность организационно-производственной структуры;
- Б₅ – наличие автоматизированных систем управления, телекоммуникационных средств связи, сети Интернет.

Полная структура ИАР производственной среды системы предприятий ТСА и их показателей представлена на рисунке 3.

Следует отметить, что набор информативных признаков показателей ИАР производственной среды системы предприятий ТСА в рамках настоящего исследования ограничен и на практике может быть значительно большим. Ограничение количественного соотношения информационных признаков вызвано сложностью рассматриваемой системы, проблемой их выбора и адекватной оценки. Так, для отбора и упорядочивания информационных признаков принималась априорная информация о функциях распределения соответствующих показателей, был использован алгоритм последовательного исключения признаков и др.

В общем случае ИАР производственной среды системы предприятий ТСА могут быть представлены:

- абсолютными показателями, полученными расчетными и опытно-статистическими методами по известным законам и функциям распределения параметров оказанных услуг и технической готовности АТС, имеющих определенную единицу измерения (например, производственная мощность, производственная программа, стоимость работ и услуг);
- относительными показателями, полученными расчетными методами и экспертными методами, имеющими безразмерную шкалу измерений (например, коэффициент технической готовности АТС, уровень механизации и др.);
- интегральным показателем (критерием оптимальности), являющимся комплексной и количественной характеристикой параметров производственной среды системы предприятий ТСА в целом.



Рисунок 3 – Показатели ИАР производственной среды системы предприятий ТСА

Формирование интегрального критерия оптимальности может быть осуществлено различными путями, например, применением взвешенной суммы отдельных критерии:

$$K = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_m P_m, \quad (2)$$

или в качестве результирующей оценки:

$$K = \frac{P_1 \cdot P_2 \cdots P_n}{P_{n+1} \cdot P_{n+2} \cdots P_m}, \quad (3)$$

где P_1, P_2, \dots, P_n – показатели, которые необходимо увеличить;

P_1, P_2, \dots, P_m – показатели, которые необходимо уменьшить.

В рамках проведенного обследования системы предприятий ТСА информация о ее состоянии анализировалась и учитывалась с применением регистрационных методов. Предварительно данные, фиксирующиеся на каждом предприятии, были единообразно организованы, унифицированы. Этой работе предшествовал этап стандартизации показателей производственной деятельности предприятий ТСА, документооборота и отчетности предприятий. Таким образом, решалась не только учетная задача накопления информационных ресурсов предприятий, но и аналитическая, дающая возможность их дальнейшей обработки для принятия управленческих решений.

В условиях ограниченной информации нами были использованы экспертные методы, методы самооценки или внутреннего аудита предприятий. В качестве экспертов привлекались специалисты Санкт-Петербургской международной академии автосервиса, Орловского государственного технического университета и сотрудники предприятий ТСА. При проведении экспертного оценивания возникала сложность формализации информации, особенно качественного характера, которая не поддается измерению. В нашем случае применялись шкала «Описание» (градации «Да» или «Нет», «Наличие» или «Отсутствие», «Реализация» или «Нереализация» и т.п.), шкала порядка (ранговая) для упорядочивания или

ранжирования свойств объектов или самих объектов, шкала интервалов, шкала отношений. Для получения экспертных оценок применялись непосредственной оценки последовательного сравнения, метод анализа иерархий Т. Саати [4].

Необходимо отметить, что оценка состояния производственной среды системы предприятий ТСА, выполненная с применением вышеперечисленных методов, производилась с позиции добровольной сертификации оказываемых услуг (выполняемых работ), поскольку сертификация на сегодняшний день в условиях реформирования нормативно-правовой базы остается единственным механизмом, обеспечивающим техническую готовность АТС, их безопасную эксплуатацию. В рамках проводимой оценки было установлено соответствие показателей производственной среды предприятий ТСА требованиям и рекомендациям технических регламентов, стандартов организаций, нормативных документов, регламентирующим отраслевую деятельность, и нормализованным значениям отрасли. Отдельные показатели ИАР учитывали правовые основы защиты прав потребителей в сфере услуг автомобильного сервиса.

Резюмируя вышесказанное, приходим к следующему выводу. Необходимым условием эффективного функционирования и устойчивого развития систем, в том числе и системы предприятий ТСА, является наличие соответствующих, отражающих ее состояние, ресурсов. Информационные ресурсы объединяют в единое целое все компоненты системы, существенная часть которых после процедур формализации и моделирования превращается в ИАР.

Полученные ИАР не только отображают данные о состоянии параметров системы, но и отражают иерархию информационных объектов и их взаимодействие в рамках рассматриваемой системы. Помимо взаимодействия и обмена ИАР, определяют важнейшие параметры работы системы и допуск на их отклонения по группе показателей производственной среды как при переводе системы из одного качественного состояния в другое, так и в условиях стабильного функционирования. Эта концепция может быть положена в основу создания модели производственной среды системы предприятий ТСА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егорова, Н.Е. Автосервис: модели и методы прогнозирования деятельности: [Текст]/ Н.Е. Егорова, А.С. Мудунов. – М.: Экзамен, 2002. – 256 с.
2. Бакаева, Н.В. Создание автоматизированной распределенной системы мониторинга предприятий технического сервиса автомобилей и координации их взаимодействия [Текст] / Н.В.Бакаева, А.В. Ромахов // Материалы III Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образования и производстве (ИТНОП). – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2008. – №1-2/269(544).– С.25-30.
3. Коськин, А.В. Управление производственно-образовательными комплексами на основе информационно-аналитических ресурсов [Текст] / А.В. Коськин, Автореф. дис. ... докт.техн.наук. – Санкт-Петербург, 2007. – 39 с.
4. Миротин, Л.Б. Системный анализ в логистике [Текст]: учебник / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 480 с.
5. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: [Текст]:учебное пособие / Е.С. Кузнецов. – МАДИ (ТУ). – М., 2001. – 262 с.

Бакаева Наталья Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Информационные системы»

Тел.: + 7(4862)73-43-50

E-mail: natbak@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЁТА МОЩНОСТИ ЭХО-СИГНАЛА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА

На основе анализа процессов, сопровождающих распространение оптического сигнала по волоконно-оптической линии, разработан метод расчета мощности эхо-сигнала в линейном тракте. Определена величина потерь, при которых необходимо учитывать эхо-сигнал.

The technique of fiber optic linear trunk echo power calculation has been developed on the basis of analyzing the processes accompanying the propagation of optical signals through a fiber optic line. The value of losses under which echo must be taken into account has been defined.

Помехоустойчивость приёма сигналов волоконно-оптического линейного тракта определяется шумами и помехами. Поэтому при расчете параметров такого тракта необходимо иметь адекватные методы оценки шумов и помех.

Одним из видов помех линейного тракта является эхо-сигнал, появляющийся из-за отражений оптического излучения как от неоднородностей, имеющихся в оптоволокнах, так и от мест их соединения. Ввиду того, что наибольшие отражения появляются в местах соединения оптоволокон, составляющей эхо-сигнала, возникающей при отражениях от технологических неоднородностей, можно пренебречь.

Метод оценки величины эхо-сигнала, появляющегося из-за наличия неоднородностей в местах соединения строительных длин кабеля, изложен Барбанелем Е.С. в [1]. Однако данный метод оценки мощности эхо-сигнала не может быть использован потому, что не учитывает накопление эхо-сигнала с ростом числа ретрансляционных участков и затухание излучения на стыке строительных длин кабеля (потери за счет несоосности оптоволокон на стыке при сварке, при наличии разъемов – потери за счет поглощения энергии торцами оптоволокон и средой между ними).

Влияние эхо-сигнала в работе [1] оценивалось по отношению сигнал/шум в оптической области частот, что не позволяет получить полной информации об относительном влиянии рассматриваемой помехи на помехоустойчивость линейного тракта. Исходя из изложенного, возникает необходимость разработки метода расчёта эхо-сигнала, учитывающего рассмотренные выше моменты, а также специфичные для гибридного волоконно-оптического тракта шумы в виде спонтанного излучения оптических усилителей. С целью получения выражения для расчёта мощности эхо-сигнала на входе регенератора вводятся следующие обозначения:

P_0 – мощность оптического излучения, введённого в кабель;

K_i, K_i' – коэффициенты отражения от i -того стыка в прямом и обратном направлениях соответственно;

α_i – затухание i -той строительной длины волоконно-оптического кабеля;

β_i – затухание сигнала в местах соединения строительных длин (без учёта потерь на отражение) в прямом и β_i' – обратном направлениях.

В условиях принятых обозначений часть эхо-сигнала, появляющегося на входе ретранслятора, после двукратного отражения от первого и нулевого разъёмов (рисунок 1, линия «а») определяется следующим выражением:

$$P_0 \frac{K_1 K_0' (1 - K_0) \cdot \dots \cdot (1 - K_N)}{a_1^2 (a_1 \cdot \dots \cdot a_N \cdot b_0 \cdot \dots \cdot b_N)} = P_0 \prod_{i=0}^N \frac{1 - K_i}{b_i} \prod_{j=1}^N \frac{1}{a_j} \cdot \frac{K_1 K_0'}{a_1^2}.$$

Часть мощности эхо-сигнала, образовавшегося при отражениях от второго и первого разъёмов (рисунок 1, линия «б»), может быть рассчитана при использовании следующего соотношения:

$$P_0 \prod_{i=0}^N \frac{1-K_i}{b_i} \prod_{j=1}^N \frac{1}{a_j} \cdot \frac{K_2 K'_1}{a_2^2} = P_{np} \frac{K_2 K'_1}{a_2^2},$$

от третьего и второго разъёмов - $P_{np} \frac{K_3 K'_2}{a_3^2}$ и вообще от любых n и $(n-1)$ -го разъёмов
 $P_{np} \frac{K_n K'_{n-1}}{a_n^2}$.

Суммарная мощность части эхо-сигнала, вычисленного с учётом отражений от соседних разъёмов, записывается следующим образом:

$$P_{np} \sum_{n=1}^N \frac{K_n K'_{n-1}}{a_n^2}.$$

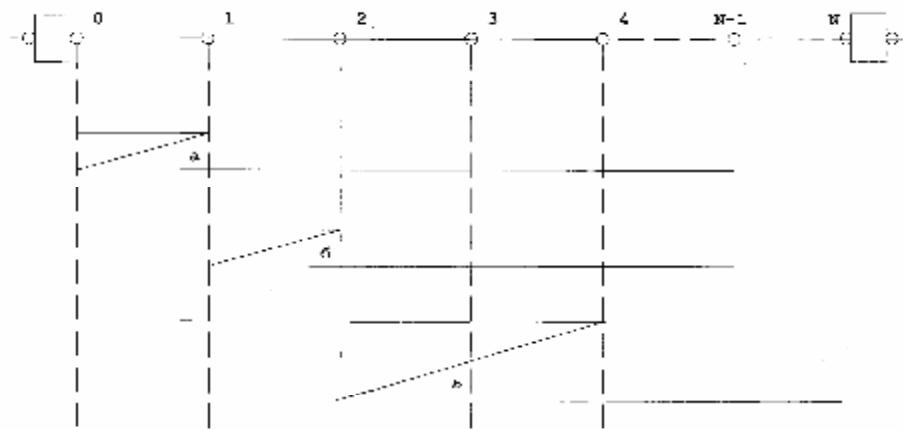


Рисунок 1 – Схема образования эхо-сигнала

Для определения составляющей эхо-сигнала, возникающей за счёт отражений между n и $(n-2)$ разъёмами, использован подход, подобный изложенному выше. В этом случае излучение проходит весь ретрансляционный участок, следовательно множитель P_{np} сохраняется. Кроме того, при отражениях от n и $(n-2)$ -го разъёмов необходимо учесть «лишнее», двойное (рисунок 1, линия «в»), по сравнению с излучением, не испытывающим отражения, прохождение излучения между названными разъёмами введением множителя типа $K_n K'_{n-2} (1-K_{n-1})(1-K'_{n-1})$, а также учесть уменьшение оптической мощности отражённого от $(n-2)$ -го разъёма потока в $(a_n a_{n-1})^2 b_{n-1} b'_{n-1}$ раз. С учётом изложенного, выражение для расчёта мощности составляющей эхо-сигнала приобретает вид:

$$P_{np} \sum_{n=2}^N \frac{K_n K'_{n-2} (1-K_{n-1})(1-K'_{n-1})}{(a_n a_{n-1})^2 b_{n-1} b'_{n-1}}.$$

Путём аналогичных рассуждений получено выражение для определения суммарного эхо-сигнала между n и $(n-m)$ разъёмами:

$$P_{np} \sum_{n=m}^N \left[\frac{K_n K'_{n-m}}{\left(\prod_{b=n-m+1}^n a_b \right)^2} \prod_{b=n-m+1}^{n-1} \frac{(1-K_b)(1-K'_b)}{b_b b'_b} \right],$$

в котором для $n = m$ полагаем $\prod_{b=n-m+1}^{n-1} \frac{(1-K_b)(1-K'_b)}{b_b b'_b}$.

После суммирования данного выражения по всем m получается окончательное равенство, описывающее зависимость мощности эхо-сигнала на входе приёмника от числа разъёмов:

$$P_{\mathcal{E}} = P_{np} \sum_{m=1}^N \sum_{n=m}^N \left[\frac{K_n K'_{n-m}}{\left(\prod_{b=n-m+1}^n a_b \right)^2} \prod_{b=n-m+1}^{n-1} \frac{(1-K_b)(1-K'_b)}{b_b b'_b} \right]. \quad (1)$$

Если считать $K_n = K'_n = K$, $\alpha_i = \alpha$, $\beta_b = \beta'_b = \beta$ ($K_n = K'_n$ и $\beta_b = \beta'_b$, согласно теореме о взаимности), мощность эхо-сигнала на входе ретрансляционного пункта описывается более простым выражением:

$$\begin{aligned} P_{\mathcal{E}} &= P_{np} \left(\frac{K}{\alpha} \right)^2 \left[N + (N-1) \left(\frac{1-K}{\alpha\beta} \right)^2 + (N-2) \left(\frac{1-K}{\alpha\beta} \right)^4 + \dots \right. \\ &\quad \dots + (N-C) \left(\frac{1-K}{\alpha\beta} \right)^{2C} + \dots + \left. \left(\frac{1-K}{\alpha\beta} \right)^{2(N-1)} \right] = \\ &= \frac{P_0}{a^N} \left(\frac{1-K}{b} \right)^{N+1} \cdot \left(\frac{K}{\alpha} \right)^2 \sum_{C=0}^{N-1} (N-C) \left(\frac{1-K}{ab} \right)^{2C} = P_{np} P_{\mathcal{E}}. \end{aligned} \quad (2)$$

При определении $P_{\mathcal{E}}$ нецелесообразно рассчитывать составляющие эхо-сигнала, вызванные более многочленными (четырёхкратными, шестикратными) отражениями в силу их малости и усложнения расчётов. Поэтому будет существовать погрешность метода $\Delta P_{\mathcal{E}}$, которой, как показано в [1], можно пренебречь.

Выражения (1) и (2) можно использовать при практических расчётах, если в них учесть, что кроме сигнала на выходе передатчика имеется спонтанный шум источника оптического излучения. Для этого в (1) и (2) P_0 заменяется на $P_0 + P_s$. Здесь P_s – мощность спонтанного излучения. Полученные равенства (1) и (2) справедливы для регенерационного и гибридного с пороговыми усилителями или усилителями с преобразованием «свет – электричество – свет» цифровых линейных трактов. Для аналоговых и цифровых гибридных линейных трактов с непороговыми оптическими усилителями возможно накопление эхо-сигнала на ретрансляционном участке.

В данном случае, при

$$\frac{1}{\alpha^N} \left(\frac{1-K}{\beta} \right)^{N+1} \cdot \left(\frac{K}{\alpha} \right)^2 \sum_{C=0}^{N-1} (N-C) \left(\frac{1-K}{\alpha\beta} \right)^{2C} = A,$$

легко получить следующее выражение, которое позволяет учесть накопление эхо-сигнала с ростом количества усилительных участков:

$$P_{\mathcal{E}} = \sum_{t=1}^{M+1} P_{\mathcal{E}_t}^*, \quad (3)$$

где M – количество оптических усилителей;

$$P_{\mathcal{E}_t}^* = \dots (((P_{\mathcal{E}_t} K_t + P_{St}) A_{t+1} K_{t+1} + P_{St+1}) A_{t+2} K_{t+2} + P_{St+2}) A_{t+3} K_{t+3} + \dots + P_{SM}) A_{M+1};$$

K – коэффициент усиления t -го оптического усилителя;

P_{St} – спонтанный шум на выходе t -го оптического усилителя с учётом его накопления в $t-1$ предыдущих промежуточных участках;

$P_{\mathcal{E}}$ – мощность эхо-сигнала на входе регенератора, отсчитываемая от выхода t -го промежуточного усилителя. Определяется согласно выражению (1) или (2).

С целью оценки величины эхо-сигнала при использовании равенства (2) были осуществлены расчёты. Из анализа результатов расчёта видно, что с увеличением количества разъёмов потери сигнала P_{np} за счёт отражений растут нелинейно, причём потери тем больше, чем больше коэффициент отражения K . Например, при $N = 10$, $\alpha = 3 \text{ дБ}$; $K = 0,01$; $P_{np} = -63,48 \text{ дБм}$, а при $K = 0,05$; $P_{np} = -64,45 \text{ дБм}$ по сравнению с $-63,48 \text{ дБм}$ при $K = 0$. Эти потери могут быть снижены уменьшением величины коэффициента отражения в местах соединения отрезков кабеля за счёт совершенствования технологии изготовления разъёмов и содержания их в чистоте при эксплуатации. Несмотря на тривиальность данного вывода, полученного на основании анализа результатов расчёта, полезность выражения (2) очевидна

и заключается в возможности количественной оценки потерь, обусловленных рассматриваемыми факторами.

