

В.А.Колесников, В.М.Юров, Ж.Т.Исмаилов

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова,
(E-mail: kolesnikov.vladimir@gmail.com)

Технологическая наследственность информационно-измерительных систем

В работе обсуждаются вопросы технологической наследственности и врожденной способности информационно-измерительных систем. В рамках неравновесной термодинамики получена формула для врожденной способности информационно-измерительных систем. Полученное уравнение позволяет экспериментально определять врожденную способность системы, а также является математическим выражением известного закона Мура. Однако в отличие от обычных интерпретаций закона Мура уравнение содержит врожденную способность, что является существенным фактом. Рассмотрены вопросы жизненного цикла информационно-измерительных систем и их прогнозируемые ресурсы с использованием общих законов термодинамики.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, технологическая наследственность, врожденная способность, функция отклика, термодинамика.

Введение

В практике мирового приборостроения, создания информационно-измерительных систем (ИИС), машиностроения и других областей происходит постоянное ужесточение требований к качеству изделий, резко увеличиваются быстродействие, точность и другие показатели, которые, в конечном счете, определяют экономику соответствующих отраслей промышленности [1, 2].

Качество изделий в общем виде представляет собой совокупность свойств и показателей, которые определяют пригодность для удовлетворения потребностей в соответствии с их назначением. Определяется качество очень большим числом факторов, и на разных этапах развития приборостроения качественные показатели существенно различаются.

Погрешности при изготовлении датчиков, при сборке прибора, ИИС и т.д. возникают всегда. Изделий без отклонений от номинального значения показателя качества не бывает. Однако любое отклонение должно находиться в допустимых пределах – допусках. В технологии приборостроения важно не только определить количественно данное отклонение, но и установить, почему оно возникло, как это отклонение формировалось на протяжении всего технологического процесса. Информация об истории возникновения каждого отклонения важна потому, что с ее помощью можно влиять на величину отклонения и тем самым повысить показатели качества. Поэтому, например, в процессе создания ИИС, начиная с выбора датчика, процессора и т.д., возникает необходимость рассмотрения производственного процесса создания ИИС во времени. При этом появляется и понятие о технологической наследственности.

Технологическим наследованием называют явление переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим [3, 4]. Эти свойства могут быть как полезными, так и вредными. Сохранение же этих свойств у объектов называют технологической наследственностью. Такие термины являются достаточно емкими. С их помощью и соответствующих методик можно проследить за состоянием объекта производства в любой момент времени с учетом всех предшествующих технологических воздействий. В процессе передачи свойств важную роль играет так называемая наследственная информация. Она заключается в материале и структуре датчиков, используемых при построении ИИС, радиодеталей и т.д. Информация представляет собой большой перечень показателей качества.

Теория и методология технологической наследственности наиболее развита в машиностроении [2, 3].

В экономике употребляется термин «врожденная способность» экономической системы. Количественные изменения могут приводить к изменению одних качеств, в то время как другие могут оставаться неизменными. Качества претерпевают изменения не одновременно, причем одни чаще, другие реже, а третьи сохраняются на протяжении периода существования объекта. Последнее качество объекта определяется его врожденной способностью [5]. Сравнивая это определение с приведенным выше, видим, что они отражают суть одного и того же явления.

Изучение явлений технологической наследственности способствует повышению надежности работы реальных приборов и систем, так как позволяет установить причины явлений и условия регулирования параметров технологических процессов, в ходе которых формируются свойства этих приборов и систем.

Однако экспериментальное исследование всех стадий технологического процесса разработки и создания ИИС, как, впрочем, и любой детали в машиностроении и других областях, требует большого времени и затрат. В связи с этим стало развиваться компьютерное моделирование и проектирование [6, 7], которые также пока обладают высокой стоимостью. В настоящее время за рубежом, в частности в США, стоимость работ по автоматизации проектирования составляет более 1/3 стоимости разработки больших проектов [8], что свидетельствует о сложности и дороговизне автоматизированного проектирования. Поэтому разработка простых, но обладающих достаточной общностью аналитических моделей надолго еще останется основой исследовательской деятельности, тем более, что для компьютерного моделирования все равно необходима какая-либо математическая модель того или иного процесса [9].

В настоящей работе сделана попытка построения модели врожденной наследственности информационно-измерительных систем (ИИС).

Некоторые вопросы моделирования ИИС

Говоря о технологической наследственности в общем виде, необходимо отметить, что любой объект производственного процесса находится в многообразных связях и взаимодействиях с окружающими его объектами, участвует одновременно в нескольких формах движения. Поэтому всякое состояние объекта представляет собой совокупность условий, в которых это состояние формировалось.

