

Информационно-базисный подход к управлению модернизацией производства

С.А. ЛОМТЕВ

В статье излагаются концептуальные идеи и методические рекомендации по формированию автоматизированной системы управления модернизацией производства на основе использования принципов самоорганизации природных систем и идеи обобщенного ряда Фурье, позволяющих рассматривать сложные процессы как результат системного (сверхаддитивного) объединения базисных элементов. Ядром информационно-базисного подхода является основанная на современных информационных и коммуникационных технологиях и позволяющая принимать эффективные управленческие решения по модернизации производства развивающаяся система гибридного (человеко-машинного) интеллекта, способная к оперативному предвидению на основе динамической обработки информации.

Современные производственные предприятия представляют собой человеко-машинные системы, качество функционирования которых во многом определяется качеством управления. Принципиальная сложность таких систем приводит к необходимости принятия управленческих решений в условиях неопределенности, исключающих глобальное использование характерных для технических систем методов оптимизации (и в детерминированном, и в стохастическом смысле). При рассмотрении производства в целом традиционный оптимизационный подход (для хорошо структурированных производственных подсистем) обычно дополняют подходом, основанным на использовании знаний экспертов как ядра системы поддержки принятия управленческих решений.

В таких человеко-машинных системах (системах «гибридного интеллекта» [1]) основным ресурсом является **информация**, эффективность получения, преобразования, порождения, хранения, и передачи которой определяет эффективность развития производства, прежде всего, на основе его модернизации как способе сохранения конкурентоспособности выпускаемой продукции. В условиях современной научно-технической революции при постоянном росте уровня инженерии знаний, путь непрерывной модернизации – единственный способ остаться конкурентоспособным.

Общая структура автоматизированной системы управления на основе гибридного интеллекта может быть представлена в виде, представленном на рис. 1. В данной системе можно выделить две функциональные подсистемы: систему гибридного интеллекта (СГИ), отвечающую за принятие решений, и систему реализации действий (СРД), обеспечивающую реализацию принятых решений для обеспечения заданной траектории состояний объекта управления. Наличие обратной связи обеспечивает необходимую коррекцию решений-действий достижения текущей z_i и глобальной цели Π функционирования АСУ. Датчики D_x и D_y формируют оценки X^* и Y^* векторов состояния

среды X и объекта управления Y соответственно. Управляющее устройство (УУ) преобразует формализованное текущее решение z_i в управляющий сигнал $u_j(t)$, а исполнительный механизм (ИМ) преобразует этот сигнал в достаточное (по мощности и энергии) управляющее воздействие $d_k(t)$. Процесс решения можно представить в виде следующих, в общем случае – операторных, отображений: $A_1 : X \rightarrow X^*$, $A_2 : Y \rightarrow Y^*$, $A_3 : \Omega \times X^* \times Y^* \times T \rightarrow Z = \{z_i, i < \infty\}$, $A_4 : Z \times T \rightarrow U = \{u_j, j < \infty\}$, $A_5 : U \times T \times E \rightarrow D = \{d_k, k < \infty\}$, из которых отображение A_3 непосредственно связано с принятием управленческого решения.