Кроме того, из анализа рисунка 2 видно, что с уменьшением километрического затухания кабеля мощность эхо-сигнала растёт. В процессе расчётов было замечено, что P_{np} в выражении (2) с ростом числа разъёмов (длины переприёмного или регенерационного участка) уменьшается, а вторая часть этого выражения $P_{\mathcal{E}}$, характеризующая собственно эхо-сигнал, растёт, причём в основном за счёт множителя $(N - C)$. В результате изменения этих частей равенства (2) при увеличении N результирующее значение $P_{\mathcal{E}}$ уменьшается и при большой длине ретрансляционного участка становится по сравнению с другими помехами столь малым, что им можно пренебречь.

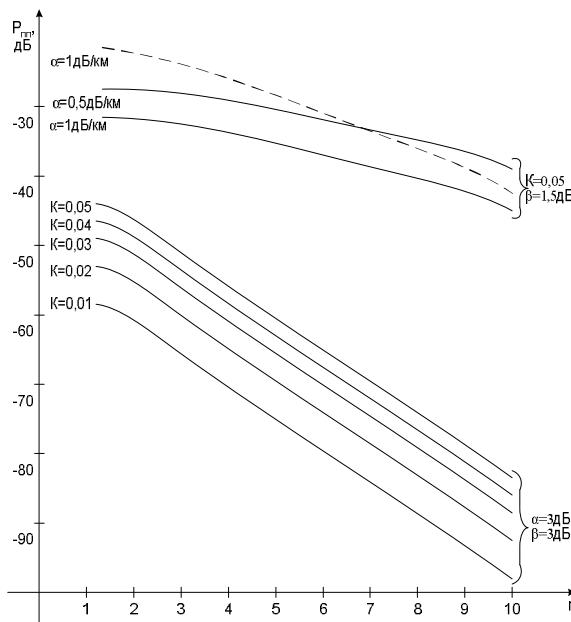


Рисунок 2 – Зависимость мощности эхо сигнала от числа разъемов «n»

Для количественной оценки границы значений эхо-сигнала, при которой ещё приходится с ним считаться, в качестве критерия предлагается использовать величину темнового тока фотодетектора. Это обусловлено тем, что темновой ток является неотъемлемой характеристикой фотодетекторов и значение его возрастает при переходе в диапазон длин волн $1.3 - 1.6 \text{ мкм}$. При пересчёте темнового тока в условный поток фотонов на входе фотоприёмника можно воспользоваться общезвестным выражением:

$$P_{mem} = \frac{I_{mem} hn}{e h},$$

где P_{tem} – темновой ток; $h\nu$ – энергия кванта; e – заряд электрона; η – квантовая эффективность фотодетектора.

Если принять величину квантовой эффективности $\eta = 0,5$ и значение темнового тока $I_{tem} = 10^{-7} A$, то мощность условного излучения на входе фотодетектора будет примерно равна $2,921 \cdot 10^{-7} Bm$ (-35,34 dBm). При такой величине темнового тока для $\beta = 3 \text{ dBm}$ $\alpha = 3 \text{ dB/km}$ эхо-сигнал можно не учитывать (рисунок 2). Однако при уменьшении затухания кабеля до 1 dB/km и $\beta = 1,5 \text{ dBm}$ эхо-сигнал соизмерим с темновым током и им нельзя пренебрегать на расстояниях до 5 км при строительной длине оптоволоконного кабеля, равной одному километру. Если затухание кабеля составляет $0,5 \text{ dB/km}$ при $\beta = 1,5 \text{ dB}$, это расстояние увеличивается до 8 км.

Таким образом, из результатов исследований эхо-сигнала можно видеть, что при суммарном затухании кабеля $\alpha + \beta \leq 2,5 \text{ dB}/\text{км}$ величина $P_{\text{Э}}hn/eh$ сравнима с темновым током. Поэтому при затухании кабеля (с учётом потерь в разъёмах) не более $2,5 \text{ dB}/\text{км}$ необходимо учитывать мощность эхо-сигнала. Для сравнения осуществлены расчеты согласно выражению, полученному Барбанелем Е.С. в НИР [1].

$$P_{\mathcal{E}} = P_{np} \frac{K}{a^2 \left[1 - \left(\frac{1-K}{a} \right)^2 \right]} \left\{ KN + \left[1 - \left(\frac{1-K}{a} \right)^{2N} \right] \cdot \left[1 - \frac{K}{1 - \left(\frac{1-K}{a} \right)^2} \right] \right\}.$$

По результатам этих расчётов на рисунке 2 для $\alpha = 1 \text{ дБ/км}$ штриховой линией изображена кривая.

Из рисунка 2 видно, что между сравниваемыми кривыми ($\alpha = 1 \text{ дБ/км}$; $K = 0,05$; $\beta = 1,5 \text{ дБ}$) имеется существенное различие. Завышение уровня эхо-сигнала, получающееся при расчётах согласно [1], объясняется тем, что в данное выражение не входит затухание разъёмов, также двойное прохождение излучения через промежуточные стыки отрезков кабеля при отражениях между n и $(n-m)$ разъёмами, если $m \geq 2$.

При исследовании вопроса о накоплении эхо-сигнала в линейном тракте с непороговыми усилителями были осуществлены расчёты согласно (3) при $N = 8$, $M = 7$, $\alpha = 1 \text{ дБ/км}$, $\beta = 1,5 \text{ дБ}$, $A_t = A$, $K_t = K = 21,5 \text{ дБ}$, $P_{St} = P'_s = 5 \text{ мкВт}$, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Накопление эхо-сигнала в линейном тракте с непороговыми усилителями

M		0	1	2
P _{Э1}	мВт	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$3,87 \cdot 10^{-7}$
	дБ	- 41,25	- 59,32	- 64,12
P _{Э1}	мВт	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$7,617 \cdot 10^{-5}$	$7,65 \cdot 10^{-5}$
	дБ	- 41,25	- 41,18	- 41,16
P _{Э1}	мВт	$3,78374 \cdot 10^{-7}$	$3,78287 \cdot 10^{-7}$	$3,78286 \cdot 10^{-7}$
	дБ	- 64,22	- 64,22	- 64,22
P _{Э1}	мВт	$7,69353 \cdot 10^{-5}$	$7,7136 \cdot 10^{-5}$	$7,76919 \cdot 10^{-5}$
	дБ	- 41,14	- 41,12	- 41,1

Из анализа данных таблицы 1 видно, что эхо-сигнал $P_{\mathcal{E}1}$, возникающий при учёте только передатчика окончной станции, несмотря на наличие промежуточных усилителей уменьшается с ростом количества усилительных участков M до некоторой постоянной величины, не зависящей от M . Рост суммарного эхо-сигнала $P_{\mathcal{E}}$ с увеличением числа промежуточных пунктов невелик. Например, при наличии регенерационного участка без промежуточных усилителей $P_{\mathcal{E}} = -41,05 \text{ дБм}$, т.е. произошло увеличение его всего на 0,2 дБ.

Таким образом, в волоконно-оптическом линейном тракте необходимо учитывать эхо-сигнал в случае малых потерь ($\alpha + \beta \leq 2,5 \text{ дБ/км}$) в оптоволоконном кабеле. При больших величинах потерь в кабеле влиянием эхо-сигнала, возникающего в линейном тракте, можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование возможностей применения различных линейных сигналов и методов их обработки в аналоговых, аналогово-импульсных и цифровых ВОЛС [Тексти]: заключительный отчет по НИР). – Тема № 035-76-010. – Исследование и разработка структурных схем оптических линий связи на стекловолокне. – Изв. № Б-615709. – Санкт – Петербург, электротехнический институт связи. – 147 с.

Иванов Михаил Иванович

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры

электропитающих устройств и автомобильной подготовки

г. Орел, ул. Пожарная, 25, кв. 4

Тел. (4862) 41-60-58

E-mail: imis@orel.ru

Ульянов Илья Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел

Курсант

С.А. ЛАЗАРЕВ

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В представленной ниже статье рассматривается программная подсистема событийного моделирования EML (Event Modeling Language), которая может быть использована для построения моделей функционирования дискретных производственных систем со средней и крупной размерностью. Этот язык представляет собой набор виртуальных объектов, имеющих определенные свойства. Система построена в виде отдельного программного модуля для среды визуального программирования высокого уровня Borland Delphi.

The program subsystem of event modeling EML (Events Modeling Language) which can be used for designing the models of functioning of discrete industrial systems with average and large dimension is considered in this clause. This language represents a set of the virtual objects having certain properties. The subsystem is constructed as the single program module for visual development environment Borland Delphi.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одной из важнейших и наиболее сложных частей общей системы управления предприятием является система управления производством. В современных условиях одним из основных факторов повышения эффективности и качества функционирования системы управления производством является разработка и внедрение комплексных автоматизированных систем планирования и диспетчирования. При этом основу данных системы должна составлять интегрирования имитационная модель функционирования производства. Данные автоматизированные системы, как правило, представляют собой мощные программные комплексы, реализованные на языках высокого уровня [1].

Машинная же реализация имитационной модели возможна с применением двух различных программных средств построения модели:

- специализированных систем (языков) моделирования (GPSS, Dinamo, AnyLogic);
- универсальных языков программирования высокого уровня (Delphi, C++, Java).

Специализированные системы имитационного моделирования ориентированы, в основном, на построение имитационной модели как отдельного объекта для последующего анализа. Основной акцент в них сделан на визуализацию процесса и результатов моделирования. Они также имеют определенные сложности интеграции построенной модели в разрабатываемый программный комплекс. Специализированные языки не обеспечивают возможность создания графического интерфейса пользователя, отвечающего требованиям программного комплекса. Они также не имеют мощных средств работы с базами данных.

В свою очередь, универсальные языки не имеют характерных для языков моделирования средств формализации и описания модели, необходимых структур хранения данных. Кроме того, при разработке программного и технического обеспечения функционирования системы моделирования следует учитывать их совместимость с имеющимися программными и техническими средствами АСУ промышленных предприятий.

Исходя из вышеизложенного, в контексте создания комплексной автоматизированной системы планирования и диспетчирования, возникает задача создать специализированный инструментарий, функционирующий в среде разработки высокого уровня для построения имитационной модели производственной системы. Данный программный инструментарий должен отражать специфику и характер производства, а также обеспечивать полную интеграцию имитационной модели в программный комплекс с целью повышения эффективности его разработки, дальнейшей адаптации и функционирования.

В этой связи наиболее оптимальным подходом является создание специализированного языка моделирования, созданного на основе универсального языка в

виде отдельного программного модуля. Данный модуль реализует в себе все необходимые структуры данных и средства формального описания модели.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Производственная система с позиций имитационного моделирования представляется как программная модель сложной системы, в которой отражены структура, алгоритмы развития и протекания процессов во времени, временные характеристики отдельных элементов. Имитация имеет своей основной целью моделирование динамики, т.е. изменение состояния системы во времени.

Как и всякому формализованному подходу, имитационному моделированию присущи свои понятия и атрибуты [2, 3].

Время моделирования – это временной интервал, на котором имитируется поведение системы, т.е. в сущности – это имитационное представление реального времени.

Активность – наименьшая единица работы при выбранном уровне представления моделируемой системы, которая рассматривается как единый дискретный шаг.

Процесс – совокупность логически связанных активностей.

Событие представляет собой мгновенное изменение состояния некоторого объекта системы, который может быть активным либо пассивным. События можно разделить на две категории: события следования (управляют инициализацией активностей внутри данного процесса) и события изменения состояния (управляют выполнением активностей, относящихся в общем случае к независимым процессам).

Транзакты – динамические объекты, представляющие собой поток элементов обслуживания и являющиеся конкретной реализацией процессов.

Средства – функционально-ориентированные объекты, которые соответствуют элементам оборудования или рабочим, обслуживающим транзакты.

Очереди можно рассматривать как статические объекты, позволяющие оценить поведение системы. В очередь попадают транзакты, которые задержаны в какой-то момент времени до тех пор, пока не выполнится условие, необходимое для его продвижения.

Необходимо отметить, что при моделировании процессы, события и активности целиком зависят от потоков и траекторий движения транзактов: транзакт, попадая в моделируемую систему, занимает определенные блоки, вызывая при этом события. Наступление событий должно планироваться соответствующими средствами моделирования. При выполнении определенных условий событие вычеркивается из системы моделирования, а на смену ему должны приходить следующие события.

При событийном моделировании производственной системы выделяют узловые моменты динамики в виде событий. В процессе моделирования осуществляется переход (скачок во времени) от предыдущего события к последующему. Каждое событие выполняется мгновенно во времени, модельное время затрачивается только на переход от события к событию. Реализация событий во времени напоминает цепную реакцию: при отработке любого события планируется одно или несколько последующих (будущих) событий.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЯЗЫКА EML

В общем случае динамическое поведение системы можно представить как выполнение большого числа взаимодействующих процессов, которые сводятся к некоторому небольшому числу классов. Тогда, чтобы описать поведение системы, достаточно описать поведение каждого класса процессов и задать значения атрибутов для конкретных процессов (т.е. транзактов). Поскольку процесс представляет собой совокупность логически связанных активностей, описание процесса должно включать в список активностей, входящих в процесс, порядок следования этих активностей и условия выполнения каждой активности.

Модель системы на языке EML можно рассматривать как набор событий, где события представлены завершениями активностей, и, следовательно, описание события состоит из

совокупности операций, которые должны выполняться после совершения соответствующей активности. Поведение же системы во времени отображается порядком следования этих событий.

Упорядочение событий достигается с помощью списка событий. При планировании события указывается номер, время события и номер транзакта. Чтобы получить момент времени моделирования, в который должно произойти некоторое событие, время выполнения события (точнее, время выполнения работы, представленной данной активностью) складывается с текущим временем. Это время, номер события и номер транзакта затем помещаются в список событий, который упорядочивается в порядке возрастания значений времени. Затем из списка вычеркивается событие, которое должно завершиться первым, время моделирования становится равным времени завершения этого события (т.е. продвижение по оси времени осуществляется на величину очередного интервала между событиями), выполняются действия, соответствующие завершению данного события, и планируется очередное событие. Если при этом оказывается, что для какого-то транзакта очередное событие не может быть спланировано из-за занятости оборудования, то данный транзакт помещается в очередь. Транзакты, входящие в очередь, упорядочиваются по значению единственного атрибута (приоритета), а в случае равенства этих значений – в порядке поступления.

Каждый транзакт представляет собой деталь, сборку или изделие и имеет уникальный номер, используемый в модели для идентификации каждого компонента изделия.

Транзакты, относящиеся к определенному изделию, находятся в иерархической подчиненности между собой согласно принципу вхождения деталей в сборки, сборок в узлы, узлов в изделие. Следовательно, завершение обработки транзакта, представляющего собой изделие, невозможно, пока не будут обработаны все транзакты, представляющие детали, сборки и узлы, входящие в изделие. На этом принципе основана логика функционирования модели – восхождение от основания иерархической структуры изделия к ее вершине. Поиск же оптимального с точки зрения производства пути и времени прохождения данного этапа и составляет основную задачу имитационного моделирования.

Все переменные языка EML, включая время, являются целочисленными. Единица времени моделируемой системы определяется пользователем, и все временные интервалы, разделяющие моменты наступления запланированных событий, должны быть заданы в этих единицах.

ВНУТРЕННЯЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЯЗЫКА EML

Основой внутренней организации являются объекты, описывающие устройства (рабочих), очереди, события. Они представляют собой реляционные таблицы, взаимосвязанные на уровне программного модуля, которые легко интегрируются в любой СУБД реляционного типа. Поля соответствующих таблиц соответствуют определенным атрибутам и характеристикам данных объектов, а записи – отдельным экземплярам данного класса.

Для каждого устройства (рабочего) моделируемой системы строится заголовок очереди и собственно очередь к данному средству. Элемент очереди соответствует одному транзакту в состоянии ожидания, т.е. в частном случае очередь может быть пустой.

Для работы с устройствами и очередями определены специальные методы, которые осуществляют резервирование и освобождение устройства, постановку и извлечение транзактов из очереди.

Для обработки динамического списка событий, наступающих в системе, определено методы планирования новых событий, отмены ранее запланированных и чтения текущего события.

Каждый вызов функции *Schedule* (планировать событие) сопровождается включением в список событий нового элемента. Этот список автоматически упорядочивается по возрастанию времени совершения событий.

Для обработки событий в системе EML применен метод регистрации событий. Каждому типу событий сопоставлен адрес процедуры его обработки. Реализация этого механизма с помощью объекта процедурного типа (TRegisteredEvents).

Во всех описанных списках используется понятие номер транзакта. Эта характеристика вводится для того, чтобы отличать элементы списка, представляющие разные реализации процессов. Другими словами, транзакты, вызванные двумя разными запросами, должны иметь и разные номера.

Все перечисленные выше структуры данных объединены в объект *TModel*, являющийся основой для построения модели. Он содержит в себе следующие методы:

- *Run* – осуществляет процесс моделирования;
- *RegisterEvents* – регистрирует процедуры обработки событий;
- *Error* – выдает сообщение об ошибке в процессе моделирования;
- *Setup* – настраивает параметры модели (вызывается конструктором *Create*);
- *Report* – создает отчет о результатах моделирования.

При построении моделирующей программы необходимо переопределить соответствующие методы объекта *TModel* для придания им необходимых свойств.

Для хранения текущего времени служит глобальная переменная *_Time*, которой присваивается нулевое значение, используемое в качестве начального значения времени моделирования.

В языке EML имеются три статистические функции, которые возвращают случайное число, распределенное равномерно, экспоненциально, нормально.

Для контроля над ходом выполнения программы в системе EML предусмотрена возможность создания файла трассировки, в котором отражается каждое обращение к процедуре или функции языка EML.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ НА ЯЗЫКЕ EML

Имитационная модель и реализующая ее программа, построенная с использованием языка EML, должна состоять из ряда блоков:

- инициализации – в его функции входит возбуждение системы имитации модели во времени, описание моделируемой системы и генерация первого события;
- управления – определяет логику функционирования модели, изменяет текущее время моделирования и инициирует обработку событий. Как только время достигнет предельного значения, работа программы приостанавливается;
- обработки событий – выполняет действия, связанные с окончанием данного события, и планирует новые события, которые могут происходить в данный момент;
- генерации отчетов – формирует для пользователя необходимые отчеты на основе накопленной статистической информации.