В классических представлениях о природных процессах, их характеристиках считается, что состояние процесса в данный момент времени не зависит от его состояния (характеристик) в какие-либо другие моменты времени. Однако в конце XIX в. было установлено, что среда, действовавшая на объект ранее, оставляет в нем соответствующий след. В. Вольтерра сформулировал это как «эффект последствия», согласно которому состояние объекта определяется не только теми силами, которые действуют на него в данный момент времени, но и историей воздействия сил, имевших место в прошлом [10]. После этого в прикладной математике широко распространилось использование уравнений с последствием, именуемых также функционально-дифференциальными уравнениями, дифференциально-разностными уравнениями, дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом и т.д. [11–16]. Уравнениями такого вида моделируют различные процессы в технике, физике, медицине, экологии и т. д. В частности, уравнения с последствием встречаются в авиационно-космической отрасли. Они используются при моделировании численности популяций и населения нашей планеты.

В общем случае информационно-измерительная система является многосвязной, с меняющимися регулярно или случайным образом параметрами. Работа такой системы может быть описана системой стохастических нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, например, в виде

$$dy_i/dt = \psi_i(y_1, y_2, \dots, y_n; t; u_1, u_2, \dots, u_m; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \quad (1)$$

где $(u_1, u_2, \dots, u_m) = \vec{u}$ — вектор внешних воздействий; $(y_1, y_2, \dots, y_n) = \vec{y}$ — вектор реакций; $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \vec{\lambda}$ — вектор параметров системы; $(1, \dots, n)$.

Задача аналитического исследования информационно-измерительных систем весьма сложна при полном их описании и может быть доведена до конца лишь в простейших случаях. Поэтому при аналитическом методе решения ее сразу же стремятся ограничить изучением по возможности упрощенных моделей системы [17].

Одним из способов упрощения математического описания является оценка точности стохастической системы по одной реализации, т.е. фактический переход к анализу детерминированной системы. Следующим шагом является замораживание переменных параметров, т.е. сведение нестационарной задачи к стационарной. Последнее допустимо лишь при медленном изменении параметров по сравнению со скоростью переходных процессов в системе. Однако при этих упрощениях система остается

в классе нелинейных, и все трудности, связанные с аналитическим исследованием нелинейных систем, сохраняются.

Для расширения возможностей аналитических методов применяются различные методы линеаризации — метод малых возмущений, гармонический, статистический, кусочно-линейная аппроксимация и др. Комбинированное применение методов линеаризации и замораживания коэффициентов позволяет свести задачу исследования нелинейной нестационарной системы к изучению ее математической модели, описываемой линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. В результате аналитического исследования часто удается получить решение уравнения (1), однако оно оказывается настолько сложным и громоздким, что проследить по нему зависимость показателя качества от параметров системы и изменения условий ее работы не представляется возможным.

В этих случаях довольствуются численным решением, т.е. находят значение показателя точности для какой-либо одной или ограниченного числа ситуаций. Применение ЭВМ в этом случае ограничивается реализацией программы вычисления показателя точности по заданной формуле. Этот способ аналитического исследования систем с применением ЭВМ получил название формульного метода анализа. Метод широко применяется в практике исследования радиосистем. Исследование вероятностных систем также можно проводить аналитическим и численным методами. В первом случае в результате применения теории марковских процессов возможно вычисление плотности вероятностей $W(\Delta)$ ошибки системы путем решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова. Однако из-за математических трудностей возможности этого метода пока исчерпываются исследованием моделей систем, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями до второго порядка [18]. Сочетание теории марковских процессов и теории пространства состояний позволяет решать задачи анализа систем, описываемых стохастическими дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами. Успешно этот метод реализуется с применением ЭВМ.

Разработанные методы аналитического исследования нестационарных систем, описываемых линейными стохастическими дифференциальными уравнениями, основаны на непосредственном использовании формул, связывающих статистические характеристики входного и выходного случайных процессов [19]. Так, например, математическое ожидание реакции $y(t)$ линейной системы

$$m_u(t_1) = \int_0^{t_1} m_u(\tau) g(t_1, \tau) d\tau, \quad (2)$$

где $m_u(t_1)$ — математическое ожидание входного процесса; $g(t_1, \tau)$ — импульсная реакция системы (по одному из выходов) при единичном скачке на одном из входов. Связь между корреляционными функциями входного и выходного процессов в общем случае устанавливается преобразованиями Винера-Ли [20]:

$$\begin{aligned} R_{yy}(t_1, t_2) &= \int_0^\infty g(t_2, \mu) R_{yy}(t_1, \mu) d\mu, \\ R_{uu}(t_1, t_2) &= \int_0^\infty g(t_2, \tau) R_{yu}(t_1, \tau) d\tau, \end{aligned} \quad (3)$$

где $R_{uu}(t_1, t_2)$, $R_{yy}(t_1, t_2)$ — автокорреляционные функции процессов на входе и на выходе системы соответственно; $R_{yy}(t_1, t_2)$, $R_{yu}(t_1, t_2)$ — взаимные корреляционные функции процессов на входе и на выходе.