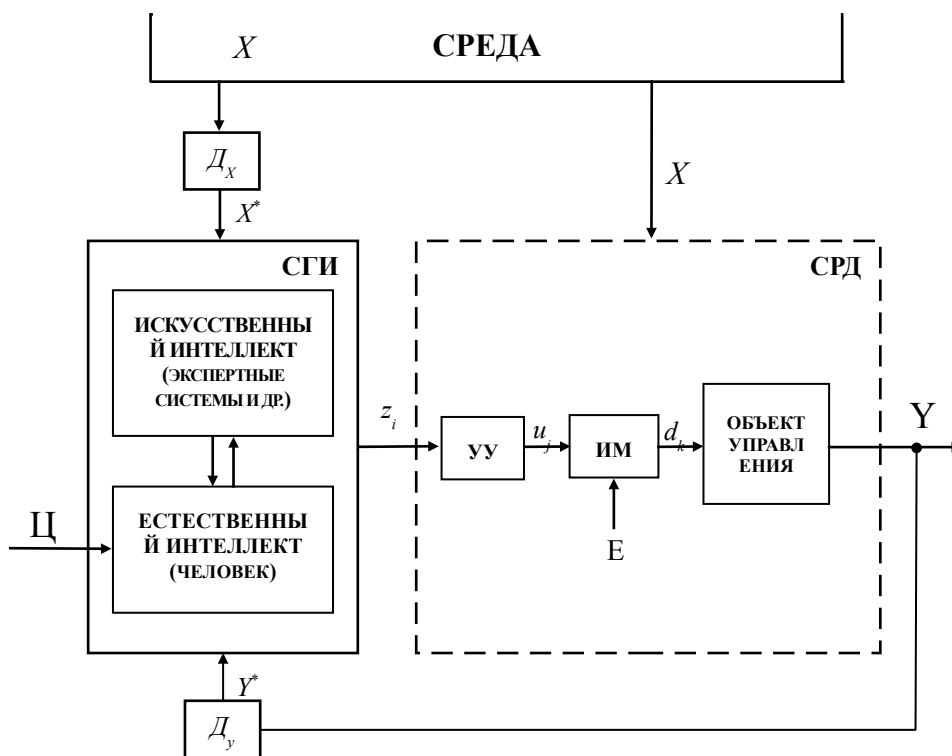


Рис. 1. Система управления на основе гибридного интеллекта.

Традиционно информационное обеспечение в рамках автоматизированных систем управления предприятием считается одним из видов обеспечения (техническое, программное, информационное), совокупность которых обеспечивает сбор, переработку технологической информации и преобразование ее в управляющие воздействия. При этом место информационного обеспечения ограничивают системой кодирования технологической и технико-экономической информации, справочной и оперативной информацией [2, С. 320].

Вряд ли с этим можно согласиться, поскольку такой подход к информации с «классических» позиций теории преобразования и передачи сигналов, не отражает ее управляющей (формирующей) сущности. В физическом (метрологическом) мире не бывает материи (энергии) без формы и, как следствие, несомой ей информации. Любой управляющий или информационный сигнал – сочетание формы, структуры (чисто информационная составляющая) и ее материального носителя (энергетически-вещественная составляющая). Потому любой процесс в физическом мире – процесс, прежде всего, информационный [3].

Следовательно, *информационное обеспечение* - основной вид обеспечения современного производства. «Чистая» материя (в виде вещества и энергии) играют при этом второстепенную роль. В большинстве случаев конкурентоспособность продукции определяется сегодня не сырьем, а перспективностью технологий его обработки. А технология – это доведенные до соответствующего алгоритма знания о необходимых действиях над «сырьем» для получения желаемой продукции (традиционно под технологией понимают «совокупность знаний о способах и средствах поведения каких-либо процессов, а также сами эти процессы, при которых происходит качественное изменение какого-либо объекта» [4]). Не случайно понятие «технология» сегодня применяется в самых различных областях деятельности человека, включая область образования («образовательные технологии», «педагогические технологии», «технологии обучения» и др.), где специфическим «сырьем» является обучающийся человек. Так что понятия «информационные технологии» и просто «технологии» синонимичны. Любая технология является алгоритмом по достижению поставленной цели, а алгоритм и цель – информация в ее классическом понимании. Более того, любая технология определяется, в первую очередь, информацией, заключенной в «сырье»: для каждого сырья – своя технология воздействия на него с целью целесообразной обработки (преобразования и трансформации).

Из инвариантности сигнала к своему носителю и финитности любого физического сигнала следует известная из теории сигналов возможность его точного представления в виде обобщенного ряда Фурье с использованием того или иного линейно-независимого *базиса*:

$$S(t) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i p_i(t), \quad \alpha_i = \int_T S(t) p_i(t) dt, \quad (1)$$

где $\{p_i(t)\}$, $i = [1, n]$ - множество линейно-независимых (в пределе ортогональных) «векторов» - базис; $\{\alpha_i\}$ - множество весовых коэффициентов, единственным образом представляющее сигнал $S(t)$ по выбранному базису. Взяв другой базис $\{p_k(t)\}$, получают и другое множество $\{\beta_k\}$. В зависимости от физической сущности сигнал $S(t)$ может быть измерительным или управляющим.

Выделим очевидную в функциональном анализе, но не всегда учитываемую специалистами-практиками идею *первичности базиса*: базис порождает соответствующее пространство (производственное, экономическое, социальное, образовательное и др.), а не наоборот. Потому создание соответствующих пространств должно начинаться с обоснования и формирования базисных, линейно-независимых элементов (так, в качестве базисных элементов-качеств современного специалиста с высшим образованием необходимо рассматривать триаду качеств: профессионализм, патриотизм, нравственность, весовые коэффициенты при которых для современной России должны быть примерно одинаковы [5]). При этом базис должен быть полным, в наиболее экономичном (для представления любых других векторов данного пространства) случае состоящим из ортогональных элементов. Отметим также, что базисный подход полностью соответствует основному производственному принципу - принципу разделения и специализации труда.