Выполнение моделирующей программы может быть прервано из-за ошибок, допущенных при реализации алгоритма функционирования моделируемой системы средствами языка EML. Для своевременного обнаружения ряда ошибок и облегчения их поиска в языке предусмотрены процедуры контроля ошибочных ситуаций, обеспечивающие приостановку работы программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что описанный выше язык моделирования может быть использован для имитационного моделирования дискретных производственных систем с малой и средней размерностью на ЭВМ.

Используя особенности объектно-ориентированного программирования, методы, реализованные в модуле языка EML, могут быть переопределены и модифицированы в каждой конкретной реализации имитационной модели. Это обуславливает некоторую универсальность подсистемы моделирования и легкость адаптации подхода, реализованного

в нем, к особенностям реальных задач построения имитационных моделей производства в контексте создания комплексных автоматизированных систем планирования и диспетчирования.

Такая программная подсистема имеет определенные преимущества, сочетая в себе основные достоинства универсальных и специализированных языков, а также обеспечивая легкость интеграции построенных с его помощью моделей в программные комплексы. Основным ее недостатком является невозможность использования моделирующего модуля с другими языками программирования без «переписывания» его на эти языки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савина, О.А. Управление промышленными предприятиями с использованием систем поддержки решений [Текст]/О.А. Савина. | – М.: Издательство МАИ, 2000. – 256 С.
2. Шенон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст]: [пер. с англ]/ Р. Шенон. – М.: Мир, 1978. – 418 С.
3. Федорович, О.В. Исследование гибких дискретных производств методами имитационного моделирования [Текст]/ О.В. Федорович, О.А Шевелева – Харьков: Издательство ХАИ, 1985.

Лазарев Сергей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные системы»
Тел. (4862) 432619
E-mail: lsa_2002@mail.ru

СТРУКТУРА И СОСТАВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассматриваются вопросы повышения качества выпускаемой продукции, снижения ресурсо- и энергозатрат, контроля использования производственных фондов и расхода материалов производства в условиях современного рынка за счет применения информационных систем в автоматизации технологических процессов и производств. Показывается наиболее перспективная технология автоматизированного управления, которой на данный момент являются SCADA системы (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных). Исследуется структура SCADA систем, как информационной системы, с точки зрения построения каждого уровня системы. Показывается необходимость использования необходимости построения эффективного человека-машинного интерфейса (HMI - Human-Machine Interface). Определяются функции, реализация которых требуется при создании SCADA/HMI на верхнем уровне систем автоматизации.

In article questions of improvement of quality of released production, lowering resurso - and power inputs, the control of usage of production assets and expenditure of materials of production in the conditions of the modern market at the expense of application of intelligence systems in automation of technological processes and productions are considered. The most perspective technology of automated management is shown, at present, which is SCADA systems (Supervisory Control And Data Acquisition – dispatching handle and data gathering). Structure SCADA of systems, as intelligence system, from the point of view of construction of each level of system is researched. Necessity of usage of necessity of construction of an effective computer human interface (HMI - Human-Machine Interface) is shown. Functions which implementation are defined will allow it is required at creation SCADA/HMI on a top level of systems of automation.

Вопросы повышения качества выпускаемой продукции, снижения ресурсо- и энергозатрат, контроля использования производственных фондов и расхода материалов производства в условиях современного рынка очень актуальны. Наиболее развитым средством решения этих вопросов, на сегодняшний день является создание систем автоматизированного управления. Наиболее перспективной технологией автоматизированного управления на данный момент являются SCADA системы (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных). Особенno они эффективны при создании АСУ производствами с ограничениями на кадровые и материальные ресурсы. Очень широкое распространение получили системы автоматизации, базирующиеся на контроле и диспетчеризации и использующие уже готовые «комплексные» решения, затрагивающие все уровни производства. Внедрение подобных SCADA систем требует детального изучения и проработки всех нюансов как технологического процесса, лежащего в основе производства, так и технологических операций в отдельности. Сегодняшние реалии таковы, что не каждое предприятие готово вкладывать средства в «комплексную», полную автоматизацию. Зачастую возникает необходимость в автоматизации отдельных уровней производства, отдельных участков или этапов технологического и производственного процесса. Для этого не существует универсальных, «на все случаи жизни», решений. Каждое подобное решение отталкивается от требований конкретного предприятия и, учитывает его специфику. По аналогии со SCADA системами условно все подобные информационные системы (SCADA-программы) можно разделить на следующие уровни (рисунок 1) с той целью, чтобы было возможно определить особенности их построения в случае использования частных решений:

1. Системы автоматизации функций сбора данных – информации о состоянии дел на производстве, состоянии технологического процесса и его основных показателей. Это так называемый низкий уровень, или уровень контроллеров, в литературе зачастую известный как RTU (Remote Terminal Unit). Спектр воплощения RTU широк – от примитивных датчиков, осуществляющих съем информации с объекта, до специализированных

многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени. Использование устройств низкоуровневой обработки информации позволяет снизить требования к пропускной способности каналов связи с центральным диспетчерским пунктом. Конкретная его реализация определяется конкретным применением, а выбор того или иного подхода к реализации осуществляется с учетом требований конкретного производства, его финансовых возможностей, квалификации персонала и лежит в плоскости выбора тех или иных технических решений.

2. *Системы автоматизации функций передачи собранных данных от отдельных участков предприятия к оператору-диспетчеру.* Тут по аналогии со SCADA системами можно применить термин – **Communication System (CS)** – коммуникационная система (каналы связи), необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU. Вариантов реализации информационных систем этого уровня очень много. Начиная от систем предоставляющих человеку интерфейс внесения собранных на нижнем уровне технологических показателей и заканчивая мощными комплексами, предоставляющими широкий набор устройств ввода-вывода для промышленного оборудования через устоявшиеся интерфейсы и открытые промышленные сети.

3. *Системы автоматизации действий оператора-диспетчера.* Это верхний уровень, или **Master Terminal Unit (MTU)** – диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого реального времени. Одна из основных функций – обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой. MTU может быть реализована в самом разнообразном виде – от одиночного компьютера с дополнительными устройствами подключения к каналам связи до больших вычислительных систем и/или объединенных в локальную сеть рабочих станций и серверов. На этом уровне поле деятельности велико. И именно здесь применение «частных» решений на базе современных информационных систем наиболее востребовано.

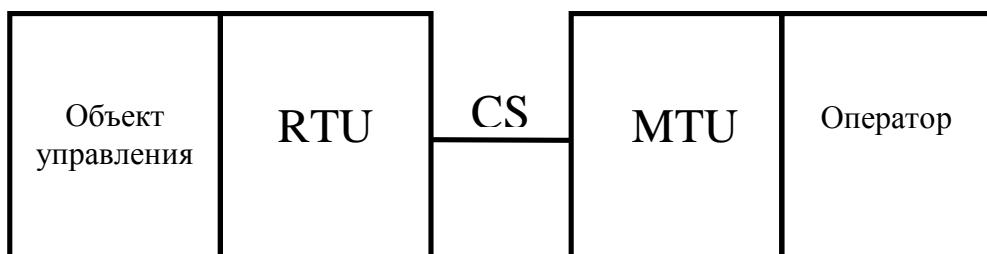


Рисунок 1 – Основные структурные компоненты SCADA-системы

Как показывает практика, наибольшей популярностью при автоматизации пользуются информационные системы уровня MTU, причем каждая из отдельных разработок является компиляцией как существующих стандартов и разработок, так и собственных, учитывающих индивидуальные особенности и требования производства.

Несмотря на всю, как казалось бы, развитость средств уровня MTU, расследование и анализ большинства аварий и происшествий в промышленности и на транспорте, часть из которых привела к катастрофическим последствиям, показали, что, если в 60-х годах XX века ошибка человека являлась первоначальной причиной лишь 20% инцидентов, то в 90-х годах доля «человеческого фактора» возросла до 80%, причем в связи с постоянным совершенствованием технологий и повышением надежности электронного оборудования и машин доля эта может еще возрасти (рисунок 2).

Основной причиной таких тенденций является старый традиционный подход к построению АСУ, который применяется часто и в настоящее время: ориентация в первую очередь на применение новейших технологических достижений, стремление

повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы и, в то же время, недооценка необходимости построения эффективного человека-машинного интерфейса (HMI - Human-Machine Interface), т.е. интерфейса, ориентированного на оператора.

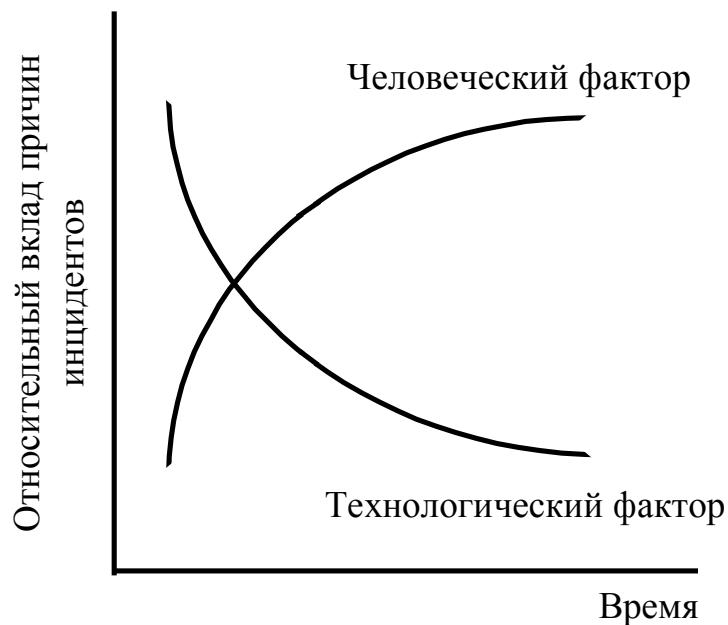


Рисунок 2 – Тенденции причин аварий в сложных автоматизированных системах

Возникла необходимость применения нового подхода при разработке таких систем, а именно, ориентация в первую очередь на человека-оператора (диспетчера) и его задачи. Реализацией такого подхода и являются SCADA-системы, которые иногда даже называют SCADA/HMI.

Большинство SCADA-систем ориентируются, дабы уменьшить вероятность ошибки оператора, на построение мощного, но достаточно гибкого HMI (HMI - Human-Machine Interface) интерфейса. В современной автоматизации явно прослеживается тенденция на развитие средств построения эффективного человека-машинного интерфейса, т.е. интерфейса, ориентированного на оператора, который реализуется на уровне МТУ. В зависимости от разработчика верхний уровень SCADA-систем может реализовывать самые разнообразные функции. Но можно выделить следующий набор функций, реализация которых направлена на построение эффективного человека-машинного интерфейса. Все эти функции вытекают из необходимости предоставления человеку-оператору (диспетчеру) полной, достоверной на текущий момент времени и своевременной информации о состоянии технологического процесса, исполнительных механизмов и действий персонала. Из вышесказанного можно выделить некоторые функции, возлагаемые на информационные системы этого уровня:

- Графическое представление хода технологического процесса, а также принятой и архивной информации в удобной для восприятия форме.
- Прием команд оператора и подготовка их к возможной передаче в адрес контроллеров нижних уровней и исполнительных механизмов.
- Регистрация событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание системы.
- Оповещение эксплуатационного и обслуживающего персонала об обнаруженных аварийных событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУ ТП с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях.

- Формирование сводок и других отчетных документов на основе архивной информации.

Это далеко не полный список функций, реализуемых на этом уровне. Наличие некоторых функций и объем их реализации сильно варьируется от системы к системе и существенно влияет на ее структуру и состав. Причем реализация тех или иных функций зависит от требований к информационной системе и его структуре. Важно отметить тот факт, что набор и глубина проработки большинства этих функций коренным образом влияет на состав как SCADA-системы в целом, так и на состав отдельных элементов SCADA-программы верхнего уровня. Модульность реализации отдельных функций информационных систем верхнего уровня оказывает непосредственное влияние на их состав.

Таким образом, структура и состав разрабатываемой информационной системы в автоматизации технологических производств сводится к выбору того или иного набора реализуемых функций с учетом деления на уровни автоматизации, причем, немаловажную роль играет то, в каком объеме та или иная функция реализуется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленная автоматизация в России // Каталог/Программное обеспечение/SCADA и PI системы [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – М., сор. 1997-2008. – Режим доступа <http://www.industrialauto.ru/modules/mycatalog/viewcat.php?cid=45>.
2. Simulators – SCADA – Моделирование динамических систем // SCADA (автоматизированное управление промышленным оборудованием) [Электронный ресурс]. Электрон. дан. – М., сор. 2007. – Режим доступа <http://www.simulators.narod.ru/scada.htm>.

Лунёв Роман Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»
г. Орел, Наугорское шоссе д. 40
E-mail: rolu@yandex.ru.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Большинство математических моделей управления информационными ресурсами предназначаются для определения наиболее общих свойств и основываются на представлении предметной области в виде матриц терминов-документов. Разработанная модель предназначается для определения частных свойств информационных потоков и отличается более глубоким исследованием информационных ресурсов.

The majority of mathematical models of management of information resources are intended for definition the general properties and are based on representation of a subject domain in the form of terms-documents' matrixes. The developed model intends for definition of private properties of information streams and differs more in-depth study of information resources.

Упрочнение рыночной экономики в нашей стране постоянно обостряет конкурентную борьбу. Уменьшение издержек по-прежнему рассматривается руководителями многих компаний как главный путь повышения конкурентоспособности.

На рынке побеждают компании, постоянно предлагающие новые инновационные решения. Результаты такого подхода к ведению бизнеса российскими участниками рынка неоднократно освещались в научных трудах российских ученых. При этом чрезвычайное значение приобретает скорость практического воплощения идей в конкретные продукты и услуги [3].

При исследовании документации промышленного предприятия очень важным этапом является предварительная работа с анализируемыми документами, которую можно охарактеризовать как всестороннее выявление возможных форм документации, техники их заполнения и обработки.

Описание документов основывается на представлении их в виде информационных единиц (сообщений). Каждый документ представляет собой объект, содержащий множество полей, свойств и атрибутов (лексических единиц). Информационные потоки представляются в виде множества документов (сообщений).

Описание информационных потоков, базирующееся на матричном представлении документов [1], приводится в исследованиях многих учёных, в частности, Д.О. Аветисяна, В.В. Емельянова, И.И. Попова, Дж. Солтона, С.И. Ясиновского и др. В работе И.И. Попова представлена модель описания информационных потоков с целью описания процессов и систем, оценки и оптимизации как абстрактных систем, так и конкретных БД. В модели рассматриваются наиболее общие вопросы описания, оценки и оптимизации документальных информационных ресурсов и систем.

Предлагаемая автором модель предназначена для описания документальных ресурсов машиностроительного предприятия. Целью создания модели является построение математического аппарата для определения специфических частотных свойств терминов в документах, с возможностью выявления терминов, наиболее значимых для предметной области (ПрО) с возможностью формирования отраслевого словаря терминов ПрО.

Под термином понимается слово либо устойчивое словосочетание со строго определенным лексическим значением, используемое для описания объектов в бизнес-процессах. Для построения данной модели наибольший интерес вызывают термины, представляющие имена объектов и субпроцессов, входящих в каждый отдельный бизнес-процесс. Например, для процесса реализации готовой продукции наиболее значимыми будут термины «сбыт», «продажа», «отгрузка», «доставка», «менеджер по продажам», «реклама», «товар», «клиент», «заказ» и т. п.

Каждый документ в системе представляет собой отдельное информационное сообщение, поэтому понятия «документ» и «информационное сообщение» будем считать эквивалентными.

Общие обозначения и величины, используемые в модели:

M_V – общее количество документов в системе,

N_T – общее количество видов терминов,

q_T^i – количество видов терминов в i -м документе,

U_T – общее количество терминов (с учетом повторений) по всем документам,

$y_{T_k}^i$ – количество терминов k -го вида, (с учетом повторений) в i -м документе.

Пусть v_i – некоторый документ, принадлежащий множеству документов из рассматриваемой предметной области F . Тогда для любого документа системы будет выполняться условие:

$$v_i \subset F, i = \overline{1, M_V}. \quad (1.1)$$

Отдельный поток информации (например, структурного подразделения) будет состоять из множества информационных сообщений:

$$V = \{v_1, \dots, v_i\}, v_i \in F, i = \overline{1, n}. \quad (1.2)$$

Введем определение проекции предметной области (ППО) как универсальный массив всевозможных информационных сообщений, возникающих за определенное время t жизненного цикла описываемой системы:

$$V_b = \{v_1, \dots, v_i, \dots, v_n, t\}. \quad (1.3)$$

Причем $\forall v_i \in V_b$ для всех k , причем $|V_b| = i_b$ – мощность множества V_b .

Определения (1.1), (1.2), (1.3) представляют собой базовое описание n -мерной модели информационных потоков.

Любой документ формально представляется в виде одномерного массива-вектора:

$v_i = (t_{1n}, \dots, t_{in}, \dots, t_{N_T})$, где

$$t_{in} = \begin{cases} 1, & \text{если в } k-\text{ом документе встретился } n-\text{й термин} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1.4)$$

Величина t_i определяет появление терминов из всего информационного потока V_b в k -ом документе без учета повторяемости терминов в данном документе. Представим введенное ранее понятие прообраза предметной области (ППО) в виде линейного матричного представления с учетом (1.4), как совокупность всех терминов, имеющихся в системе документов:

$$V_b = \begin{pmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_{N_T} \\ D_1 & t_{D_11} & t_{D_12} & \dots & t_{D_1N_T} \\ D_2 & t_{D_21} & t_{D_22} & \dots & t_{D_2N_T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{M_D} & t_{D_{M_D}1} & t_{D_{M_D}2} & \dots & t_{D_{M_D}N_T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{1i} & \dots & t_{1k} & \dots & t_{1N_T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{ij} & \dots & t_{ik} & \dots & t_{iN_T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{M_Di} & \dots & t_{M_Dk} & \dots & t_{M_DN_T} \end{pmatrix}, \quad (1.5)$$

где $D_1 \dots D_{M_D}$ – индексы документов, зарегистрированных в системе анализа,

t_{ij} – двоичная величина, такая, что

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i-\text{ом документе встретился } j-\text{й термин} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Соответственно, каждая строка в записи матрицы V_b из (1.5) представляет собой документ системы v_i с индексом D_m . Матрицы, подобные V_b , известны под названием матрицы термин-документ [2].