Приведенные соотношения можно использовать для теоретической оценки точности систем как без применения, так и с применением ЭВМ. В последнем случае необходимо воспользоваться формульным методом или располагать численными алгоритмами решения интегральных уравнений вида (3).

Модель врожденной способности ИИС

В работах [21, 22] в рамках неравновесной термодинамики нами была получена формула для функции Φ отклика произвольной системы на внешнее воздействие. Разлагая экспоненту в знаменателе Φ (см. [21, 22]) в ряд и пренебрегая малыми членами, в линейном приближении нетрудно получить, полагая $\Phi = \mathcal{E}$ — эффективность ИИС:

$$\mathcal{E} = \varepsilon \ln W, \quad (4)$$

где ε — параметр модели; W — характеризует объем ресурсов ИИС, который пропорционален объему памяти ИИС, чувствительности сенсоров и ряду других параметров, о которых речь пойдет ниже.

В начальный момент образования системы $W = \varepsilon$, так что

$$\mathcal{E}_\varepsilon = \varepsilon \ln \varepsilon. \quad (5)$$

Полученное выражение и есть врожденная способность ИИС.

Обратимся к выражению (4) и сделаем несколько замечаний. Если врожденная способность ИИС ($\sim \varepsilon$) мала, то увеличение ресурсов W за счет модернизации ИИС незначительно изменит ее эффективность. Это связано с логарифмической зависимостью \mathcal{E} от W . Например, увеличение ресурсов ИИС в 100 раз приводит к изменению \mathcal{E} всего лишь в ~ 5 раз. Такие ИИС должны быть либо существенно реконструированы, либо ликвидированы.

Полученное уравнение позволяет экспериментально определять врожденную способность ИИС. Если в качестве эффективности ИИС взять отношение выходной сигнал / входной сигнал, то можно определить $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots$ по заданным W_1, W_2, \dots и, тем самым, врожденную способность ИИС. Таким образом, можно проводить анализ ИИС с точки их технической состоятельности и экономической перспективности.

Эффективность ИИС определим как отношение времени ее развития t к периоду ее существования T , тогда из уравнения (4) для временной зависимости W получим:

$$W = W_0 \exp\left(\frac{t}{\varepsilon T}\right), \quad (6)$$

где $W_0 = \varepsilon \ln \varepsilon$.

Закон Мура

В 1960-е гг., в самом начале информационной революции, Гордон Мур, впоследствии один из основателей корпорации Intel, обратил внимание на интересную закономерность в развитии компьютеров. Он заметил, что объем компьютерной памяти удваивается примерно каждые два года. Эта закономерность стала своего рода эмпирическим правилом в компьютерной промышленности, и вскоре оказалось, что не только память, но и каждый показатель производительности компьютера — размер микросхем, скорость процессора и т.д. — подчиняется этому правилу [23].

Закон Мура — это эмпирическое наблюдение, первоначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца.

Кроме предсказания экспоненциального роста плотности размещения транзисторов, Мур сделал и другой важный и на первый взгляд парадоксальный вывод. Сокращение размеров транзисторов должно неизбежно привести к тому, что интегральные микросхемы на их основе будут все дешевле, мощнее и доступнее. Из этого следовало, что изменится электронная отрасль в целом.

Основной характеристикой ИИС является объем памяти процессора, пропорциональное ее ресурсам, так что уравнение (6) является математическим выражением закона Мура. Однако в отличие от обычных интерпретаций закона Мура наше уравнение содержит врожденную способность, что является существенным фактом. Дело в том, что экспоненциальная зависимость типа (6) характерна для многих процессов в природе и обществе, далеких от микроэлектроники, но врожденная способность системы присутствует всегда.

В 2007 г. Мур заявил, что закон, очевидно, скоро перестанет действовать из-за атомарной природы вещества и ограничения скорости света. Одним из физических ограничений на миниатюризацию электронных схем является также принцип Ландауэра, согласно которому логические схемы, не являющиеся обратимыми, должны выделять теплоту в количестве, пропорциональном количеству стираемых (безвозвратно потерянных) данных. Возможности по отводу теплоты физически ограничены [24].

Ограниченность закона Мура естественно вытекает из соотношения (6). При $t = T$ экспоненциальная зависимость переходит в $W = \text{const}$. Графически это выглядит так, как показано на рисунке 1.

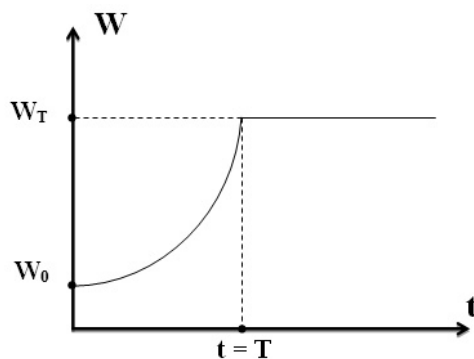


Рисунок 1. Временная зависимость объема памяти процессора ИИС

Следует заметить, что закон Мура (в интерпретации Гордона Мура) не выполняется с такой точностью, чтобы назвать его законом или даже эмпирической закономерностью. Возможно, что шумиха вокруг закона Мура — это ловкий маркетинговый ход корпорации Intel. Тем не менее закон Мура, как и подобные ему «экспоненциальные законы», отражает некоторые общие тенденции развития науки, технологий, человеческого общества и т.д.