Достоинства использования ортогональных базисов широко известны (см., например, [6]). Ортогональный базис обеспечивает *единственное, наилучшее* (в среднеквадратичном смысле) и по сравнению с другими линейно-независимыми базисами наиболее *экономичное* аналитическое приближение. Выбирая глубину разложения, можно добиться сколько угодно малой погрешности приближения. Разложение в ортогональный ряд является *устойчивым* без ограничения на длину отрезка ряда, причем увеличение числа разложений не требует перерасчета ранее вычисленных коэффициентов. Осуществив ортогональное разложение, дальнейшие преобразования можно проводить в пространстве полученных коэффициентов разложения (чисел) по априорно известным (и хранимым в памяти) алгоритмам. Тем самым проведение операций над сигналами сводится к арифметическим операциям над числами. Многообразие существующих ортогональных рядов и достаточная легкость их получения (посредством процедуры Грама-Шмидта) позволяет осуществлять их *адаптивное* использование для наиболее эффективного сжатия информации.

Любое производство представляет собой человеко-машинную систему, действующий в социально-экономическом пространстве организм, подверженный влиянию внешней среды и способный адаптироваться к ее изменениям. Способом и средством такой *адаптации* и выступает *модернизация*, позволяющая достичь *динамического равновесия* выпускающей продукцию предприятия с окружающей социально-экономической внешней средой, характеризующегося получением достаточной прибыли для дальнейшего постепенного развития. Поэтому многие познанные человеком принципы жизнедеятельности (в том числе адаптации) живых организмов и механизмы их реализации могут быть в явном виде использованы для организации производства и его модернизации.

К основным природным принципам целенаправленной деятельности живых организмов следует отнести следующие принципы: *принцип наименьшего действия*, направленный на минимизацию затрат ресурсов (энергии, пространства, времени); *принцип пороговости взаимодействия и развития*, отражающий реальную дискретность мира объектов; *принцип динамического (в том числе опережающего) восприятия*, обеспечивающий разрешения противоречия между нарастающей сложностью (и инерционностью) систем и желаемой оперативностью их действий на основе предвидения. При этом действие понимается в смысле Мопертюи как произведение работы на время ее выполнения, так что в понятие «действие» включены все три природные меры физического мира: *энергия E* (сила имеет в основе своего проявления градиент энергии), *пространство V* (трехмерное), *время T* (одномерное и однонаправленное) [3, 8]. Потому любое действие \mathbf{d} есть элемент подмножества \mathbf{D} (мощность которого определяется целесообразностью и ограниченностью имеющихся ресурсов) как декартова произведения этих мер как соответствующих множеств, т.е. $\mathbf{d} \in \mathbf{D}$, $\mathbf{D} \subset \mathbf{R}$, $\mathbf{R} = \mathbf{E} \times \mathbf{V} \times \mathbf{T}$ и в качестве интегрального показателя материальных затрат в i -ом случае целесообразно использовать показатель $\mathbf{d}_i = \mathbf{c}_E \cdot \mathbf{E}_i \cdot \mathbf{c}_V \cdot \mathbf{V}_i \cdot \mathbf{c}_T \cdot \mathbf{T}_i$, т.е. произведение затрат \mathbf{E} , \mathbf{V} , \mathbf{T} с учетом весовых коэффициентов \mathbf{c}_E , \mathbf{c}_V , \mathbf{c}_T , а также различные функции и функционалы от \mathbf{d}_i . Минимизация \mathbf{d}_i при

модернизации осуществляется с учетом имеющихся ограничений по ресурсам: $E_i \leq E_{\text{доп}}$, $V_i \leq V_{\text{доп}}$, $T_i \leq T_{\text{доп}}$ и требованиям по эффективности $\mathcal{E}_i \geq \mathcal{E}_{\text{min}}$. Цель модернизации - пороговый переход (с минимальными затратами ресурсов) на новый, более эффективный уровень производства, соответствующий запросам внешней среды.

Из принципа динамического восприятия следует *принцип приоритета крутизны* (в пространстве-времени) при восприятии живыми системами внешних сигналов. Чем «круче» (в пространстве-времени) сигнал, тем более он информационно насыщен («крутые» сигналы имеют более широкий спектр, чем «пологие») и тем большее влияние на воспринимающего он оказывает. Восприятие живым организмом сигналов внешнего мира в соответствии с принципом приоритета крутизны – условие выживания сложной системы в мире естественного отбора. Точно так же в мире бизнеса выигрывает тот, кто, как говорят, быстрее и точнее отреагирует на внешние изменения.