Аналогичная модель информационных потоков, приведенная в [2] предназначается для описания произвольных текстовых документов. Экспериментальный анализ документов произвольного назначения показал, что наиболее значимые для ПрО термины могут неоднократно встречаться в пределах одного документа, поэтому в данной модели, в отличие от модели И.И. Попова, предлагается учитывать не только факт наличия конкретного термина в документе, но и количество упоминания данного термина в документе.

Перепишем выражение (1.4) для представления документа с учетом многократного появления терминов:

$$v_k = (b_1, b_2, \dots, b_{N_T}), \quad (1.6)$$

где b_i – степень повторяемости термина в документе.

В выражении (1.6) величина b_n определяет суммарное количество терминов одного вида в k -ом документе, иначе говоря, это число раз z_n , которое данный термин встретился в этом документе или количество вхождений k -го термина из потока V_b в документ D_m . Величина b_n может принимать значения: $\{0, 1, z\}$. Основываясь на (1.5), запишем выражение для (ППО) в следующем виде:

$$V_b^q = \begin{pmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_{n_D} \\ D_1 & b_{1D_1} & b_{2D_1} & \dots & b_{nD_1} \\ D_2 & b_{1D_2} & b_{2D_2} & \dots & b_{nD_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_m & b_{1D_m} & b_{2D_m} & \dots & b_{nD_m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{1j} & \dots & b_{1k} & \dots & b_{1n_D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{ij} & \dots & b_{ik} & \dots & b_{in_D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{Fj} & \dots & b_{Fk} & \dots & b_{Fn_D} \end{pmatrix}. \quad (1.7)$$

Мощность вида будем определять как количество терминов j -го вида во всём информационном потоке V_b :

$$p_j = \sum_{i=1}^{M_D} b_{ij}, \quad (1.8)$$

где M_D – количество документов, i – индекс документа.

По выражению (1.7) можно определить общее количество терминов по каждому виду во всем анализируемом потоке информации V_b , суммируя количество вхождений терминов каждого вида в общий поток информации V_b :

$$P_{V_b} = (p_1, p_2, \dots, p_{N_T}), \quad (1.9)$$

где N_T – количество видов терминов в потоке V_b .

Мощность потока V_b определим как суммарное количество терминов (с учетом повторений) во всех документах:

$$U_T = \sum_{k=1}^{M_D} \left(\sum_{j=1}^{N_T} b_{kj} \right). \quad (1.10)$$

Рассмотрим некоторые свойства определенных выше объектов.

Введем понятие цитируемости термина:

$$Z_j = \frac{a_j}{M_D} = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} t_{ij}}{M_D}, \quad (1.11)$$

где $a_j = \sum_{i=1}^{N_T} t_{ij}$ – количество документов, в которых упоминается/встречается j -й термин, M_D – общее количество документов в системе.

Величина z_j показывает, насколько часто термин данного вида упоминается в документах системы.

Вероятность появления j -го термина в потоке V_b (абсолютный вес) будет определяться выражением:

$$F_j = \frac{p_j}{U_T} = \frac{\sum_{i=1}^{M_D} b_{ij}}{\sum_{k=1}^{M_D} (\sum_{j=1}^{N_T} b_{kj})}. \quad (1.12)$$

Представительность (солидность) j -го термина будем вычислять, исходя из мощности вида и общего количества видов:

$$I_j = \frac{p_j}{N_T} = \frac{\sum_{i=1}^{M_D} b_{ij}}{N_T}. \quad (1.13)$$

Данная величина показывает, насколько велика доля данного вида терминов в общей массе терминов.

Количество видов терминов в i -ом документе найдем из (1.5):

$$K_T^i = \sum_{j=1}^{N_T} t_{ij}. \quad (1.14)$$

Суммарное количество всех терминов в i -ом документе (с учетом повторений) найдем из (1.7):

$$Q_T^i = \sum_{k=1}^{N_T} b_{ki} \quad (1.15)$$

Относительный вес j -го термина в i -ом документе будет определяться выражением:

$$w_{ij} = \frac{b_{ij}}{Q_T^i} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^{N_T} b_{ki}}. \quad (1.16)$$

Величина показывает значимость терминов данного вида в документе по отношению к общей массе терминов во всем документе.

Частота появления j -го термина в документе будет определяться выражением:

$$R_j = \frac{p_j}{M_D} = \frac{\sum_{i=1}^{M_D} b_{ij}}{M_D}. \quad (1.17)$$

Термины документа могут иметь различную структуру, размер и сложность. Выделим основные элементарные (неделимые) виды терминов:

$$\Omega = \{S, C, N, D\}, \quad (1.18)$$

где S – строка, C – символ, N – число, D – дата.

Все остальные термины можно свести к одному из выше перечисленных типов или составить сложный термин из нескольких элементарных терминов.

Все элементы множества типов встречающихся терминов Ω представляют собой числовые значения, определяющие длину соответствующего термина. Конкретные значения и размерность величины назначаются специалистом в зависимости от особенностей теста.

Тогда приблизительный объем информационного потока в терминах можно вычислить на основании (1.8) как сумму произведений повторов терминов на длину:

$$Y_V = \sum_{j=1}^{D_m} \left(\sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot [\Omega_k] \right). \quad (1.19)$$

Аналогично можно получить величины объема отдельных информационных потоков, объем конкретных документов, мощность информационного потока отдельных подразделений предприятия.

Таким образом, с помощью приведенных в модели соотношений возможно определить наиболее информативные термины, опираясь на их вероятностные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, Ю. П. Гармонизация деятельности предприятия [Текст]:монография/ Ю. П. Анисимов, Ю. В. Журавлев, С. В. Горин. – Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2003. – 304 с.
2. Стенюков, М. В. Документы. Делопроизводство [Текст]:практическое пособие по документационному обеспечению деятельности предприятия / М. В. Стенюков. – М.: ПРИОР, 1996. – 130 с.
3. Арефьев, И. Б. Интегрированные автоматизированные системы управления в машиностроении [Текст] / И.Б.Арефьев, Г.Б. Гезлинг, Б.Л. Кукор. – Л.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

Аверкиев Сергей Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: + 8(48677)7-04-17
E-mail: ser-averkiev@yandex.ru

УДК 004.021

Е.П. ДОЛГОВ, Ю.Н. РЫЖОВ

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В АСНИ ПРИВОДА СЦЕПЛЕНИЯ

Рассматриваются базовые принципы моделирования в автоматизированной системе научных исследований. Даётся предложение по организации подсистемы моделирования, основанной на иерархическом представлении моделей. Предлагаются инструментальные средства для реализации предложенного подхода. Проводится оценка включения изложенных решений в структуру АСНИ, а также предоставляемые конечному пользователю возможности.

Base principles of modeling in the automated system of scientific researches are considered. The offer on the organization of a subsystem of modeling based on hierarchical representation of models is given. Tool means for realization of the offered approach are offered. The estimation of inclusion of the stated decisions is spent to structure scientific research system, and also possibilities given to the end user.

Развитие современных тяговых и транспортных машин направлено в сторону увеличения выполняемых ими функций, что неизбежно приводит к увеличению вырабатываемой ими мощности. С другой стороны, существующие тенденции диктуют условия снижения затрат, возникающих при проектировании и эксплуатации данного рода устройств. Одним из важнейших компонентов машин, подвергающихся всестороннему анализу, является система силовых передач, обеспечивающая передачу мощности от двигателя к рабочим органам машин. Центральное место среди них занимает привод фрикционного сцепления, поскольку именно он обеспечивает непосредственную связь двигателя с остальной частью трансмиссии.

К приводу сцепления в связи с этим выдвигается ряд требований. Во-первых, долговечность и надежность работы в сложных условиях эксплуатации. Во-вторых, малые габариты и ресурсоемкость. Первичными факторами, влияющими на определение данных параметров, является собственно конструкция сцепления, используемые при его изготовлении материалы, а также характер самого процесса работы. Для учета их взаимного влияния друг на друга можно использовать стендовые образцы, или же средства автоматизации, в качестве которых наиболее уместны автоматизированные системы научных исследований (АСНИ).

Второй подход, а именно использование автоматизированных комплексов, представляется более выгодным, поскольку не требует больших затрат ресурсов. Кроме того, габариты входящих в привод узлов зачастую не позволяют производить прямых измерений, что неизбежно сказывается на точности результатов. Поэтому наиболее приемлемым решением является использование математического моделирования при исследовании привода сцепления. Именно с его использованием возможно всестороннее рассмотрение интересующих исследователя подробностей.

Таким образом, в структуре АСНИ привода сцепления можно выделить блок моделирования, ответственный за перевод формального описания модели во внутреннее представление системы. В его функции также входит подключение к стендовым образцам, позволяющим делать суждения об адекватности используемых моделей.

Разработка подсистемы моделирования именно для АСНИ предъявляет ряд дополнительных требований. Во-первых, моделирование привода должно осуществляться по некоторой общей схеме, которая известна системе. А во-вторых, у исследователя должна быть возможность взаимодействия с системой. Он должен вносить корректизы в модель, включать в рассмотрение новые модели и т.п. Таким образом, речь идет о едином механизме, используемом для представления данных о реальном мире в автоматизированной системе.

На процесс моделирования также оказывает влияние многогранность исследовательского процесса. В частности, анализу подвергаются как отдельные узлы фрикционного сцепления, так и конструкция в целом. Таким образом, подсистема

моделирования в АСНИ должна обладать достаточной гибкостью для представления различных элементов. Помимо этого, между отдельными моделями существуют четко установленные взаимосвязи, известные экспертам данной предметной области, которые необходимо формализовать для отображения в процессе автоматизации.

Учитывая особенности процесса моделирования, предлагается использовать не единую модели привода, а иерархическую структуру моделей, проиллюстрированную на рисунке 1. В данном случае появляется возможность рассматривать как единичные элементы, так и всю конструкцию на любом уровне детализации. Реализация подобной схемы стала возможна исходя из исследования математических моделей, используемых при описании привода фрикционного сцепления [1].

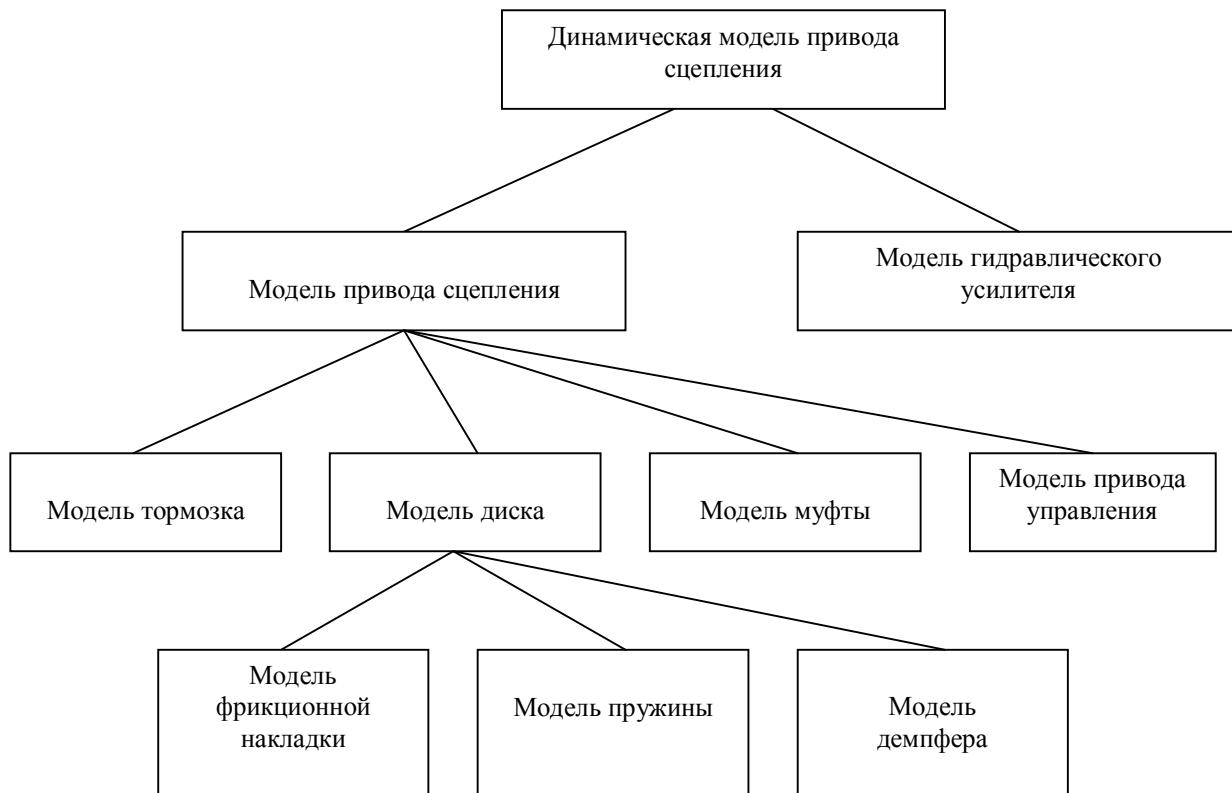


Рисунок 1 – Иерархическое представление моделей, описывающих привод сцепления

Узлы представленного графа определяют модели функциональных элементов фрикционного сцепления. Причем речь идет не о конкретной их реализации, а о классе однотипных деталей, для которых могут быть использованы совершенно разные математические модели, однако остаются неизменными получаемые из этих моделей параметры. Так, например, модель диска на своем уровне иерархии не разделяется на модели ведущего и ведомых. Однако в моделях более высоких уровней могут быть учтены как эти факторы, так и количество используемых дисков, их взаимное расположение и влияние, а также конструкция каждого изделия. Модели каждого диска при этом могут существенно отличаться друг от друга, но вычисляемые для них параметры (осевая податливость, температура, коэффициент сцепления и т.п.) остаются неизменными.

Дуги графа показывают взаимосвязь между моделями, которая наиболее часто выражается в расчете значений в одних моделях и передаче рассчитанных параметров в качестве параметров в другие модели. В наиболее общем случае дуги представляют собой некоторую функциональную зависимость параметров моделей одного уровня представления от моделей другого уровня. Одним из вариантов такой зависимости может быть представление на верхнем уровне иерархии не модели конкретного устройства, а параметрической модели, выражающей некоторые интегральные значения характеристик

всего привода сцепления, рассчитываемых на основе моделей составляющих его узлов и механизмов [2].

В зависимости от целей исследования направление передачи параметров может меняться. Так, например, значения, рассчитанные на нижних уровнях с использованием реальных данных, передаются на более высокие уровни иерархии. Возможна и обратная ситуация, когда вначале определяются идеальные условия работы, а затем с помощью вычисленных данных вычисляются характеристики привода сцепления, удовлетворяющего заданным условиям.

Иерархия моделей воспроизводит конструкцию самого фрикционного сцепления, показывая отношения между отдельными его узлами. Это упрощает задачу пользователя АСНИ, поскольку ему в данном случае будет достаточно лишь знаний о предметной области и не требуется дополнительного изучения способов представления данных в системе.

Стоит отдельно подчеркнуть, что структура не является жесткой и может быть модифицирована, исходя из условий эксперимента. Ввод используемых математических моделей, организация взаимодействия между ними, а также анализ получаемых результатов выполняется непосредственно исследователем.

Верхний уровень иерархии моделей занимает динамическая схема работы. Именно она позволяет определить действующие на привод в процессе работы силы, а также оценить влияние, оказываемое различными узлами сцепления [3]. Именно с использованием динамической схемы проводится вычислительный эксперимент, являющийся отображением натурного эксперимента.

Представленный подход позволяет также справиться с проблемой недостатка информации об объекте моделирования. В подавляющем большинстве случаев у исследователя нет необходимости знать устройство всех деталей, входящих в привод. В таком случае используются лишь известные факты, обычно выражаемые в терминах некоторых параметров моделей более высоких уровней.

Реализация предложенного подхода лишь одним математическим аппаратом существенно затруднена, поэтому система моделирования АСНИ тесно связана с лексическими средствами представления [4]. Лишь использование специализированного языка для представления имеющихся математических моделей и связей между ними позволяет в полной мере представить привод сцепления в виде подчиненных друг другу моделей. Задачи этого языка следующие:

- представлять математические модели, используемые при описании привода сцепления;
- позволять описывать взаимосвязи между моделями;
- описывать параметры моделей в виде самостоятельных конструкций.

Последнее требование специфично для АСНИ и необходимо не только для отображения точек связи между моделями, но и организации единого механизма передачи данных в структуре самой АСНИ.

Иерархическое представление моделей в АСНИ, в первую очередь, позволяет с достаточной степенью детализации спланировать схему проведения вычислительного эксперимента. Каждый узел представляет собой отдельное вычислительное задание, которое может решаться системой обособленно от других. При этом возможно применение соответствующих методик расчета, наиболее отвечающих критериям исследования. Существенную роль при этом играет внутренний язык представления данных, поскольку составные части АСНИ обмениваются информацией о моделях именно на нем.

Интерфейс пользователя также основывается на иерархическом представлении моделей. Взаимосвязь между ними может быть представлена с помощью графических средств, что позволяет сделать пользовательский интерфейс отдельной подсистемой АСНИ и вести его разработку в собственных терминах, опираясь лишь на общие для всей системы правила представления и передачи данных.