Пожалуй, исторически первым человеком, который обратил внимание на тенденцию ускоряющегося развития науки и техники, человеческих знаний и т.д., был Ф.Энгельс [25]. Он отмечал, что наука движется вперед пропорционально массе знаний, унаследованных ею от предшествующего поколения. По его мнению, со времени своего возникновения (XVI–XVII вв.) развитие наук усиливалось пропорционально квадрату расстояния (во времени) от своего исходного пункта. Близкие идеи высказывал В.И. Вернадский [26]. По мнению некоторых современных исследователей, имеет место «экспоненциальный закон развития науки», проявляющийся в соответствующем увеличении числа научных работников, научных организаций, публикаций и других показателей [27, 28]. Это мнение соответствует нашему уравнению (6).

Жизненный цикл и живучесть ИИС

Понятие жизненного цикла является одним из базовых понятий методологии проектирования ИИС [29]. Жизненный цикл ИИС представляет собой непрерывный процесс, начинающийся с момента принятия решения о создании ИИС и заканчивается в момент полного изъятия ее из эксплуатации.

Стандарт ISO/IEC 12207 определяет структуру жизненного цикла, содержащую процессы, действия и задачи, которые должны быть выполнены во время создания ИИС. Согласно данному стандарту структура жизненного цикла основывается на трех группах процессов:

- основные процессы жизненного цикла (приобретение, поставка, разработка, эксплуатация, сопровождение);
- вспомогательные процессы, обеспечивающие выполнение основных процессов (документирование, управление конфигурацией, обеспечение качества, верификация, аттестация, оценка, аудит, разрешение проблем);
- организационные процессы (управление проектами, создание инфраструктуры проекта, определение, оценка и улучшение самого жизненного цикла, обучение).

Среди основных процессов жизненного цикла наибольшую важность представляют разработка, эксплуатация и сопровождение. Каждый процесс характеризуется определенными задачами и методами их решения, исходными данными; полученными на предыдущем этапе, и результатами.

ИИС — это комплекс измерительных устройств, обеспечивающих одновременное получение человеком-оператором или ЭВМ необходимой информации о свойствах и состоянии какого-либо объекта [29]. Структурная схема любой ИИС может быть представлена так, как это показано на рисунке 1. Датчики воспринимают различные параметры объекта измерения, унифицирующие преобразователи унифицируют и передают по каналам связи сигналы датчиков в единый пункт сбора данных. Программное устройство воспринимает информацию датчиков и передает её получателю информации. По такой схеме строятся практически все ИИС, включая современные системы передачи информации со спутников и автоматических межпланетных станций.

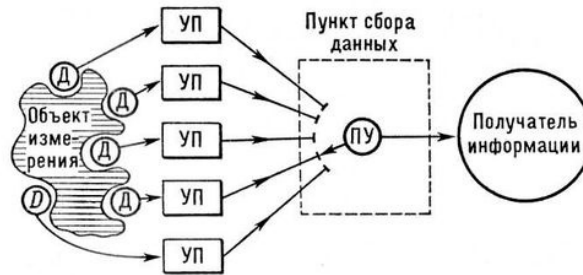


Рисунок 2. Структурная схема информационно-измерительной системы [29]

Выше мы уже отмечали, что при $t = T$ согласно (6) система перестает развиваться. Время T естественно назвать ее жизненным циклом, предельное значение которого равно:

$$W_T = \varepsilon \ln \varepsilon \exp(1/\varepsilon), \quad (7)$$

т.е. полностью определяется врожденной способностью ИИС.

Сделаем теперь следующее замечание. Каждый структурный элемент ИИС, представленный на рисунке 2, имеет свою врожденную способность и жизненный цикл. В этом случае жизненный цикл всей ИИС будет определяться наименьшим значением T структурного элемента ИИС.

Экспериментально жизненный цикл ИИС можно определять по времени отказа того или иного его структурного элемента, используя большой арсенал имеющихся методов определения надежности электронных систем [30].

Еще одним фундаментальным свойством сложных систем, к которым также относятся ИИС, является их живучесть. Под живучестью системы понимают ее способность адаптироваться к новым, непредусмотренным условиям функционирования, противостояния нежелательным влияниям при одновременной реализации основной функции [31]. Живучесть ИИС анализируют и оценивают на различных уровнях их моделирования, проектирования и функционирования. При этом используются теоретико-игровые, вероятностные, графовые, матричные и другие модели. Практически все известные на сегодняшний день методы анализа и оценки живучести информационных систем описаны в работе [31]. Здесь мы изложим свой подход, базируясь на термодинамическом анализе сложных систем, включая ИИС [21, 22, 32].