Для обеспечения реализации этих принципов модернизуемые системы должны отвечать ряду определенных принципов-условий [7]. Прежде всего, условию *пластичности* (гибкости) как способности к реструктуризации, что обеспечивает многовариантность достижения цели посредством весового задействования различных структур из частично или полностью функционально заменяемых различных элементов. Пластичность связана с условием *виртуальности* (как возможности несуществующего при его пространственно-временной ограниченности), обеспечивающем выполнение общего принципа единства структуры и функции в том смысле, что длительность существования структуры не должна превышать длительности надобности в ее функциях. Последовательное во времени (и параллельное в пространстве) решение задач функционирования позволяет направить на решение текущей задачи основные «силы» системы и обеспечивает использование одних и тех же элементов в различных структурах системы. Вместе с пластичностью виртуальность позволяет из небольшого количества элементов последовательно формировать большое количество структур системы в течение ее жизни. В системе, обладающей свойством виртуальности и пластичности, существует множество управляемых потенциальных связей между ее элементами, выборочная активизация которых (например, путем подачи разрешающих потенциалов на соответствующие ключи) с определенными весами обеспечивает создание целесообразных временных структур. Тем самым появляются предпосылки к устранению «тирании и кошмара межсоединений» сложных систем. Виртуальная пластичность обеспечивает также блочный принцип построения систем, различные пространственно-временные блокировки, распад аварийных структур, «плавающую» иерархичность и т.д.

Условие *минимальности* реализуется в различных вариациях принципа наименьшего действия. Из возможных путей достижения цели природа выбирает наиболее экономичные - те, за которые надо

меньше платить энергией, временем, пространством. Из некоторого множества процессов, в ходе каждого из которых решается одна и та же задача, более качественен тот, чья цена минимальна, т.е. который реализуется в минимальном объеме, за минимальное время и с минимальными затратами энергии [3]. Эта аксиома непосредственно связана с аксиомой ортогонального проектирования, указывая на целесообразность выбора наиболее экономичного базиса обобщенного ряда Фурье. Очевидно, что одну и ту же цену можно получить при различных значениях затрачиваемых энергии, времени, пространства, что разрешает многовариантность поведения для достижения цели. Кроме миниатюризации средств обработки информации следствием использования принципа минимальности являются: сокращение количества и длительности этапов переработки информации, существенное сжатие информации в процессе ее продвижения к «главному иерарху», оптимизация количества иерархических уровней, уменьшение потребляемой энергии и ее более качественное использование, минимизацию количества типов элементов (унификацию), их достаточную избыточность и др.

Условие *рефлексии* с вытекающей из нее способностью к *предвидению* обеспечивает накопление *опыта* на основе самоанализа поведения за счет наличия обратных связей между управляющими и управляемыми органами. При этом текущие результаты выполняемого действия включаются в новую информацию, используемую в последующем поведении. Рефлексия позволяет устранять часть неопределенности в исходной системе управления посредством формирования *дополнительных контуров управления*, в которых объектом управления является исходная система управления. Так формируются многоконтурные адаптивные системы управления. При этом предвидение (опережающее восприятие по Анохину П.К. [9]) основывается на прошлом опыте, позволяя не только «увидеть», но и сознательно формировать будущее (управлять – значит предвидеть).

Из вышеизложенного следует особая роль *динамического восприятия действительности*, которое можно реализовать при использовании соответствующего информационно-базисному подходу *метода динамической обработки информации* [7], рассматриваемого не только применительно к измерениям физических величин, но и любых других, способных оказывать действие, сигналов в динамических системах, а также к любому процессу формирования управляющего воздействия из базисных элементов-действий путем их весового суммирования.