Использование иерархического подхода к моделям, описывающим привод фрикционного сцепления, также позволяет реорганизовать информационную базу АСНИ. С использованием лексической составляющей все данные могут быть сохранены в наиболее распространенном реляционном формате без использования сложных средств преобразования данных.

С точки зрения структуры автоматизированной системы особое место в ней предназначается модулю управления [5]. Именно на него возлагается задача структуризации имеющихся моделей. Также он будет ответственен за формирование схемы проведения вычислительного эксперимента, исходя из заложенных в модели взаимосвязей.

Механизм подключения расчетных модулей к автоматизированной системе также может быть formalизован и осуществляться без участия пользователя. Это возможно благодаря интерфейсной части расчетных модулей, в которой объявляется, какому типу моделей он сопоставляется в терминах используемого языка.

Существенным результатом применения данного подхода является и повышение производительности расчетов в автоматизированной системе, поскольку все ее части обмениваются унифицированной информацией о моделях.

Предложенный способ представления математических моделей в АСНИ привода сцепления позволяет сделать автоматизированную систему наиболее адаптированной к рассматриваемой предметной области. Немаловажен и тот факт, что такой подход в совокупности с языковыми средствами представления реализует один из важнейших принципов, заложенных в АСНИ – многогранность производимых с помощью системы исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарипов, В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов [Текст]/В.М.Шарипов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
2. Долгов, Е.П. Построение математической модели привода сцепления с гидравлическим усилителем [Текст] / Е.П. Долгов // «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП). Материалы международной научно-технической конференции: 25-26 мая 2006 г. – Орел: ОрелГТУ, 2006, Т4. – С. 51–53
3. Константинов, И.С. Численное моделирование динамических нагрузок в приводе сцепления с гидравлическим усилителем [Текст]/ И.С. Константинов, Е.П. Долгов, Ю.Н. Рыжов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2007. – №11. – С.3-8.
4. Египко, В.М. Организация и проектирование систем автоматизации научно-технических экспериментов [Текст]/В.М. Египко. – Киев: Наук. Думка, 1978. – 232 с. ил.
5. Долгов, Е.П. Функциональная структура программной составляющей АСНИ привода сцепления [Текст] / Е.П. Долгов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2008 – № 2/270(545). – С. 46-49

Долгов Евгений Петрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: + 7(4862)43-26-19
E-mail: dolgov@ostu.ru

Рыжов Юрий Николаевич

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел
Ст. преподаватель кафедры «ЭМТП и тракторы»
Курская обл., Глушковский р-н, с. Алексеевка, ул. Молодежная, д.29
Тел.: 76-17-54
E-mail: ryu1979@inbox.ru

УДК 621.369.6

В.Б. ИВКИН, В.А. ИВАНОВ, В.В. КОРУНОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРА РАДИОМОНИТОРИНГА

Статья посвящена проведению эксперимента на основе имитационного моделирования с целью определения оптимальной структуры и основных параметров системы радиомониторинга. Модель разработана и формализована как система массового обслуживания.

Clause is devoted to imitating model allowing to carry out experiments with the purpose of definition of optimum structure and the basic characteristics of system of radiomonitoring. The model is developed and is formalized as system of mass service.

Анализ особенностей функционирования центра радиомониторинга (ЦРМ) показывает, что в существующих условиях с учетом изменений радиочастотной обстановки является целесообразной разработка аналитической модели подсистем добычи и обработки ЦРМ с использованием непрерывно-стохастического подхода, реализуемого с помощью математических схем систем массового обслуживания (СМО).

Выбор аппарата СМО для моделирования обусловлен следующими причинами:

- широким разнообразием многократно и успешно апробированных схем СМО, позволяющих сформировать многомодельный вариант ЦРМ с учетом особенностей функционирования ее элементов;
- наличием априорных данных об обязательных требованиях, определяющих особенности применения объектов мониторинга в условиях изменяющейся обстановки, что позволяет достаточно полно и качественно описать основные ограничения, накладываемые на состав и процесс функционирования элементов подсистемы добычи и обработки;
- возможностью современных средств вычислительной техники и прикладного программного обеспечения, позволяющих достаточно оперативно получить результаты исследования.

Исходя из анализа функционирования ЦРМ, при проведении моделирования выбраны следующие условия:

1. Ресурс сил и средств, выделенный на ведение мониторинга, минимален, фиксирован и используется комплексно по всем направлениям деятельности ЦРМ.
2. В ходе осуществления мониторинга все диапазоны частот известны и фоновые источники локализованы по частоте, пространству и времени.
3. Подсистема добычи является 1-й фазой, а подсистема обработки – 2-й фазой разрабатываемой модели.

При анализе подсистемы добычи как СМО, полагаем, что потоки сообщений (сигналов, команд), поступающие на ее вход, являются простейшими, т. е. стационарны, ординарны, характеризуются отсутствием последействия и, как показано в [1, 2], близки к пуассоновским с интенсивностью I_i . При этом среднее время обслуживания сеансов связи объектов мониторинга ($t_{обсл.}$) распределено по показательному закону с интенсивностью

$$(параметром) обслуживания \quad m = \frac{1}{t_{обсл.}}.$$

Применение модели простейшего потока при анализе подсистемы добычи ЦРМ как СМО имеет следующие причины [1, 2]:

- простейший поток требований на обслуживание ставит СМО в наиболее жесткие условия и приспособиться к нему сложнее; если СМО обеспечивает эффективное обслуживание требований для такого потока, то для других типов потоков результаты будут не хуже;

- погрешность в оценке эффективности СМО при простейшем потоке, как правило, не превышает 5 – 7 % и находится в пределах погрешностей исходных данных.

При окончательном выборе модели подсистемы добывания следует учитывать ряд требований, определяющих порядок (дисциплину) обслуживания входного потока сведений, поступающего на каждый из ее элементов. В частности, необходимо:

- учитывать важность источников мониторинга в зависимости от их оперативной ценности;

- создавать наиболее благоприятные условия для функционирования подсистемы обработки информации путем обеспечения заданной полноты регистрации поступающих сообщений.

В результате проведенного сравнительного анализа [1, 2] установлено, что для подсистемы добывания ЦРМ в наибольшей степени удовлетворяет вышеуказанным требованиям схема многоканальной СМО с явными потерями, относительными приоритетами и резервированием ресурсов ($\bar{M}_r/M/G/L$). Все остальные системы не позволяют гибко адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования исследуемой подсистемы и входящей нагрузке.

Порядок (дисциплина) обслуживания k сеансов связи в исследуемой подсистеме, в соответствии с выбранной схемой СМО, не будет зависеть от свойств входящего потока и иметь следующие особенности:

1. Если в момент начала k -го сеанса связи объекта с приоритетом $r = \overline{1, J}$ или $r = \overline{J + 1, R}$ имеются свободные из доступных для данной приоритетной группы тракты мониторинга, то один из них немедленно выделяется для его обслуживания.

2. В случае занятости всех доступных трактов мониторинга фиксируется только факт сеанса связи, а сам он не обслуживается.

Поскольку все тракты приема сообщений от конкретной системы связи считаются одинаковыми, то при принятой дисциплине обслуживания необходимо от использования интенсивности обслуживания сеансов связи объектов r -го приоритета – \bar{m}_r перейти к ее средней по R величине:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{\Lambda_r} \sum_{r=1}^R \lambda_r N_{PMH_{n_r}} \mu_r. \quad (1)$$

В выражении (1) суммарная интенсивность проявления источников мониторинга через n -ю систему связи определяется с помощью выражения

$$\Lambda_r = \sum_{r=1}^R N_{PMH_{n_r}} \lambda_r. \quad (2)$$

В связи с тем, что все состояния рассматриваемой многоканальной СМО сообщающиеся и их число является конечным ($0 \leq V_{n_r} \leq V_n$), то в силу эргодичности получаемого случайного процесса стационарный режим функционирования и, соответственно, стационарные распределения вероятностей состояний существуют при любых начальных условиях и загрузке исследуемой подсистемы.

В соответствии с описанием процессов функционирования СМО вида $\bar{M}_r/M/G/L$ изменение ее состояний и переходов может быть описано процессом размножения и гибели [2], представленным в виде диаграммы на рисунке 1.

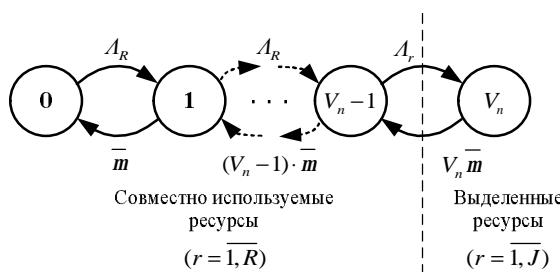


Рисунок 1 – Диаграмма состояний и переходов СМО $\bar{M}_r/M/G/L$

Исходя из диаграммы состояний и переходов СМО $M_r/M/G/L$, для каждой приоритетной группы стационарные распределения вероятностей состояний могут быть определены с помощью системы уравнений вида

$$P_{omk,PM} = P_{V_n}(r, V_{n_r}) = \begin{cases} \frac{\alpha_r^{V_{n_r}}}{V_{n_r}!} P_0(R, V_{n_r}), & 0 \leq V_{n_r} \leq V_n - \Delta_n - 1, \quad r = \overline{1, R} \\ Q \frac{\alpha_r^{V_{n_r}}}{V_{n_r}!} \left[\sum_{k=V_{n_r} - \Delta_n}^{V_{n_r}-1} \frac{\alpha_r^k}{k!} \right]^{-1}, & V_n - \Delta_n \leq V_{n_r} < V_n, \quad r = \overline{1, J} \end{cases}, \quad (3)$$

где $P_0(R, V_{n_r}) = \left[\sum_{k=0}^{V_{n_r}} \frac{a_r^k}{k!} \right]^{-1}$ – стационарная вероятность того, что в бесприоритетной СМО с

V_{n_r} каналами и суммарной входящей нагрузкой $a_r = \frac{\Lambda_r}{m}$ нет сообщений; $a_r = \frac{\Lambda_r}{m}$ – суммарная входящая нагрузка сообщений с приоритетом, не превышающим r ; $Q = 1 - P_{V_n}(R, V_{n_r})$ – вероятность того, что все каналы общего для сообщений приоритетов $r = \overline{1, R}$ ресурса СМО заняты обслуживанием; Δ_n – объем резерва канальных ресурсов, выделяемых для сообщений с приоритетом $r = \overline{1, J}$.

При выборе схем СМО для подсистемы обработки ЦРМ использован аналогичный подход, как и для подсистемы добывания, т. е. с учетом общих требований, предъявляемых к объекту исследования. В результате проведенного сравнительного анализа установлено, что для рассматриваемой подсистемы, с учетом особенностей их функционирования, в наибольшей степени подходит модель одноканальной СМО с ограниченной очередью, потерями и относительными приоритетами ($M_r/M/1/WL/PRR$).

Выбор данной схемы СМО для каждого комплекта сил и средств, выделенного для обработки разнородной информации от объектов мониторинга, предусматривает, что на его вход поступают потоки от r приоритетных классов источников ($r = \overline{1, R}$), занумерованных в порядке их убывания. При этом приоритет того или иного объекта определяется его важностью в конкретных условиях и в определенный промежуток времени.

Порядок обслуживания k сеансов связи в исследуемых подсистемах, в соответствии с выбранной схемой СМО, не будет зависеть от свойств входящего потока и иметь следующие особенности:

1. Если в момент поступления k -го сеанса на оперативный анализ источника, обслуживающего объект с приоритетом $r = \overline{1, J}$ или $r = \overline{J+1, R}$, комплект средств мониторинга свободен, то он немедленно поступает на обслуживание.

2. В случае занятости комплекта средств поступивший сеанс от объекта мониторинга l -го приоритета становится в очередь и принимается на обслуживание раньше сеанса от объекта мониторинга j -го приоритета, если $l < j$.

3. Если в момент поступления сеанса от объекта мониторинга l -го приоритета в очереди имелось S_n сеансов, т. е. все комплекты ожидания заняты, то поступивший сеанс подвергается следующим операциям:

- принимается в очередь при условии, что в ней имеются сеансы с более низким j -м приоритетом, при этом последний сеанс с низшим приоритетом вытесняется из очереди и в последующем не оказывает на нее никакого влияния;

- теряется при условии, что в очереди имеются только сеансы с более высоким и/или равным r -м приоритетом.

4. Сеансы r -го приоритета, находящиеся в очереди, обслуживаются в порядке их поступления.

В результате, согласно принятой дисциплине обслуживания в СМО, при постановке команд (сигналов) в очередь и управления очередью действуют абсолютные, а при обслуживании – относительные приоритеты. Применение абсолютных приоритетов только для управления очередью обеспечивает обслуживание сеансов без прерываний, минимизируя при этом потери и среднее время ожидания приоритетных вызовов.

При принятой дисциплине обслуживания, необходимо от использования интенсивности обслуживания команд (сигналов) r -го приоритета – Λ_r , перейти к ее средней по R величине, что обусловлено зависимостью процессов обслуживания сеансов r -го приоритета от наличия в СМО на обслуживании сеансов как с более высоким и равным, так и более низким приоритетом. При этом предполагается использование двух типов схем [2]:

- для состояний $V_{n_r} = V_n - 1 = 0$ – схема бесприоритетной СМО $\dot{M}_r/M/1/WL$ с суммарным входящим потоком команд (сигналов) Λ_R ;

- для состояний $V_n \leq V_{n_r} \leq V_n + S_n$ – схема СМО с абсолютными приоритетами $\dot{M}_r/M/1/WL/PRA$ и суммарным входящим потоком команд (сигналов) Λ_R , где $r = \overline{1, R}$.

В соответствии с описанием процессов функционирования СМО вида $\dot{M}_r/M/1/WL/PRR$ изменение ее состояний и переходов может быть описано процессом размножения и гибели [2], представленным в виде диаграммы на рисунке 2.

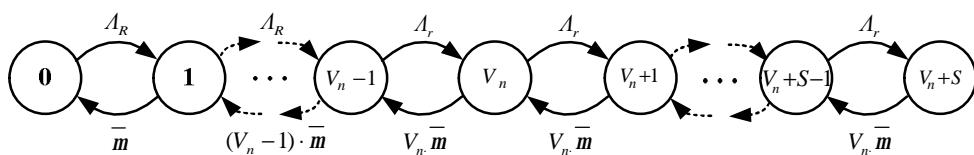


Рисунок 2 – Диаграмма состояний и переходов СМО $\dot{M}_r/M/1/WL/PRR$

Исходя из диаграммы состояний и переходов СМО $\dot{M}_r/M/1/WL/PRR$, для каждой приоритетной группы стационарные распределения вероятностей состояний могут быть определены с помощью системы уравнений вида

$$P_{V_n+S_n}(r, V_{n_r}) = \begin{cases} \frac{\alpha_R^{V_{n_r}}}{V_{n_r}!} P_0(R, V_{n_r}), & 0 \leq V_{n_r} < V_n, \\ Q \left(\frac{\alpha_r}{V_n} \right)^{V_{n_r}-V_n} \left(1 - \frac{\alpha_r}{V_n} \right), & \alpha_r \neq V_n, V_n \leq V_{n_r} \leq V_n + S_n, \\ \frac{Q}{S+1}, & \alpha_r = V_n, V_n \leq V_{n_r} \leq V_n + S_n, \end{cases} \quad (4)$$

где $P_0(R, V_{n_r}) = \left[\sum_{k=0}^{V_{n_r}} \frac{\alpha_R^k}{k!} + \frac{\alpha_R^{V_{n_r}}}{V_{n_r}!} \sum_{k=1}^{S_n} \left(\frac{\alpha_R}{V_{n_r}} \right)^k \right]^{-1}$ – стационарная вероятность того, что в

бесприоритетной СМО с V_n каналами, S_n комплектами ожидания и суммарной входящей нагрузкой $\alpha_R = \frac{\Lambda_R}{m}$ нет команд (сигналов); $\alpha_r = \frac{\Lambda_r}{m}$ – суммарная входящая нагрузка

команд (сигналов) с приоритетом, не превышающим $r = \overline{1, r}$; $Q = 1 - P_{V_n + S_n}(R, V_{n_r})$ – вероятность того, что СМО находится в занятом состоянии.

Вместе с тем отказ в обслуживании и потеря команд (сигналов) r -го приоритета наступает не только из-за занятости всех каналов обслуживания и комплектов ожидания сеансами с более высоким и/или равным приоритетом, но и из-за их вытеснения из очереди сеансами с более высоким приоритетом.

В результате суммарная стационарная вероятность отказа в обслуживании вызовов r -го приоритета $P_{\Sigma_{V_n + S_n}}(r, V_{n_r})$ определяется по формуле полной вероятности или законом сохранения потерянной нагрузки [2]:

$$P_{\text{отк.}} = P_{V_n + S_n}(r, V_{n_r}) + P_{\text{выт.}}(r, V_{n_r})[1 - P_{V_n + S_n}(r, V_{n_r})], \quad (5)$$

где

$$P_{\text{выт.}}(r, V_{n_r}) = \begin{cases} 0, & r = 1, \\ \frac{1}{\alpha_r^*} \sum_{k=1}^{r-1} \alpha_k^* [P_{V_n + S_n}(r, V_{n_r}) - P_{V_n + S_n}(k, V_{n_r})], & r = \overline{2, R}, \end{cases} \quad (6)$$

вероятность, характеризующая отношение средних чисел, вытесненных из очереди, и поступивших команд r -го приоритета. При этом вытеснение команд r -го приоритета определяется командами с приоритетом $\overline{1, r-1}$; $\alpha_r^* = \frac{N_{\text{PCI}_{n_r}} I_r}{m_r}$ – интенсивность поступающей нагрузки r -го приоритета.

Таким образом, использование данной модели ЦРМ позволяет задавать изменения радиочастотной обстановки в виде потоков сигналов (команд) и производить в зависимости от прогноза радиочастотной обстановки расчет средств радиомониторинга и давать оценку деятельности обслуживающего персонала на определенном промежутке времени.