Основной причиной нарушения работы той или иной системы является наличие диссипативных процессов в системе, возникающих при ее взаимодействии с внешней средой или при взаимодействии составляющих систему элементов. Исключить такие процессы невозможно (невозможность построения вечного двигателя), поэтому на практике стремятся уменьшить их влияние (уменьшение трения и т.п.).

Полученное выражение в работе [32] для к.п.д. ИИС после некоторых преобразований будет иметь вид:

$$\eta = C \cdot \Delta \cdot W \cdot N / E, \quad (8)$$

где $C = \text{const}$, Δ — точность ИИС; W — как и прежде ее ресурсы; N — число каналов связи в ИИС; E — энергоемкость ИИС.

Параметр η с точностью до постоянного множителя будет характеризовать живучесть ИИС. Из уравнения (8) видно, что живучесть ИИС также существенным образом (через W) зависит от врожденной способности или технологической наследственности ИИС.

Прогнозные ресурсы ИИС

Сейчас уже общепринято (см., напр., [31]), что информационные и информационно-измерительные системы относятся к классу коммуникационных систем.

Обобщенное понятие «ресурса» коммуникационной системы впервые было введено Л.И.Розоноэром [33]. В этой работе обмен и распределение ресурса в системе рассматривались как происходящие по законам, аналогичным закону распределения энергии в замкнутой системе механических частиц. Позже понятие «ресурса» коммуникационной системы стали связывать с наличием некоторого множества коммуникаций, соединяющих элементы системы, и с характеристиками этих коммуникаций.

Мы будем называть прогнозными ресурсами ИИС ее «истинное» значение определяющего параметра, в отличие от «ресурсов потребления» или фактических ресурсов, которые сложились при функционировании системы на данный период (или момент) времени. В связи с этим мы введем понятие «концентрации» основной характеристики системы, понимая под этим термином величину этой характеристики в единице «объема» системы. «Объем» системы определяется для конкретной системы (общее количество каналов связи и т.д.).

Если исходить из представлений классической термодинамики, то можно ввести понятие «энергии образования» коммуникационной системы в результате термодинамического цикла (например, цикла Карно) [34].

Тогда формула для определения затрат энергии на термодинамический цикл образования системы будет иметь вид:

$$\Delta F = \alpha T \Delta S = \alpha RT \ln X, \quad (9)$$

где $X = C/C_0$ (для прямого цикла) и $X = C_0/C$ (для обратного цикла); α — число элементов, вовлеченных в процесс образования системы; R — универсальная газовая постоянная; C_0 — начальная и C — конечная концентрации основной характеристики.

Концентрацию основной характеристики сложной системы выразим через равновесную концентрацию C_p . Этот параметр пропорционален к.п.д. цикла, так что полная энергия имеет вид:

$$\Delta F_n = \Delta F / \kappa.п.д. = \alpha RT \ln X / C_p. \quad (10)$$

Для прямого и обратного цикла

$$C_p = \frac{\alpha'}{\sum_i \alpha_i}, \quad C_p = \frac{\alpha''}{\sum_i \alpha_i}, \quad (11)$$

где α' , α'' — количество элементов, вовлеченных в процесс образования системы в прямом и обратном циклах соответственно; $\sum_i \alpha_i$ — общее число элементов, вовлеченных в образование системы.

Очевидно, что в прямом цикле $\alpha = \alpha' X$ и в обратном $\alpha = \alpha'' X$. Подставляя α и C_p в (10), имеем:

$$\Delta F_n = RTX \ln X \sum_i \alpha_i. \quad (12)$$

Не меняя общности рассуждений, положим $\sum_i \alpha_i = 1$, тогда получим:

$$\Delta F_n = X \ln X. \quad (13)$$

Если дифференцированные ресурсы системы в единице «объема» обозначить через W_x , то

$$W_x = \frac{1}{X \ln X}. \quad (14)$$

В работе [34] мы применили методы неравновесной термодинамики к ИИС и получили выражение для функции отклика этой системы на внешнее воздействие с учетом диссипативных процессов. После линеаризации полученного нами выражения функция отклика Φ системы имеет вид:

$$\Phi = \beta \frac{E}{\Delta G^0} \cdot \bar{N}, \quad (15)$$

где E — «емкость» канала связи в системе; \bar{N} — среднее число каналов в системе; ΔG^0 — энергия Гиббса термостата (внешней среды); β — некоторая постоянная теории, величина которой вычисляется для каждой конкретной системы по процедуре, изложенной нами в [34].