Для полноты анализа рассуждения проведем применительно к измерениям. Любое измерение (как метрологическое восприятие конкретных состояний того или иного объекта) представляется совокупностью двух отображений: отображения множества $\{q_{ji}\}$ текущих состояний измеряемой

величины $Q_j(t)$ в множество $\{x_{ji}\}$ состояний (ощущений) ее воспринимающего чувствительного элемента (ЧЭ), т.е. $f_{pj} : \{q_{ji}\} \rightarrow \{x_{ji}\}$, и отображения $f_{vj} : \{x_{ji}\} \rightarrow \{q_{ji}^*\}$, в результате которого получают множество оценок (образов) $\{q_{ji}^*\}$ состояний (прообразов) $\{q_{ji}\}$, где f_{pj} и f_{vj} функции. При этом для приобретения множеством $Q_j^* = \{q_{ji}^*\}$ свойства полезности в реальном мире целесообразного поведения на нем задают отношение порядка $\langle C_j, Q_j^* \rangle$, $C_j \subseteq Q_j^* \times Q_j^* \times Q_j^* \times \dots$, метрику $\rho_j(q_{jm}^*, q_{jn}^*) \in P$, например, обычную $\rho_j(q_{jm}^*, q_{jn}^*) = |q_{jm}^* - q_{jn}^*|$, и специальную, задаваемую по соглашению, единицу измерения $\alpha_j \in A$. Тогда отношение $R_A \subset Q \times P \times A$, ставящее каждой j -ой ФВ $Q_j = \{q_{ji}\}$ свою метрику ρ_j из множества метрик $P = \{\rho_j\}$ и единицу измерения α_j из множества единиц измерения $A = \{\alpha_j\}$, можно рассматривать в качестве *метрологического пространства*. Получение отображений

$$Q_j = \{q_{ji}\} \rightarrow Q_j^* = \{q_{ji}^*\}, \quad q_{ji} \rightarrow q_{ji}^* \quad (2)$$

составляет сущность измерительного процесса и единичного измерения соответственно. При этом результат измерения q_{ji}^* минимизирует $\rho(q_{ji}, q_{ji}^*)$, т.е. $q_{ji}^* = \arg \min \rho(q_{ji}, q_{ji}^*)$.

Средство измерения (СИ), формирующее образ измеряемого сигнала (ФОС), приведено на рис. 2, где: ФПО – формирователь первичного образа измеряемого сигнала, ФОО – формирователь образа оценки измеряемого сигнала.

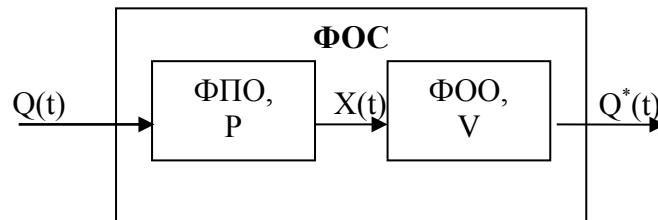


Рис. 2. Средство измерений как формирователь образа сигнала.

Модель измерения можно описать следующим образом:

$$X(t) = P[Q(t)] + v(t), \quad Q^*(t) = V[X(t)] + \mu(t), \quad Q(t) \in L_2(t), \quad 0 \leq t \leq \tau_u, \quad Q_A(t) = A[Q(t)],$$

$$\|Q(t) - Q_A\|^2 = 0, \quad \rho(V, A) = M \|Q^*(t) - Q_A(t)\|^2, \quad \|Q^*(t) - Q_A(t)\|^2 = \int [Q^*(t) - Q_A(t)]^2 dt, \quad (3)$$

где: P, V – прямой и обратный операторы СИ, A – суммарный оператор преобразования идеального СИ, $v(t)$ и $\mu(t)$ – шумы.

При реализации традиционного *метода статических измерений* (МСИ) измеряемый параметр $Q(t)$ представляется в виде множества квантованных значений, взятых в i -ые моменты времени в соответствии с теоремой отсчетов, т.е.:

$$\begin{aligned}
Q(t) &\leftrightarrow Q = \{q_i\}, q_i = q_i(t_i), t \in \tau_u, i = [1, I], t_i = ih_Q, I = \tau_u / h_Q, h_Q = 1/(2f_Q), \\
X(t) &\leftrightarrow X = \{x_i\}, x_i = x(t_i), Q^*(t) \leftrightarrow Q^* = \{q_i^*\}, P = f_P : Q \rightarrow X, V = f_V : X \rightarrow Q^*, \\
q_i &\xrightarrow{f_P} x_i \xrightarrow{f_V} q_i^*. \text{ Если } \nu(t) = 0 \text{ и } \mu(t) = 0, \text{ то } f_P = f, f_V = f^{-1}, q_i^* = q_i, \quad (4)
\end{aligned}$$

на основании которых при необходимости осуществляется формирование аналитического образа всего сигнала с использованием известных методов интерполяции. Принципиальным является использование установившегося состояния чувствительного элемента (f_P, f_V -функции) при допущении о постоянстве измеряемой величины в каждом цикле измерений.