ЛИТЕРАТУРА

- Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст]/О.А. Новиков, С.И. Петухов. – М.: Советское радио, 1969. – 400 с.
- Смородинский, С. С. Оптимизация решений на основе методов и моделей математического программирования [Текст]/ С.С. Смородинский, Н.В. Батин. – Мин.: БГУИР, 2003. – 136 с.

Ивкин Владимир Борисович

Академия ФСО России, г. Орел

Адъюнкт военной докторантury и адъюнктуры

Тел.: +7(4862)41-99-22

E-mail: ivkin@orel.ru

Иванов Владимир Алексеевич

Академия ФСО России, г. Орел

Доктор военных наук, начальник 4 факультета

Корунов Владимир Владимирович

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат военных наук, доцент кафедры 41

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ ОПИСАТЬ АГРЕГИРОВАННЫЙ ПОТОК ИНФОРМАЦИИ, ПОТЕРИ И ЗАДЕРЖКИ

В статье рассматриваются методы оценки качества обслуживания в сетях передачи данных со смешанным типом трафика. Анализируются базовые факторы, влияющие на качество обслуживания: задержки и потери. Данные факторы исследуются в связи с различными типами потоков данных: эластичных, неэластичных.

In this article is made out methods of quality evaluation in communication net. It is analyzed a basic factors of service quality: delays and losses. This problem concern to using methods of quality evaluation in communication net with combined stream of data.

ВВЕДЕНИЕ

При оценке качества различных услуг в сетях передачи данных (СПД) требования к передаче данных зависят от услуги и приложения, ее реализующего. Например, когда в одной сети передаются эластичные данные и неэластичные, их трафик не может обрабатываться одинаково.

Тому есть несколько причин:

- пакеты эластичных и неэластичных данных имеют разную длину;
- пакеты эластичных и неэластичных данных передаются с разными скоростями;
- использование различных механизмов и протоколов при обработке в узлах сети и при доставке получателю;
- различная чувствительность к задержкам и потерям.

Поскольку обработка трафика различных типов отличается, методы оценки качества обработки трафика также будут отличаться. Приложения, генерируемые и обрабатывающие трафик, требуют определенных гарантий в доставке данных. Эти гарантии по сложности их обеспечения разделяют на классы. Задача оценки качества обслуживания в доставке данных определенного класса так или иначе решалась. Однако в мультисервисной сети различные типы трафика оказывают влияние друг на друга, что делает оценку качества обслуживания сети со смешанным трафиком актуальной задачей.

СТРУКТУРА ТРАФИКА В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СПД

Если рассмотреть структуру трафика в мультисервисной сети, то можно выделить три основных типа трафика.

Трафик мультисервисной сети можно представить потоками трех основных типов. Первый тип – это так называемый *эластичный трафик (data)*, т.е. независимый от пропускной способности участка сети. Однако эластичный трафик чувствителен к потерям, но практически не чувствителен к задержкам (до нескольких минут в зависимости от приложения). В качестве транспортного протокола использует TCP. Примерами служит трафик таких сервисов, как e-mail, пересылка файлов, web-приложения и т.п.

Второй тип – *потоковый трафик (stream)*. Потоковый трафик можно получить при Интернет-вещании, аудио или видео по требованию. Его отличает допуск достаточно больших задержек и потерь. На приеме обычно используется буфер, позволяющий сглаживать неравномерность задержки путем внесения дополнительной задержки путем внесения дополнительной задержки буфера. Для передачи этого типа трафика вполне возможно использование в качестве транспортных протоколов как UDP, так и TCP.

Третий тип – трафик реального времени (real time). Характеризуется высокой чувствительностью к задержкам и относительно малой чувствительностью к потерям. Это может быть трафик IP-телефонии и видеоконференцсвязи, трафик, передаваемый от систем видеонаблюдения. В зависимости от класса обслуживания оговариваются их конкретные значения потерь и задержек.

Трафик транзакций представляет собой сигналы управления различными объектами и процессами, в том числе игры on-line. Такой тип трафика предъявляет высокие требования к задержке, т.е. относится к сверхчувствительному к задержкам типу, характеризуется высокой чувствительностью к потерям и переменной битовой скоростью, т.е. отличается высокой степенью непредсказуемости.

Трафик реального времени, порожденный такими процессами, как речь или видео, отличается большей устойчивостью к потерям (т.е. относится к малочувствительным к задержкам типам приложений), является изохронным (т.е. имеет порог чувствительности к задержкам, превышение которого функциональность приложения резко снижается), что характеризуется высокой степенью предсказуемости порожденного трафика.

Таким образом, в мультисервисной сети можем наблюдать различные комбинации этих трех видов трафика. В силу различия приложений и, следовательно, требований к качеству обслуживания, каждый тип трафика и его система обслуживания характеризуются различными законами распределения. Трафик мультисервисной сети на сетевом уровне можно представить как их совокупность.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО НЕЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

Для удобства оценки влияния факторов их принято делить на две группы: факторы, определяемые влиянием оконечного устройства, и факторы, определяемые влиянием сети.

Влияние оконечного устройства.

Под окончными подразумеваются устройства, в состав которых входит реализация кодека.

Например, оконечные устройства IP-телефонии могут быть представлены специализированными ПО, IP-телефоном или шлюзом IP-телефонии

В случае использования ПО или IP-телефона, кодек реализуется непосредственно у абонента, а при использовании шлюза IP-телефонии соединение между шлюзом и абонентом происходит по протоколу, и на этом участке проблема обеспечения качества давно и успешно решена.

Кодек может быть представлен как совокупность кодирующего (анализатор) и декодирующего (синтезатор) устройства. В современных системах используются кодеки, обеспечивающие компрессию речи и работающие на основе линейного предсказания.

Влияние сети рассмотрим в терминах показателей качества QoS.

1. Задержки в сетях.

Задержка доставки пакета определяется временем переноса пакета от источника к получателю. Время задержки меняется в зависимости от интенсивности трафика в сети и доступных сетевых ресурсов во время доставки. Речь представляет собой трафик, чувствительный к задержке, тогда как большинство приложений данных относительно устойчиво к задержке. Если задержка доставки речевого пакета превышает определенное значение, пакет отбрасывается, что приводит к дополнительным потерям.

Так, например, в результате исследований качества речевого сигнала было установлено, что человеческое ухо начинает чувствовать задержки речевого сигнала, превышающие 150 мс, и ощущает заметный дискомфорт, если задержка превышает 250 мс. Задержки выше 150 мс осложняют телефонный разговор, а при задержке 300 мс разговор распадается на фрагменты, которые невозможно связать в слитную речь.

Вариация задержки доставки пакета, или джиттер, определяется рядом причин, включая такие, как: вариации длин очередей в узлах сети; вариации времени обработки

пакетов при нарушении последовательности их на передаче; наличие в сети трафика данных, конкурирующего с неэластичным трафиком при доступе к общим ресурсам.

Когда моменты прибытия пакетов неэластичного трафика в пункт назначения становятся нерегулярными, это ведет к искажению сигнала, и при больших значениях джиттера, превышающих несколько десятков мс, сигнал становится неразборчивым.

2. Потери пакетов.

Потери определяются, как процент недоставленных пакетов. Основные причины потерь пакетов включают в себя:

- *Ошибки в канале.* На данный момент они практически несущественны.

- *Перегрузка сети.* При перегрузке сети очереди в коммутаторах и маршрутизаторах быстро растут. Если перегрузка сохраняется в течение длительного времени, происходит переполнение буферов, и пакеты теряются. Пакеты, принадлежащие трафику данных, передаются повторно в соответствии с запросом приемной стороны. Повторная передача увеличивает задержку пакетов, и пакеты сбрасываются. При больших значениях коэффициента потерь в восстановленной на приемной стороне речи возникают «провалы».

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА

Если проблема оценки качества эластичного трафика была решена с большим или меньшим успехом, то оценка качества неэластичного трафика до чих пор представляется спорным вопросом.

Для оценки качества неэластичного трафика используется два подхода: субъективный и объективный. Субъективный подход предполагает экспертную оценку. Объективный подход использует параметры сети.

Объективный метод оценки качества услуг.

Результатом вычислений качества обслуживания в соответствии с моделью объективной оценки или Е-моделью, является число, называемое R-фактором. Значения R-фактора однозначно сопоставляются с субъективными оценками.

В соответствии с Е-моделью R-фактор определяется в диапазоне значений от 0 до 100, где 100 соответствует самому высокому уровню качества. При расчете R-фактора учитываются 20 пар метров. В состав этих параметров входят;

- односторонняя задержка;
- коэффициент потери пакетов;
- потери данных из-за переполнения буфера джиттера;
- искажения, вносимые при преобразовании аналогового сигнала в цифровой и последующем сжатии (обработка сигнала в кодеках);
- влияние эхо и др.

Значение R определяется как:

$$R = R_0 - L_s - L_d - L_e,$$

где $R_0 = 93,2$ – базовое значение R-фактора (качество сигнала на входе в систему равно 100 единицам). При его оцифровке и передаче по сети происходит некоторое искажение сигнала, снижающее значение R_0 , которое обычно округляют до 94; L_s – искажения, вызванные местным эффектом и процедурой квантования; L_d - искажения за счет суммарных задержек в сети; L_e – искажения, вносимые оборудованием.

Разберем подробно каждый фактор и дадим методику его оценки.

1. Задержки.

Для пакетного трафика можно рассматривать общую задержку t или время доставки пакета как сумму транспортной задержки t_{tr} , задержки распространения t_p , задержки коммутации t_s и задержки при организации очередей в коммутаторах (задержки на узле) t_{or} .

$$t = t_{tr} + t_p + t_s + t_{or}.$$

Под транспортной задержкой подразумевается время, требуемое для передачи пакета при заданной полосе пропускания и зависящее от размера пакета и ширины полосы

пропускания канала. Транспортную задержку можно определить как функцию от ширины полосы пропускания канала и длины пакета, т.е.

$$t_{tr} = L/B,$$

где L – размер пакета, бит, B – ширина полосы пропускания, кбит/сек.

Задержка распространения (propagation delay) зависит от используемой среды передачи и расстояния и может составлять десятки миллисекунд. Внедрение технологии DWDM позволяет принимать задержку распространения менее 1 мс.

Задержка коммутации (switching delay) вносится устройствами коммутации и, как правило, составляет менее 10 мс.

В случае, если сеть не испытывает перегрузки, задержка при организации очередей в маршрутизаторах отсутствует. В этом случае можно говорить о минимально возможной задержке при передаче пакетов через заданную сеть. В случае перегрузки сети t_a не только может составить значительную величину, но и приводит к джиттеру задержки.

Для трафика реального времени джиттер задержки может привести к потере пакетов, т.к. при превышении порогового значения задержки пакеты будут отброшены как не удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к режиму реального времени. Для потокового трафика внесение дополнительной задержки не оказывается критичным и не приводит к потерям.

2. Потери.

Потери сети P_{net} обусловлены ошибками в канале (на данный момент ими можно пренебречь) и потерями в узлах сети P_{loss} .

Потери в узлах сети P_{loss} определяются интенсивностью трафика, размером буфера, применяемой политикой обслуживания очередей и используемыми методами предотвращения перегрузки. Для расчета потерь при известных распределениях, описывающих входной поток, предлагается использовать метод диффузионной аппроксимации:

$$P_{loss} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{\frac{2}{C_a^2 + C_s^2}nb}},$$

где C_a^2 и C_s^2 – квадратичные коэффициенты вариации соответственно распределений входящего потока и времени обслуживания, nb – размер буфера, ρ – загрузка системы.

Как видно из формулы, случай, когда трафик описывается законом Пуассона, является самым благоприятным для системы. В этом случае квадратичные коэффициенты равны 1, и потери наименьшие по сравнению с другими законами распределения при прочих равных условиях (размере буфера, нагрузке). Наиболее часто встречающиеся законы распределения Парето и для длин протокольных блоков, и для интервалов между их приходами, представляет собой средний вариант. В случае если интервалы между протокольными блоками описываются логнормальным распределением, потери оказываются достаточно велики (при загрузке 0,5 достигают 25%). Из этого можно сделать вывод, что для трафика, тяготеющего к логнормальному закону распределения, необходимо вводить дополнительные механизмы, регулирующие пачечность (например, «корзину маркеров»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При агрегировании различных потоков результирующий поток будет смешанным из различных типов трафика, генерация и обслуживание которого производится различными приложениями, гарантирующими различное качество связи, напрямую зависящее от факторов, влияющих на него, как-то: задержек, потерь, длин очереди на маршрутизаторах и так далее. Выбор методики расчета и оценки влияния этих факторов на качество обслуживания определяется распределением, свойственным определенному типу трафика. В

статье дана методика, применимая для смешанного типа трафика. Данные расчеты дают наиболее точные результаты при агрегированном потоке в СПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зулис, В.Я. Проектирование перспективных вариантов структур сложных технических систем [Текст]/В.Я. Зулис, Я.К. Тентерис// Перспективы развития вычислительных систем (применение идей адаптации и эволюции) . – II Всесоюзный семинар. – Рига, Риж. политехн. ин-т, 1985. – ст. 77-80.
2. Шварц, М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ [Текст] : [пер. с англ.]/М. Шварц. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – Часть 1. – 272 с.
3. Якубайтис, Э. А. Информационные сети и системы [Текст]/ Э.А. Якубайтис. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 289 с.
4. Янбых, Г.Ф. Оптимизация информационно-вычислительных сетей [Текст]/ Г.Ф. Янбых, Б.А. Столяров. – М.:Радио и связь, 1987. – 232 с.

Кравцова Надежда Алексеевна

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Тел.: 89065689819

E-mail: x4x@mail.ru

УДК 556.5.01

Н.В. НОВИКОВА, А.М. ВОРОНЦОВ, М.Н. НИКАНОРОВА, А.П. ПАЦОВСКИЙ

ОЗОНОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье предложен метод получения информации о состоянии водных объектов в режиме реального времени. Метод основан на явлении люминесценции, возникающей при окислении растворенного органического вещества озоном.

In this article is proposed the method of receiving information in real time about quality of natural water. The method is based on effect of the luminescence appearing at oxidation of dissolved organic matter by ozone.

ВВЕДЕНИЕ

Применяемые до настоящего времени способы оценки качества атмосферы, гидросферы и почвогрунтов основаны на сопоставлении в отдельных точках химического состава, физических свойств и микробиологических характеристик с соответствующими регламентированными показателями качества объекта контроля. То есть, сложилась система покомпонентных попарных оценок, где единичные оценки по большому числу исходных характеристик сопоставляются с некоторыми уровнями и нормами, предельными концентрациями и т.п.

Альтернативой является многоокритериальная оценка состояния природных объектов, предполагающая необходимость проведения процедуры свертывания информации и исключение размерности получаемых величин. Как правило, свертывание информации представляет собой целенаправленный процесс, базирующийся на четко сформулированных принципах выбора или конструирования наиболее информативных переменных – *индексов состояния (качества)*.

Термин «многоокритериальная оценка» введен в экологическую литературу в 1994 году В.В. Дмитриевым [1]. Он отражает методологическую основу оценки состояния природных экосистем с помощью построения *обобщенных (интегральных) показателей* по совокупности критериев оценивания. Для современного этапа исследования природных систем характерен переход от покомпонентных классификаций и типизаций к разработке шкал состояния (качества) для большого перечня частных критериев, характеризующих природные системы [2].

Например, результаты расчета созданного в системе Росгидромета индекса загрязненности воды (ИЗВ) позволяют классифицировать водные объекты по семи градациям от «очень чистая» до «чрезвычайно грязная».

Для оценки качества воды, кроме ИЗВ, используют единичные обобщенные показатели, такие как бихроматная окисляемость, выражаемая в мгО/л – единицах химического потребления кислорода (ХПК). Ее часто называют показателем загрязненности, но это не совсем так. ХПК связано с содержанием в воде растворенного органического углерода, а этот параметр говорит не столько о загрязненности, сколько о биопродуктивности водных экосистем.

Переход к системе обобщенных и интегральных показателей качества природных сред вызван чрезвычайным многообразием факторов химической опасности. Для их выявления необходимо использовать такие свойства молекул, которые либо охватывают всю совокупность потенциально опасных веществ, либо в максимальной степени к ней приближены. Иными словами, требуются неспецифические датчики, реагирующие на любые потенциально опасные химические возмущения среды [3].

В случае поступления сигнала тревоги от такого датчика возможен отбор пробы и ее детальный анализ с помощью аппаратуры высокой эффективности и селективности [4], то есть, возможно построение иерархической системы оперативного экологического контроля,

где аномальные значения сигнала датчиков обобщенных и интегральных параметров (нижняя ступень) включают в действие все более сложные анализаторы второй, третьей и так далее ступеней – вплоть до арбитражных лабораторий, причем каждая последующая ступень включается только при подтверждении аномалии качества, полученной на предыдущей ступени [5].

Метод создания датчиков загрязненности водной среды, основанный на хемилюминесценции при озонолизе непрерывного потока водной пробы, может быть положен в основу концепции «датчиков экологической сигнализации» - (ДЭС) – функциональных и стоимостных аналогов датчиков пожарной и охранной сигнализации, которые могут быть установлены в существующие системы и линии связи, включая протяженные линии охраны периметров [6]. Применение ДЭС в привычной правоохранительным органам инфраструктуре придаст смысл созданию экологической милиции, особенно если учесть, что системой датчиков пожарной и охранной сигнализации уже сегодня охвачены два миллиона объектов на территории России и система ДЭС хорошо вписывается в эту структуру.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Состав и содержание органических веществ в природных водах определяются совокупностью многих различных по своей скорости и природе процессов: прижизненных и посмертных выделений гидробионтов; поступления с атмосферными осадками, с поверхностным стоком в результате взаимодействия атмосферных вод с почвами и растительным покровом на поверхности водосбора; поступления из других водных объектов, из болот, торфяников; поступления с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами [7].