Для идеальных процессов $\Delta G^0 = \Delta F_n$ и с учетом (13), (14) и (15) получим

$$W_x = \frac{\beta E \bar{N}}{\Phi}. \quad (16)$$

Если «объем» ИИС мы обозначим через V , то полные ресурсы системы будут равны

$$W = \frac{\beta E \bar{N}}{\Phi} \cdot V. \quad (17)$$

Интуитивно ожидалось, что ресурсы ИИС будут возрастать с увеличением числа каналов связи и канальной емкости системы.

С учетом (6) для функции отклика ИИС из (17) будем иметь

$$\Phi = \beta \varepsilon \ln \varepsilon \cdot E \cdot \bar{N} \cdot V \cdot \exp(-t / \varepsilon T). \quad (18)$$

Таким образом, функция отклика ИИС содержит ее основные параметры (здесь «объем» системы можно принять равным объему памяти процессора) и врожденную способность ИИС.

В простейшем случае в качестве функции отклика можно взять отношение выходного сигнала к входному и воспользоваться автокорреляционными функциями процессов на входе и выходе системы в форме (3) или в любой другой форме.

Заметим, что большая часть параметров в уравнении (18) может быть определена экспериментально, что имеет важное прикладное значение.

Заключение

В современном мире многие системы — информационные, транспортные, производственные, энергетические и другие — попали в разряд сложных систем, анализ которых представляет собой весьма сложную задачу.

Работы по созданию общей теории систем (ОТС) были начаты в начале XX в. А.А.Богдановым [35], а несколько десятков лет спустя — Л. фон Берталанфи [36], которому удалось продвинуться вперед и привлечь к этой проблеме внимание широких кругов мировой научной общественности. Тем не менее он не создал ОТС, поэтому М. Месаровичем [37], О. Ланге [38], У. Росс Эшби [39], А.И.Уемовым [40] и рядом других исследователей были предложены новые варианты ОТС, во многом свободные от недостатков теории Берталанфи. И все же эти варианты оказались недостаточными для системного анализа глубокого единства живой и неживой природы, процессов, происходящих как в науке, так и в обществе.

Попытки создания ОТС шли параллельно с попыткой создания физиками единой теории поля, впервые предпринятой А.Эйнштейном. Но и в этом случае они оказались пока безуспешными. Тем не менее работы по созданию общих теорий значительно продвинули науку в целом, создали предпосылки развитию новых ее направлений. В частности, исследования в области ОТС привели к появлению синергетики — науке об информации и самоорганизации сложных систем.

Возвращаясь к ОТС, отметим, что наиболее успешная ее реализация, на наш взгляд, достигнута Ю.А.Урманцевым [41]. По его мнению, ОТС должна дать в руки исследователей своеобразный перечень того, 1) что должно быть, 2) что может быть, 3) чего быть не может для систем — материальных или идеальных. Построенная так ОТС должна быть способной к 1) обобщениям, 2) предсказаниям, 3) объяснениям, 4) постановке новых вопросов, 5) связям с важнейшими теориями и принципами. Развитию идей Ю.А. Урманцева посвящена работа [42].

В настоящей работе мы сделали акцент на одно из фундаментальных свойств сложных систем — их врожденную способность. Термодинамический подход, который использован нами при этом, является наиболее общим на сегодняшний день.

Работа выполнена по программе МОН РК 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

Список литературы

- 1 Грицай А.В. Экономика предприятий радиоэлектронной промышленности. — Минск: БГУИР, 2006. — 135 с.
- 2 Садовская Т.В. Экономика предприятий радиоэлектронной промышленности. — Минск: БГУИР, 2007. — 152 с.
- 3 Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. — Минск: Наука и техника, 1977. — 248 с.
- 4 Дальский А.М., Базров Б.М., Васильев А.С. и др. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве. — М.: Изд-во МАИ, 2000. — 364 с.
- 5 Дьяченко А.В. Основания теории трансформационной экономики. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2001. — 120 с.
- 6 Ранев Г.Г. Измерительные информационные системы. — М.: Изд-во МГОУ, 2003. — 536 с.
- 7 Ранев Г.Г., Суротина В.А., Калашников В.И. Информационно-измерительная техника и электроника. — М.: Издат. центр «Академия», 2006. — 512 с.