При реализации же *метода динамических измерений* (МДИ) используется полная модель средства измерений. При этом в общем случае формируются не «точечные», а протяженные (локально- или глобально) во времени аналитические образы измеряемой величины:

$$\begin{aligned}
Q(t) &\leftrightarrow \Delta Q = \{\Delta Q_K\}, \Delta Q_K = Q(\Delta t_K) \subset Q(t) \times \Delta t_K, t \in \tau_u, \Delta t_K = t_{K+1} - t_K = nh_x, \\
t_K &= kh_x, h_x = 1/(2f_x), n > N. \text{ Т.к. } f_x < f_Q, \text{ то } h_x > h_Q, X(t) \leftrightarrow X = \{x_j\}, x_j = x(t_j), j = [1, J], \\
J &= \tau_u / h_x, J < I, Q^*(t) \leftrightarrow \Delta Q^* = \{\Delta Q_K^*\}, \Delta Q_K^* \subset Q^*(t) \times \Delta t_K, P = \{P_K\}, \Delta X_K = X \times \Delta t_K, V = \{V_K\}, \\
V_K &: \Delta X_K \rightarrow \Delta Q_K^*, Q(t) \times \Delta t_K \xrightarrow{P_K} X \times \Delta t_K \xrightarrow{V_K} Q^*(t) \times \Delta t_K, \Delta Q_K^* \times t_i = Q(t_i)^* = q_i^* \quad (5)
\end{aligned}$$

Принципиальным является полезное использование переходного процесса, изменение во времени измеряемой величины и получение оценки ее аналитического образа (P_K, V_K - операторы) на интересующем временном интервале на основе анализа процесса изменения состояний ЧЭ на этом же интервале времени. При реализации динамических измерений «точечные» оценки (в том числе и для постоянных величин $Q(t) \times \Delta t_K = q_0$) представляют собой *функционалы* (в отличие от *функций* при реализации статических измерений). При этом оператор V_K обеспечивает невлияние на результат измерения начальных условий $X_{0k}^{(m)}$, определяемых ΔQ_{k-1} .

Следовательно: 1. Алгоритмы МДИ являются универсальными, «работающими» автоматически как в переходном процессе, так и при установившемся состоянии ЧЭ СИ. При этом не надо знать, закончился или нет переходный процесс. В МДИ в общем случае оценивается функция, а не точечное значение, а любое точечное значение формируется как функционал. Поэтому МСИ - упрощенная разновидность МДИ. 2. МДИ разрешает принципиальные ограничения МСИ, связанные с невысоким быстродействием, ограниченным частотным диапазоном, уходом «нуля». 3. Использование в МДИ пространства-времени (в МСИ используется только пространство) открывает возможности для алгоритмической фильтрации, учитывающей априорную информацию о законах изменения полезного сигнала и помех. 4. Перенос требования теоремы отсчетов с $Q(t)$ на $X(t)$ поз-

воляет уменьшить требуемую частоту дискретизации вследствие меньшей ширины спектра $X(t)$ по сравнению с $Q(t)$. 5. Аналитическое описание образа измеряемого параметра ЭВ позволяет уменьшить погрешности дальнейших преобразований.

На рис. 3 приведена концептуальная структура адаптивного СИ динамических процессов. Адаптация обеспечивается применением алгоритмов, инвариантных к переходным процессам в «первичном измерительном преобразователе». Сведения о текущей модели СИ уточняются с помощью системы текущей идентификации. Точечная оценка q_i^* измеряемой величины включена в качестве составляющей в оценку локального образа $Q_k^* = Q^*(\Delta t_k), t_i \in \Delta t_k$, соответствующего длительности Δt_k текущего цикла измерений. По окончании импульса измеряемой величины формируется его глобальный, соответствующий длительности τ_u всего импульса $Q(t)$, образ $Q^*(t), t \in \tau_u$. Знание производных позволяет прогнозировать дальнейшее изменение измеряемого сигнала, идентифицировать его форму для выбора наиболее подходящего базиса, использовать оптимальное по быстродействию позиционно-дифференциальное регулирование [7].