Растворенное органическое вещество (РОВ) водной экосистемы включает также соединения, пришедшие в систему извне – это аллохтонные соединения биогенной, терригенной и антропогенной природы. Обычно они поступают с поверхностными стоками, почвенными водами, вымываются дождями из атмосферы, сбрасываются антропогенными объектами (технологическими, энергетическими, жилищно-коммунальными, сельскохозяйственными и т.п.).

Результирующий эффект этих сложных и инерционных процессов мы наблюдаем в виде достаточно стабильного уровня интегрального показателя «суммарное содержание растворенного органического вещества», которое может быть выражено в виде различных показателей валового количества.

Валовое количество органических примесей в водной среде оценивается в настоящее время содержанием органического углерода (ОУ) и общего органического углерода (ООУ) в воде и по показателям химического потребления кислорода, определяемого методами бихроматной окисляемости (БО) или перманганатной окисляемости (ПО), биохимического потребления кислорода (БПК) и общего потребления кислорода (ОПК) [8-11]. Основными критериями для оценки общей загрязненности питьевых, природных и сточных вод органическими соединениями являются показатели БПК, ХПК и величина ООУ.

Рассматривая РОВ как сумму внешних метаболитов водной биоты, можно сделать важный вывод, что аномальное (резкое) отклонение состава и свойств органического вещества, накопленного водами от сложившихся во времени «нормальных» параметров состава и свойств органического вещества, есть неустранимый признак внешнего воздействия на живые компоненты (организмы) экосистемы, обменивающиеся органическими метаболитами через внешнюю среду.

Способность различных окислителей реагировать с органическими соединениями в водной среде определяется величиной окислительно-восстановительного потенциала реакции с участием этих окислителей. В таблице 1 приведены значения стандартных окислительно-восстановительных потенциалов некоторых реакций, применяемых при водоочистке, водоподготовке и при анализе вод, а также некоторых реакций, принципиально применимых в этих областях.

Из таблицы видно, что озон по своей окислительной способности значительно превосходит бихромат-анион (метод бихроматной окисляемости), перманганат-анион (метод перманганатной окисляемости), а также пероксид водорода. Существуют несколько более сильные окислители – фтор, феррат-анион, но их реальное применение либо опасно, либо сопряжено с большими сложностями.

То есть, выбор озона как окислительного реагента при создании новых методов хемилюминесцентного контроля содержания органических соединений представляется близким к оптимальному решению.

Таблица 1 – Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы ($E^0_{\text{н}}$) некоторых реакций в воде при температуре 25⁰С и давлении 760 мм рт.ст.

№	Реакция в растворе	$E^0_{\text{н}}, \text{В}$
1	$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \text{ (газ)}$ электрод сравнения	0,00
2	$\text{ClO}_4^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ 1,19
3	$\text{O}_2 \text{ (газ)} + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	+ 1,23
4	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$	+ 1,33
5	$\text{Cl}_2 \text{ (газ)} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cl}^-$	+ 1,36
6	$\text{CrO}_4^{2-} + 8 \text{H}^+ + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 4 \text{H}_2\text{O}$	+ 1,48
7	$\text{MnO}_4^- + 4 \text{H}^+ + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 \text{ (тв.)} + 2 \text{H}_2\text{O}$	+ 1,67
8	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	+ 1,78
9	$\text{O}_3 \text{ (газ)} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	+ 2,07
10	$\text{F}_2\text{O} \text{ (газ)} + 2 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{F}^- + \text{H}_2\text{O}$	+ 2,10
11	$\text{FeO}_4^{2-} + 5 \text{H}^+ + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe(OH)}_3 \text{ (тв.)} + \text{H}_2\text{O}$	+ 2,42
12	$\text{F}_2 \text{ (газ)} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{F}^-$	+ 2,87

Реальные условия озонолиза предусматривают непрерывную подачу озона в реактор, то есть, озон находится в избытке, а это означает, что его концентрация за время реакции изменяется пренебрежимо мало, пренебрежимо мал вклад и остальных активных форм кислорода. В этом случае реакция озонолиза может быть рассмотрена как *реакция псевдопервого порядка по реагенту E*, а ее уравнение можно записать в виде [13]:

$$— \frac{d[E]}{dt} = k_E \cdot [E],$$

где k_E – константа скорости окисления озоном вещества E .

Графически эта зависимость представляет собой убывающую экспоненциальную кривую, причем тангенс угла наклона касательных к каждой точке кривой есть скорость реакции в этой точке. Константа скорости реакции псевдопервого порядка имеет размерность $[\text{с}^{-1}]$ и может быть определена из величины периода полупревращения $T_{1/2}$ вещества E :

$$k_E = \ln 2 / T_{1/2} \sim 0,693 / T_{1/2},$$

при этом очевидно, что k_E не зависит от концентрации вещества E и является мерой устойчивости вещества E к озону.

В случае озонолиза природных вод картина будет сложнее. В природных водах идет одновременно большое число реакций озонолиза различных веществ с различными скоростями взаимодействия с озоном.

Касательные, проведенные к началу и концу кинетической кривой реакции озонолиза смеси веществ, позволяют легко определить константы скоростей реакции озонолиза наиболее легкоокисляемых и наиболее трудноокисляемых компонентов сложной смеси подвергаемых озонолизу веществ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озонахемилюминесцентный метод контроля суммарного содержания органического вещества в водной среде по параметру ХПК основан на явлении хемилюминесценции, которая возникает в водной пробе при ее взаимодействии с озоном.

Предложена система из трех интегральных показателей состояния водной среды:

Первый интегральный показатель (ИП-1) – изменение интенсивности озонахемилюминесценции РОВ. Интенсивность озонахемилюминесценции (ОХЛ) связана с суммарным количеством РОВ биогенного происхождения.

Второй интегральный показатель (ИП-2) – величины констант скоростей реакции озонализации наиболее легкоокисляемых и наиболее трудноокисляемых компонентов. Эти величины связаны с устойчивостью РОВ, а высокая устойчивость РОВ есть признак химического загрязнения водной экосистемы и подавления деятельности ее биоты.

Третий интегральный показатель (ИП-3) – интенсивность химического тушения ОХЛ контрольных веществ, периодически инжектируемых в поток водной пробы. Способность к химическому тушению люминесцирующих веществ характерна для подавляющего большинства загрязняющих веществ (ионы и комплексы тяжелых металлов, галогены и органические галогенопроизводные, нитросоединения, серосодержащие соединения и т.п.).

Для построения автоматических анализаторов водной среды наиболее удобен проточный вариант подачи пробы, непрерывный поток которой подвергается воздействию окислителей или других реагентов.

Пневмо-гидравлическая схема экспериментальной системы регистрации трех интегральных показателей представлена на рисунке 1.

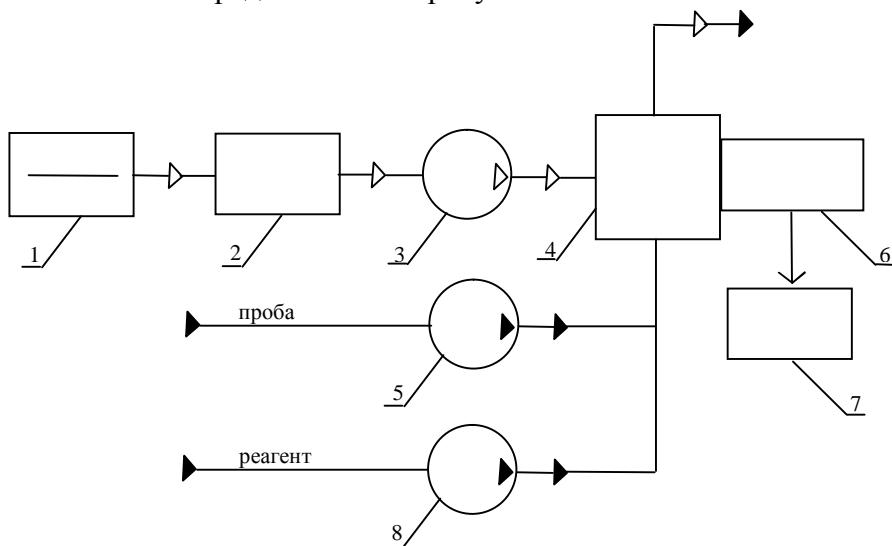


Рисунок 1 – Пневмо-гидравлическая схема экспериментальной системы регистрации озонахемилюминесцентных процессов в потоке природной воды по трем интегральным показателям:

1 – фильтр-осушитель воздуха; 2 – генератор озона; 3 – насос подачи озона (работает непрерывно);

4 – реактор окисления пробы озоном; 5 – насос подачи пробы (работает непрерывно);

6 – фотоэлектронный умножитель; 7 – система регистрации; 8 – насос подачи раствора контрольного вещества (работает периодически)

Атмосферный воздух поступает в прибор через заполненный цеолитом фильтр-осушитель 1 и в озонаторе 2 подвергается действию барьерного разряда, в результате чего из кислорода воздуха образуется озон (около 4% по объему). Полученная озоновоздушная смесь шланговым насосом 3 с объемной подачей 100 $\text{см}^3/\text{мин}$ транспортируется в реакционную камеру 4 (вместимостью 30 см^3) через микропористый распылитель. Непрерывный поток пробы шланговым насосом 5 подается в реактор 4 с объемной подачей 50 $\text{см}^3/\text{мин}$. Реактор снабжен оптическим окном из бесцветного стекла БС-10. Через это окно фотоприемник 6 (ФЭУ-118) регистрирует возникающую хемилюминесценцию. Фототок

ФЭУ-118 поступает на систему регистрации 7, представляющую собой усилитель постоянного тока с самопищущим потенциометром, аналогоцифровой преобразователь и персональный компьютер. Для контроля водных объектов по третьему интегральному показателю «тушению люминесценции» прибор снабжен дополнительным насосом 8, который раз в 2,5 минуты автоматически включается, подавая в реактор реагент – раствор родамина бЖ.

Работа прибора происходит следующим образом:

- При определении интегрального показателя ИП-1 (интенсивность ОХЛ, пропорциональная общему содержанию РОВ в воде) насосом 3 непрерывно подают озоновоздушную смесь в реактор 4, туда же насосом 5 непрерывно подают поток водной пробы, насос 8 при этом не включают. Интенсивность ОХЛ, возникающая в реакторе 4, пропорциональна содержанию биогенного органического вещества. Отметим, что озон в реактор подается в избытке, чтобы интенсивность озонахемилюминесценции лимитировалась не количеством озона, а количеством органического вещества, растворенного в воде.

- При определении интегрального показателя ИП-2 (константа скорости реакции озонолиза наиболее легкоокисляемых компонентов РОВ) система работает в аналогичном режиме и в случае, если изменяется ИП-1, происходит остановка насоса 5. Начиная с этого момента пробы, оказавшаяся заключенной в объеме реактора 4 (30 см^3), обрабатывается озоном и динамика процесса озонолиза регистрируется в виде экспоненциальной кривой.

- При определении третьего интегрального показателя ИП-3 (интенсивность тушения ОХЛ контрольного вещества) работа системы происходит как и при измерении ИП-1, но периодически включается насос 8, подающий водный раствор контрольного вещества родамина бЖ ($0,5 \text{ мг/л}$) импульсами по 10 секунд с периодичностью 1 раз в 150 секунд. При этом получается характерная запись в виде серии узких пиков на фоне и уровне непрерывного сигнала ИП-1.

С целью корректного нахождения функциональной зависимости между фототоком ОХЛ и стандартным методом определения ХПК, были проведены пять серий измерений значений интенсивности ОХЛ в пробах природной и питьевой воды с известными значениями ХПК, измеренными в аттестованной лаборатории ЦИКВ (Санкт-Петербург) бихроматным методом по стандарту ИСО 6060. Массив данных составил 84 пробы. Полученные результаты представлены в таблице 2. Звездочкой здесь и далее помечены значения, определенные по критерию Граббса как одиночные верхние и нижние выбросы. В дальнейших расчетах эти значения учитываться не будут.

Аналитическое выражение функции $\text{ХПК}=f(I)$ определялось методом наименьших квадратов (в дальнейшем, для простоты, будем использовать обозначение $y=f(x)$). Поскольку какие-либо сведения о виде функциональной зависимости отсутствовали, была осуществлена проверка гипотезы линейности градуировочного графика путем сравнения дисперсий (s^2), обусловленных рассеянием средних значений (\bar{y}) относительно линии регрессии с дисперсией ($s_{\text{ход}}^2$), обусловленной погрешностями сходимости при параллельных определениях. Составлялось отношение:

$$F = \frac{s^2}{s_{\text{ход}}^2}, \quad (1)$$

которое сравнивалось со значением $F_{\text{табл}}$ [14].

Значение s^2 находится из уравнения:

$$s^2 = \frac{m}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (2)$$

где \bar{y} – среднее значение для i -серии, состоящей из m определений;

у i – вычисленное значение для каждого отдельного опыта i - серии.

Таблица 2 — Значения интенсивности ОХЛ-свечения природной и питьевой воды и известные значения ХПК, измеренные в лаборатории ЦИКВ бихроматным методом

I, nA	$XPK, \mu gO_2/dm^3$								
Серия 1		Серия 2		Серия 3		Серия 4		Серия 5	
82,2	10,2	82,1	15,1*	87,6	10,4	85,6	9,9	102,1	9,8
125,2	13,7	130,0	14,1	127,6	13,9	128,5	10,5	130,1	9,7
131,1	10,2	134,6	13,7	132,3	13,1	132,6	14,1	135,2	12,8
137,0	12,1	136,1	14,5	139,3	11,2	139,6	12,6	140,1	11,8
145,2	16,2	145,1	12,6	144,6	13,5	142,3	13,7	141,0	11,5
142,8	12,5	147,4	15,2	142,4	17,5*	146,6	14,0	148,1	12,3
150,2	18,0*	157,4	16,9	159,3	15,7	154,1	15,5	156,8	15,4
161,8	13,7	160,1	14,0	165,6	14,1	162,9	13,8	164,1	13,9
174,0	8,5*	167,1	10,9	168,2	12,0	169,3	11,7	174,3	11,0
177,2	14,2	175,0	13,8	179,0	13,7	178,1	14,4	179,4	13,5
180,2	14,2	186,1	13,9	183,4	14,4	189,6	13,6	188,1	13,0
190,0	12,1	200,0	14,8	195,6	14,8	197,3	15,0	200,1	16,5
206,7	19,1	205,0	17,8	208,3	17,9	209,2	17,5	210,1	18,0
220,0	19,7	217,1	21,5*	218,6	19,5	225,1	17,5	245,1	16,5
240,7	21,0	239,6	19,8	237,8	17,0	235,6	18,1	255,1	16,5
247,2	17,5	254,6	22,0	252,7	19,8	251,1	19,7	300,2	22,5
275,3	19,9	272,7	17,4	294,3	14,5*	282,3	17,6	-	-

С учетом того, что были отброшены как выбросы значения результатов отдельных измерений и недостающих данных $m=(3-5)$, рассчитаем среднее значение \bar{m} , которое и будем далее использовать вместо m :

$$\bar{m} = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n m_i - \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i} \right], \quad (3)$$

$$\bar{m} = 4,26.$$

При $n=17$ значение $s^2 = \pm 4,69$.

Дисперсия для разброса внутри параллельных определений s_{cxod}^2 определялась по формуле:

$$s_{cxod}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n(m-1)} \quad (4)$$

где y_{ij} – определение в i – серии;

\bar{y}_i – среднее значение для i – серии.

$$s_{cxod}^2 = 1,86.$$

По формуле 6 находим значение F и сравниваем с табличным F_{tabl} .

$$F = 2,52; F_{tabl} = 2,66; F < F_{tabl}.$$

Гипотеза линейности принимается.

Проверка нормальности распределения осуществлялась по модифицированному критерию Шапиро-Уилка по ГОСТ Р ИСО 5479-2002 (гипотеза нормальности распределения была принята).

Проведен расчет характеристик линейного графика.

Коэффициенты регрессии рассчитываются по следующим формулам (здесь и далее с целью упрощения символ суммы $\sum_{i=1}^n$ будем обозначать просто Σ):

$$b = \frac{\sum \bar{x}_i \bar{y}_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum \bar{x}_i^2 - n \bar{x}^2}; a = \frac{\sum \bar{y}_i - b \sum \bar{x}_i}{n}; \quad (5)$$

$$b = 0,070; a = 5,810.$$

Для расчета дисперсий коэффициентов регрессии рассчитаем сумму квадратов отклонений:

$$\sum (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2 = \sum \bar{y}_i^2 - a \sum \bar{x}_i \bar{y}_i; \quad (6)$$

$$\sum (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2 = 16,82.$$

Дисперсию S_{yx}^2 , характеризующую рассеяние результатов относительно прямой, вычисляли по формуле:

$$S_{yx}^2 = \frac{\sum (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2}{n-2}; \quad (7)$$

$$S_{yx}^2 = 1,20.$$

Дисперсии коэффициентов регрессии рассчитывались по следующим формулам:

$$S_b^2 = \frac{n S_{yx}^2}{n \sum \bar{x}_i^2 - (\sum \bar{x}_i)^2}; S_a^2 = \frac{S_b^2}{n} \sum \bar{x}_i^2 \quad (8)$$

$$S_b^2 = 0,000026; S_a^2 = 0,004654$$

$$S_b = 0,005; S_a = 0,068.$$

$$\Delta b = S_b t_{P,f}; \Delta a = S_a t_{P,f} \text{ (при } P=0,95; t_{P,f} = 2,13);$$

$$\Delta b = 0,011; \Delta a = 0,156.$$

$$b = 0,070 \pm 0,011 \cong 0,07 \pm 0,01; a = 5,810 \pm 0,156 \cong 5,81 \pm 0,16.$$

Установленная функциональная зависимость принимает следующий вид:

$$ХПК = (0,07 \pm 0,01)I + (5,81 \pm 0,16). \quad (9)$$

Зависимости бихроматной окисляемости водных проб от фототока ОХЛ показаны на рисунке 2.