- 8 Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Проектирование информационных систем. — М.: Интернет-университет, 2005. — 345 с.
- 9 Колмановский В.Б. Уравнения с последствием и математическое моделирование // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — № 4. — С. 122–127.
- 10 Volterra V. Theorie of functionals and of integral and integro-differential equations. — London, 1931. — 230 p.
- 11 Беллман Р., Кук К. Дифференциально-разностные уравнения. — М.: Мир, 1967. — 548 с.
- 12 Арутюнян Н.Х., Колмановский В. Б. Теория ползучести неоднородных тел. — М.: Наука, 1983. — 336 с.
- 13 Мышкис А.Д. Линейные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом. — М.: Наука, 1972. — 352 с.
- 14 Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977. — 383 с.
- 15 Башков А.Б. Методы решения задач оценивания для динамических систем, описываемых дискретными уравнениями Вольтерра: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М.: 2009. — 111 с.
- 16 Сергеев В.С. Устойчивость в системах с последствием, описываемых интегродифференциальными уравнениями типа Вольтерра: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М.: 2000. — 252 с.
- 17 Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования информационно-измерительных систем. — М.: Физматлит, 2004. — 400 с.
- 18 Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. — М.: Наука, 1997. — 316 с.
- 19 Казаков И.Е., Доступов Б.Г. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем. — М.: Физматгиз, 1962. — 240 с.
- 20 Деруссо П., Рой Р., Клоуз И. Пространство состояний в теории управления. — М.: Физматгиз, 1962. — 382 с.
- 21 Юров В.М. Термодинамика люминесцирующих систем // Вестник КарГУ. — Сер. Физика. — 2005. — № 3 (39). — С. 13–15.
- 22 Юров В.М. Свойства малых частиц // Вестник КарГУ. — Сер. Физика. — 2009. — № 2 (54). — С. 41–47.
- 23 Пахомов С.А. Экспансия закона Мура // Компьютер-пресс. — 2003. — № 1. — С. 16–22.
- 24 Дмитриев А.С. Тепловые процессы в наноструктурах. — М.: Физматлит, 2012. — 303 с.
- 25 Энгельс Ф. Диалектика природы. — М.: Госполитиздат, 1953. — 328 с.
- 26 Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. — М.: Наука, 1988. — 522 с.
- 27 Кохановский В. П. Философия и методология науки. — Ростов н/Д.: Феникс, 1999. — 576 с.
- 28 Коротаев А.В., Комарова Н.Л., Халтурина Д.А. Законы истории. Вековые циклы и тысячелетние тренды. Демография, экономика, войны. — М.: УРСС, 2007. — С. 7–47.
- 29 Ранев Г.Г. Измерительные информационные системы. — М.: МГОУ, 2007. — 280 с.
- 30 Ямпурин Н.П., Баранова А.В. Основы надежности электронных средств. — М.: Академия, 2010. — 240 с.
- 31 Дадонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. — Киев: Науко. думка, 2011. — 256 с.
- 32 Колесников В.А., Юров В.М. Некоторые аспекты метода аналогий в проектировании информационно-измерительных систем // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. — 2013. — № 2.
- 33 Розоноэр Л.И. Обмен и распределение ресурсов (обобщенный термодинамический подход) // Автоматика и телемеханика. — 1973. — № 5. — С. 115–133; — № 6. — С. 65–80; — № 8. — С. 82–104.
- 34 Юров В.М., Верховская Е.П., Яворский В.В. Характеристики канала и прогнозные ресурсы коммуникационных систем // Автоматизация и управление: Тр. междунар. науч. конф. — Алматы, 2007. — С. 313–316.
- 35 Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). — Спб., 1912. — 126 с.
- 36 Л. фон Берталанфи. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем / Ред. В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин. — М.: Прогресс, 1969. — С. 23–82.
- 37 Месарович М.Д. Основания общей теории систем // Общая теория систем. — М.: Наука, 1966. — С. 15–48.
- 38 Ланге О. Целое и развитие в свете кибернетики // Исследования по общей теории систем / Ред. В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин. — М.: Прогресс, 1969. — С. 181–251.
- 39 Эшби У.Р. Теоретико-множественный подход к механизму и гомеостазису // Исследования по общей теории систем / Ред. В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин. — М.: Прогресс, 1969. — С. 398–441.
- 40 Уемов А.И. Об одном варианте логико-математического аппарата системного исследования // Проблемы формального анализа систем. — М.: Наука, 1968. — С. 14–48.
- 41 Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии. — М.: Мысль, 1974. — 229 с.
- 42 Артюхов В.В. Общая теория систем: Самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 224 с.

В.А.Колесников, В.М.Юров, Ж.Т.Исмаилов

Ақпараттық-өлшеуіш жүйелерінің технологиялық мұрасы

Мақалада ақпараттық-өлшеуіш жүйелерінің технологиялық мұра қасиеттері және текті қабілеттілігі жайлы сұрақтар талқыланды. Тепе-теңдік емес термодинамика көлемінде ақпараттық-өлшеуіш жүйелерінің текті қабілеттілігін анықтауға мүмкіндік беретін формула алынған. Осы формула жүйенің текті қабілеттілігін эксперимент жүзінде есептеуге мүмкіндік береді. Бұл теңдеу белгілі Мур заңының математикалық өрнегі болып табылады. Бірақ Мур заңының ежелгі заманнан келе жатқан интерпретациясына қарағанда «текті қабілеттілік» ұғымы бірінші рет енгізіліп отыр. Сонымен, ақпараттық-өлшеуіш жүйелерінің өміршең циклі және болжамды ресурстары жалпы термодинамика тұрғысынан қарастырылған.