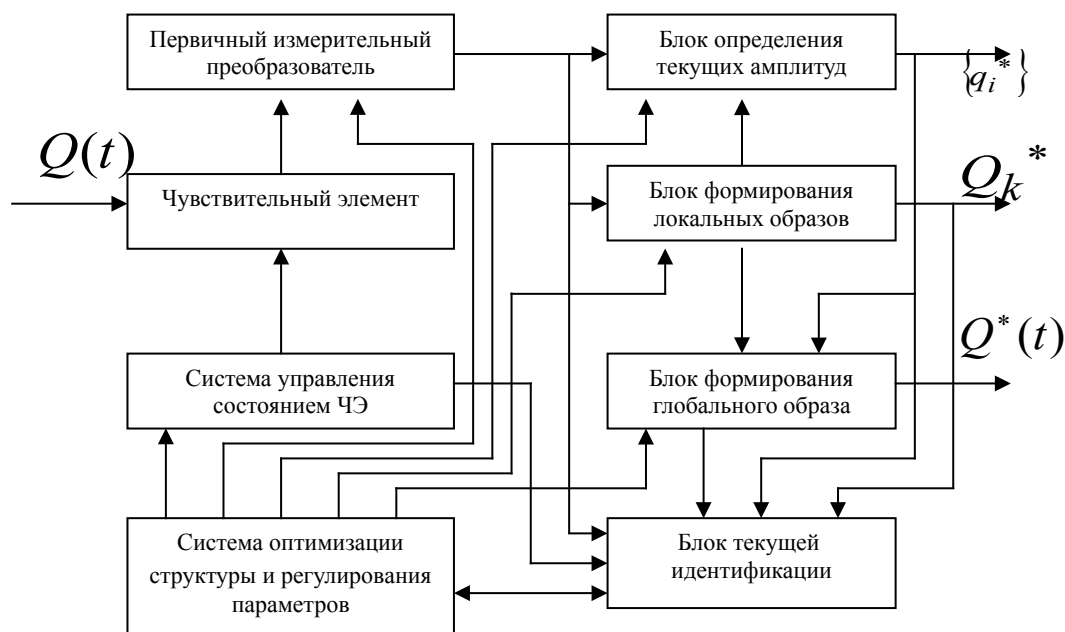


Рис. 3. Структура средства динамической обработки информации.

Для формирования *локальных аналитических образов* на небольших временных интервалах вблизи точки $t_0 = 0$ целесообразно использовать *многочлен Тейлора*, когда измеряемый сигнал

$$Q(t) = S(t) \text{ представляют в виде } Q(t) = Q(0) + \sum_{m=1}^{M_i} \frac{Q^{(m)}(0)}{m!} t^m = q_0 + \sum_{m=1}^{M_i} \frac{q_0^m(t_0)}{m!} t^m .$$

Тогда уравнение состояния ЧЭ СИ при реализации МДИ в i -ом цикле можно представить в виде обыкновенного линейного неоднородного дифференциального уравнения N -ого порядка ($q_0^{(m)}$ - значение m -ой производной от измеряемого сигнала $Q(t)$ в момент времени $t_0=0$)

$$\sum_{n=0}^N k_{x_n} \cdot x^{(n)}(t) = \sum_{m=0}^{M_i} \frac{1}{m!} \cdot q_0^{(m)} \cdot t^m, \quad t = [t_i, t_i + \Delta t_i], \quad (6)$$

решение которого имеет вид

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} p_{x_n}(t) \cdot x_{0i}^{(n)} + \sum_{m=0}^{M_i} p_{q_m} \cdot t^{m+N} \cdot q_{0i}^{(m)}, \quad (7)$$

где $p_{x_n}(t) = f(k_{x_l}, t)$, $l = [0, N-1]$, $p_{q_m} = 1/[m!(m+1)(m+2)\dots(m+N)]$. Составляя систему из $L_i = N + M_i + 1$ (количество неизвестных: $x_{0i}^{(0)}, x_{0i}^{(1)}, \dots, x_{0i}^{(N-1)}, q_{0i}^{(0)}, q_{0i}^{(1)}, \dots, q_{0i}^{(M)}$) уравнений и решая ее, находят оценки искомым неизвестных по алгоритму

$$q_{0i}^{*(m)} = \sum_{j=1}^{L_i} k_{mj} \cdot G_{ij}. \quad (8)$$

Для формирования же *глобального аналитического образа* измеряемого сигнала можно непосредственно использовать идею ортогонального проектирования, представляя правую часть уравнения состояния ЧЭ в виде ортогонального ряда

$$\sum_{n=1}^N k_n \cdot x^{(n)} = \sum_{i=0}^I c_i p_i(t). \quad (9)$$

Поскольку $p_i(t)$ есть алгебраические полиномы, то решение (9) можно найти в явном виде