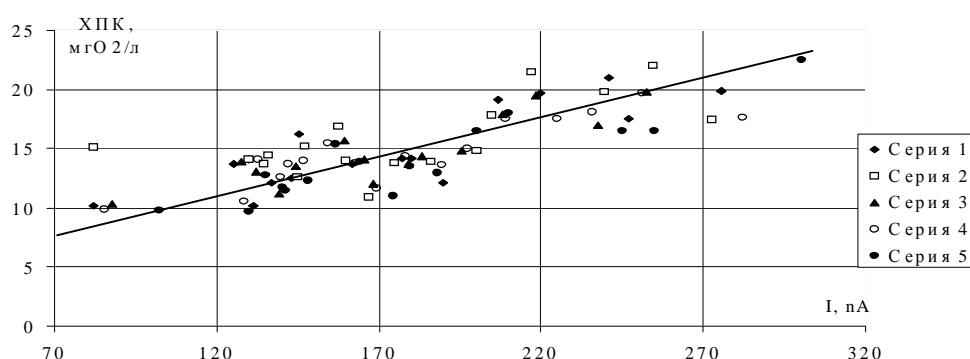


Рисунок 2 – Зависимости бихроматной окисляемости водных проб от фототока ОХЛ

В ходе натурных экспериментов 27 июня 2007 года с борта теплохода «Санкт-Петербург» была проведена непрерывная запись изменчивости содержания РОВ и определены константы скорости озонолиза РОВ в репрезентативных точках, где уровень содержания РОВ был аномальным. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение интенсивности ОХЛ и константы скорости реакции озонолиза легкоокисляемых компонентов растворенного органического вещества в системе Онега–Свирь–Ладога

Время	Место	Интенсивность ОХЛ, фототок, нА	$k_{\text{л}}, \text{с}^{-1}$
0-30	Онежское озеро	220±8	3,78
2-40	Онежское озеро, 3 каб. до Свирь	240±10	2,89
2-50	Исток Свирь, порт	248±10	2,01
2-55	Исток Свирь, ниже порта	222±8	1,11
3-19	Свирь	195±8	0,48
3-50	Свирь	167±8	0,44
11-50	Свирь, у причала села Мандроги	184±8	0,79
21-37	Устье Свирь, у выхода в Свирскую губу	233±10	1,03
21-49	Свирская губа	241±10	0,95
23-32	Ладога	204±8	2,54

Третий интегральный показатель основан на способности подавляющего большинства антропогенных загрязняющих веществ тушить люминесценцию известных флуорофоров. В связи с этим нами предложен озонахемилюминесцентный метод контроля загрязняющих веществ по интенсивности тушения люминесценции контрольного вещества. В качестве контрольного вещества использовали вещества с высоким квантовым выходом люминесценции – родамины. Выявлены зависимости между концентрацией загрязняющих веществ и площадью пика озонахемилюминесценции раствора родамина, периодически инжектируемого в поток пробы. В некоторых случаях наблюдалось каталитическое усиление люминесценции контрольного вещества.

В лаборатории были смоделированы условия, типичные при пересечении патрульным судном зоны загрязнения в открытой акватории (рисунок 3).

При прохождении патрульным судном мигрирующей под действием ветров и течением зоны загрязнения возможны варианты резкого повышения загрязненности и плавного ее снижения (при входе судна в пятно загрязнения со стороны максимально высокой концентрации загрязнителя, как показано на рисунке 3), так и обратная картина. Но в любой ситуации при прохождении зоны будет наблюдаться рост и ослабление концентрации загрязняющих веществ.

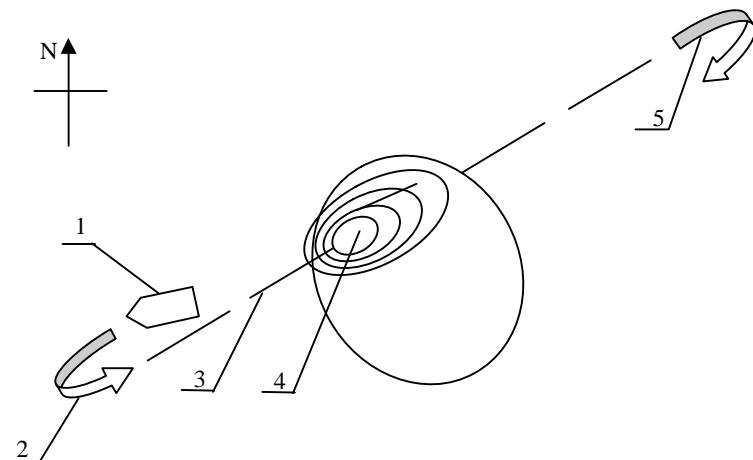


Рисунок 3 — Схема пересечения судном экологического патруля зоны загрязненной воды на маршруте патрулирования

1 – Патрульное судно экологического контроля;

2 – Выход судна на маршрут патрулирования;

3 – Маршрут патрулирования;

4 – Зона загрязненной воды (показаны изоконцентрационные пятна);

5 – Сход судна с маршрута патрулирования.

Для экспериментов выбрали два типичных тушителя: неорганический тушитель – водный раствор КJ и органический тушитель – водный раствор диэтилдитиокарбамата натрия $C_5H_{10}NS_2Na \cdot 3H_2O$. Это вещество – типичный серосодержащий органический реагент, широко применяемый для коррозийной защиты, как катализатор полимеризации, в процессах анализа и очистки продуктов, тонких химических технологий.

Результат периодической инжекции раствора КJ в образец природной воды (р. Нева) показан на рисунке 4. На рисунке отчетливо зафиксировано резкое тушение хемилюминесценции с последующим подъемом сигнала до исходного уровня, что соответствует картине пересечения судном четырех зон загрязненной акватории с различной концентрацией загрязняющих веществ. Результат периодической инжекции раствора диэтилдитиокарбамата натрия приведен на рисунке 5, демонстрирующем аналогичные зависимости тушения ОХЛ. Соотношение «сигнал-шум» при вводе растворов йодида калия и диэтилдитиокарбамата натрия подтверждает возможность достижения их предела обнаружения (ПрО) не хуже 0,5 мг/л.

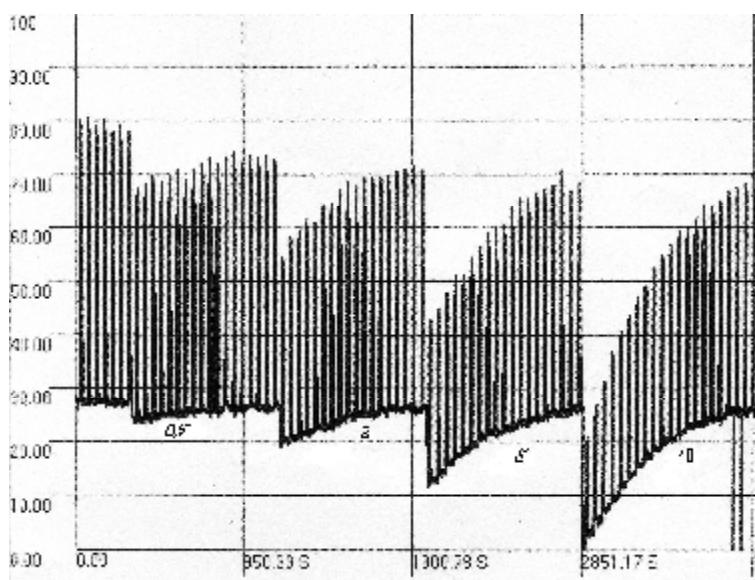


Рисунок 4 – тушение озонахемилюминесценции Родамина 6Ж в потоке невской воды при моделировании ее загрязнения йодидом калия (0,5, 2, 5 и 10 мг/л)

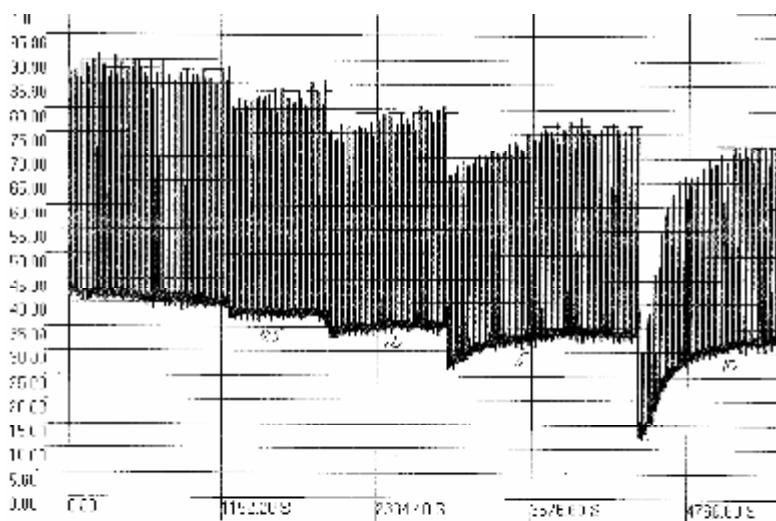


Рисунок 5 – тушение озонахемилюминесценции Родамина 6Ж в потоке невской воды при моделировании ее загрязнения диэтилдитиокарбаматом натрия (0,5, 2, 5 и 10 мг/л)

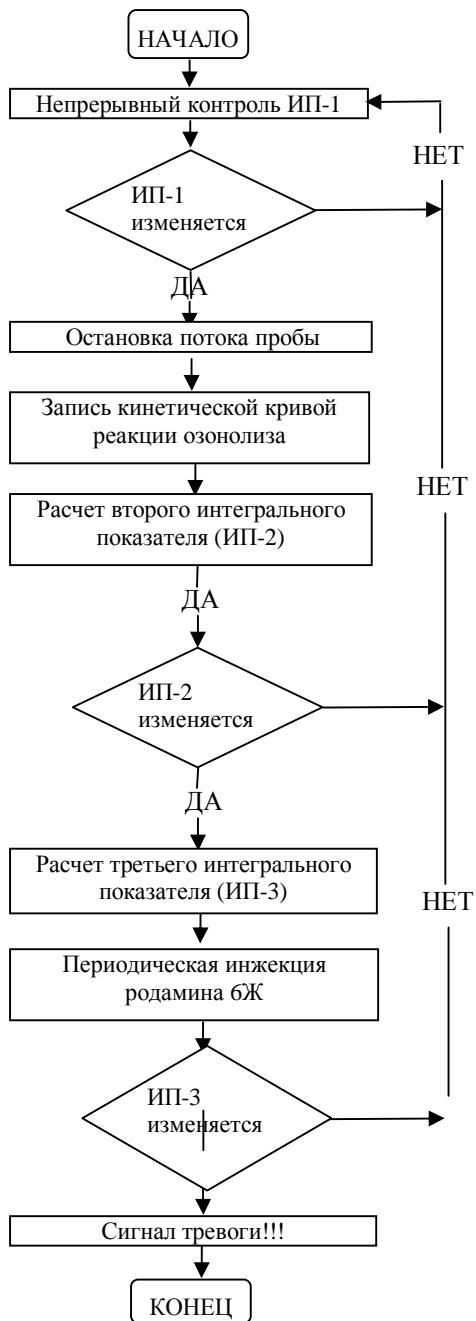


Рисунок 6– Алгоритм автоматического поиска химических аномалий водной среды на основе системы из трех интегральных показателей

Исходя из предложенного подхода к проблеме контроля содержания органических загрязнителей в водных экосистемах, предложен алгоритм автоматического поиска химических аномалий водной среды на основе системы из трех интегральных показателей, который приведен на рисунке 6. Алгоритм включает в себя следующие шаги:

Шаг 1: Ведется непрерывный в режиме реального времени контроль содержания РОВ по ИП-1.

Шаг 2: Регистрация изменения первого интегрального показателя (ИП-1) – интенсивности ОХЛ. Критерием наличия аномалий служит резкое, в отличие от плавных суточных и периодических сезонных колебаний, изменение показаний датчика.

Шаг 3 и 4: Остановка потока водной пробы и запись кинетических характеристик. Регистрация кинетических характеристик реакции озонолиза природных вод происходит автоматически в течение двух - трех минут.

Шаг 5: Расчет константы скорости реакции озонолиза (ИП-2), т.е. присутствия трудноокисляемых компонентов.

Шаг 6: Если изменения в соотношении легкоокисляемых и трудноокисляемых веществ не происходит, то работа анализатора продолжается в первоначальном режиме по ИП-1. Если соотношение меняется, продолжаем исследование водной пробы.

Шаг 7: В поток водной пробы периодически вводится контрольное вещество — родамин Ж.

Шаг 8: Производим определение ИП-3. По изменению интенсивности химического тушения озонохемилюминесценции родамина бЖ судим о присутствии ЗВ в водной пробе.

Шаг 9: Если ИП-3 не изменяется, то продолжаем непрерывный контроль ИП-1. При изменении ИП-3 автоматически подается сигнал тревоги и может быть принято решение об отборе пробы и передаче ее в стационарные и мобильные лаборатории для дальнейшего исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложено использовать систему из трех интегральных показателей загрязненности водной среды, определяемых с помощью хемилюминесценции при озонолизе потока пробы.

Экспериментально показана возможность создания автоматических датчиков экспресс-контроля следующих интегральных показателей:

Первый интегральный показатель — изменение интенсивности озонохемилюминесценции РОВ. Интенсивность озонохемилюминесценции связана с суммарным количеством РОВ биогенного происхождения.

Второй интегральный показатель — величины констант скоростей реакции озонолиза наиболее легкоокисляемых и наиболее трудноокисляемых компонентов. Эти величины связаны с устойчивостью РОВ, а высокая устойчивость РОВ есть признак химического загрязнения водной экосистемы и подавления деятельности ее биоты.

Третий интегральный показатель — интенсивность химического тушения ОХЛ контрольных веществ, периодически инжектируемых в поток водной пробы. Способность к химическому тушению люминесцирующих веществ характерна для подавляющего большинства загрязняющих веществ (ионы и комплексы тяжелых металлов, галогены и органические галогенопроизводные, нитросоединения, серосодержащие соединения и т.п.).

Этот подход позволит создать систему автоматических необслуживаемых датчиков экологической сигнализации — фундаментальных и стоимостных аналогов датчиков пожарной и охранной сигнализации и обеспечить непрерывный в реальном времени поиск аномалий химического состава вод, вызванных аварийными или нелегальными загрязнениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев, В.В. Экологическое нормирование состояния и антропогенного воздействий на природные экосистемы [Текст]// В.В. Дмитриев // Вестн. СПбГУ. Сер.7. – 1994. – Вып.2 (№14). – С.60-70.
2. Дмитриев, В.В. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной или антропогенно-трансформированной экосистемы [Текст]// В.В. Дмитриев // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. – СПб.: изд.РГГМУ, 2002. – С.23-30.
3. Рыбальченко, И.В. Химическая опасность: методы первичного выявления [Текст]// И.В. Рыбальченко// Экологические системы и приборы. – 2000. – №1. – С. 16-21.
4. Воронцов, А.М. Развитие гибридных методов аналитики в контроле окружающей среды [Текст]// А.М. Воронцов, М.Н. Никанорова // Инженерная экология. – 1996. – №3.– С. 93-109.
5. Worontsov A.M. Principles of Criminology in the ecological safety / Strategy for ecological safety of St. Petersburg, making use of the Netherlands experience// Proceedings of the Symposium, Sept. 9-12/1997. St. Petersburg. Russian Academy of Sciences. 1998.-p. 474-478.
6. Воронцов, А.М. Проблемы экологической преступности и поиск путей ее снижения [Текст]// А.М. Воронцов, М.Н. Никанорова // Государственный доклад о состоянии окружающей среды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 1998 году. – Т2. – СПб., 1999. – С.280-297.
7. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы [Текст]// Под ред. Т.В. Гусевой. – М.: Форум: Инфра-М, 2007. – 192 с.

8. Лурье, Ю.Ю. Об общих показателях загрязнения вод [Текст]/ Ю.Ю. Лурье//Проблемы аналит. химии. – М.: Наука, 1977. – С. 14 – 20.
9. Fuhr H. Was konnen BSB, CSB und TOC ausgegeben? // Chem. Ind., 1977, 29, № 6. – p. 324 – 325.
10. Chian E.S. K., Meng H., De Walle F.B. Organics. // J. Water Pollut. Control Fed., 1980, 52, №6. – p. 1120 – 1143.
11. De Walle F.B., Norman D., Sung J. et al. Organics. // J. Water Pollut. Control Fed., 1981, 51, №6. – p. 659 – 674.
12. Воронцов, А.М. Экспресс-контроль суммарного содержания органических веществ в водной среде методом озонахемилюминесценции [Текст]/ А.М. Воронцов, М.Н. Никанорова, К.В. Мелентьев; под ред. С.А. Кондратьева и Г.Т. Фрумина / Водные объекты Санкт-Петербурга. – Администрация СПб, 2002. – С. 73-79
13. Булатов, М.И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа [Текст]/ М.И. Булатов, И.П. Калинкин. – 5-е издание перераб. – Л.: Химия, Ленин. отделение, 1986. – 432 с.

Новикова Надежда Владимировна

Аспирантка Научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)230-68-92
E-mail: novnv@mail.ru

Воронцов Александр Михайлович

Главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра
экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)230-68-92
E-mail: worontsov@mail.ru, worontsov@ecosafety-spb.ru

Никанорова Марина Николаевна

Заведующая лабораторией Научно-исследовательского центра
экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)230-68-92
E-mail: m.n.nikanorova@ecosafety-spb.ru

Пацовский Александр Петрович

Старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра
экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)230-68-92
E-mail: ecocont@mail.ru

Адрес редакции:
Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90, 40-96-14
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Технический редактор Г.А. Константинова
Корректор Г.А. Константинова
Компьютерная верстка Г.А. Константинова

Сдано в набор 15.11.2008 г.
Подписано в печать 28.11.2008 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,6.
Тираж 600 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.