$$x(t) = k_{x_0} \cdot x_0 + k_{\dot{x}_0} \cdot \dot{x}_0 + \sum_{i=0}^I \int_0^t dt \int_0^t c_i p_i(t) dt = k_{x_0} \cdot x_0 + k_{\dot{x}_0} \cdot \dot{x}_0 + c_0 \int_0^t dt \int_0^t p_0(t) dt + \\ + c_1 \int_0^t dt \int_0^t p_1(t) dt + c_2 \int_0^t dt \int_0^t p_2(t) dt + \dots + c_I \int_0^t dt \int_0^t p_I(t) dt = k_{x_0} \cdot x_0 + k_{\dot{x}_0} \cdot \dot{x}_0 + \sum_{i=0}^I k_{c_i} \cdot c_i, \quad (10)$$

где $k_{c_i} = \int_0^t dt \int_0^t p_i(t) dt$. Составляя систему из $L = N + I + 1$ уравнений

$$x_l = k_{x_0} \cdot x_0 + k_{\dot{x}_0} \cdot \dot{x}_0 + k_{c_0} \cdot c_0 + k_{c_1} \cdot c_1 + \dots + k_{c_l} \cdot c_l, \quad l = [1, L] \quad (11)$$

и решая ее, можно найти искомые коэффициенты c_i , множество $\{c_i\}$, $i = [0, I]$ которых описывает измеряемый сигнал $S(t)$ применительно к выбранному базису $\{p_i(t)\}$. Для финитных сигналов целесообразно использовать базис из ортонормированных модифицированных функций Лагерра вида

$$p_i(t) = \sqrt{m} \cdot e^{-\frac{mt}{2}} \sum_{k=0}^i \frac{i!(-mt)^k}{(i-k)!(k!)^2} [7].$$

Исследованы возможности представления импульсных сигналов различной формы с использованием функций Лагерра на основе математического моделирования. Шаг дискретизации выби-

рался, исходя из обеспечения погрешности интегрирования по формуле центральных прямоугольников не более 10^{-3} . Критерии приближения: *энергетический* $\gamma = (E_s - \sum_i c_i^2) / E_s$, где $E_s = \int_{\tau_u} S(t)^2 dt$ - энергия сигнала (определялась также численными методами) и *среднеквадратический* $\gamma = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [S(t_j) - S(t_j)^*]^2$, где $S(t_j)$ и $S(t_j)^*$ - реальные и вычисленные значения исследуемого сигнала в j -ой точке. Моделирование показало возможность представления рассматриваемых сигналов с погрешностью не более 0,01 % при малом (до десяти) количестве членов разложения.

Список литературы

1. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: эволюция, психология, информатика. – М.: Машиностроение, 1990. 448 с.
 2. Меньков А.В., Острейковский В.А. Теоретические основы автоматизированного управления. – М.: Издательство «Оникс», 2005. 640 с.
 3. Бугаков И. А. Информация: появление, существование и восприятие. // «Датчики и Системы», часть 1: 2001, № 2, С. 41...47; часть 2: 2001, № 3, С. 61...68.
 4. Зеер Э.Ф., Павлова А.М., Сыманюк Э.Э. Модернизация профессионального образования: компетентностный подход. – М.: МПСИ, 2005. 216 с.
 5. Бугаков И.А., Кот А.В., Царьков А.Н. Концепция интегрированного образования. // «Высшее образование в России», 2004, № 12, С. 124...129.
 6. Дедус Ф. Ф., Махортых С. А., Устинин М. Н., Дедус А. Ф. Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. Задачи анализа изображений и распознавания образов. - М.: Машиностроение, 1986. 440 с.
 7. Бугаков И.А. Система принципов построения сложных технических систем и их элементов, подвергающихся экстремальным воздействиям в процессе функционирования, на основе антропологического подхода.// «Датчики и Системы», 2000 г., №10, С. 67...71.
 8. Бугаков И.А. Информационно-синергетический подход к сознанию как основа для создания искусственного интеллекта. // В кн. «Новое в искусственном интеллекте. Под ред. Д.И. Дубровского и В.А. Лекторского. – М.: ИИнтелЛЛ, 2005. 280 с., С. 36...39.
 9. Анохин П.К. Теория функциональной системы.// «Успехи физиологических наук», 1970, том 1, № 1.
-

Сведения об авторе

Ломтев Станислав Александрович, преподаватель учебного подразделения МАИ «Обучение студентов в г. Серпухове»