V.A.Kolesnikov, V.M.Yurov, Zh.T.Ismailov

Technological heredity of information-measuring systems

In work questions of a technological heredity and knack of information-measuring systems are discussed. Within the limits of nonequilibrium thermodynamics the formula for knack of information-measuring systems is received. The received equation allows to define knack of system experimentally. The received equation is also mathematical expression of the known law of Moore. However, unlike usual interpretations of the law of Moore the equation contains knack that is an essential fact. Questions of life cycle of information-measuring systems and their predicted resources with use of the general laws of thermodynamics are considered.

References

- 1 Gricay A.V. *Economy enterprises of electronic industry*, Minsk: BSUIR, 2006, 135 p.
- 2 Sadovskaya T.V. *Economy enterprises of electronic industry*, Minsk: BSUIR, 2007, 152 p.
- 3 Yashericin P.I., Rizhov E.V., Averchenkov V.I. *Technological heredity in engineering*, Minsk: Science and Technology, 1977, 248 p.
- 4 Dal'skiy A.M., Bazrov B.M., Vasil'ev A.S. et al. *Technological heredity in the engineering industry*, Moscow: Publishing House of the Moscow Aviation Institute, 2000, 364 p.
- 5 D'yachenko A.V. *Foundations of transformation economy*. — Volgograd: Publishing House of the Volga, 2001, 120 p.
- 6 Raneyev G.G. *Measuring information systems*, Moscow: Publishing House of MGOU, 2003, 536 p.
- 7 Raneyev G.G., Surotina V.A., Kalashnikov V.I. *Information and measuring equipment, and electronics*, Moscow: Publishing Center «Academy», 2006, 512 p.
- 8 Grekul V.I., Denishenko G.N., Korovkina N.L. *Design of information systems*, Moscow: Internet University, 2005, 345 p.
- 9 Kolmanovskiy V.B. *Delay equations and mathematical modeling* // Soros Educational Journal, 1996, № 4, p. 122–127.
- 10 Volterra V. *Theorie of functionals and of integral and integro-differential equations*, London. 1931, 230 p.
- 11 Bellman R., Kuk K. *Difference-differential equations*, Academic Press, 1967, 548 p.
- 12 Arutynyan N.H., Kolmanovskiy V.B. *Creep theory of heterogeneous bodies*, Moscow: Nauka, 1983, 336 p.
- 13 Mishkis A.D. *Linear differential equations with retarded argument*, Moscow: Nauka, 1972, 352 p.
- 14 Rabotnov Yu.N. *Elements of hereditary mechanics of solids*, Moscow: Nauka, 1977, 383 p.
- 15 Bashkov A.B. *Problem-solving methods for estimation of dynamic systems described by discrete Volterra equations* // Thesis of the candidate techn. Science, New York: 2009, 111 p.
- 16 Sergeyev V.S. *Stability in systems with aftereffect described integrodifferential equations of Volterra* // Thesis of the candidate techn. Science, New York: 2000, 252 p.
- 17 Pit'ev Yu.P. *Mathematical modeling methods of information-measuring systems*, Moscow Phizmatlit, 2004, 400 p.
- 18 Samarskiy A.A., Mihaylov A.P. *Mathematical modeling*, Moscow: Nauka, 1997, 316 p.
- 19 Kazakov I.E., Dostupov B.G. *Statistical dynamics of nonlinear automatic systems*, Moscow: Fizmatgiz, 1962, 240 p.
- 20 Derusso P., Roy P., Klouz I. *The state space in control theory*, M.: Fizmatgiz, 1962, 382 p.
- 21 Yurov V.M. *Thermodynamics of luminescent systems* // Bulletin of KSU, Ser. Physics, 2005, № 3 (39), p. 13–15.
- 22 Yurov V.M. *Properties of small particles* // Bulletin of KSU, Ser. Physics, 2009, № 2 (54), p. 41–47.
- 23 Pahomov S.A. *Expansion of Moore's Law* // Computer Press, 2003, № 1, p. 16–22.
- 24 Dmitriyev A.S. *Thermal processes in nanostructures*, Moscow: Phizmatlit, 2012, 303 p.
- 25 Engels F. *Dialectics of Nature*, M.: Gospolitizdat, 1953, 328 p.
- 26 Vernadskiy V.I. *Philosophical thoughts naturalist*, Moscow: Nauka, 1988, 522 p.

- 27 Kohanovskiy B.P. *Philosophy and Methodology of Science*. — Rostov-on-Don. «Phoenix», 1999, 576 p.
- 28 Korotayev A.V., Komarova N.L., Halturina D.A. *Laws of history. Secular cycles and millennial trends. Demography, economics, and war*, M.: URSS, 2007, p. 7–47.
- 29 Raneev G.G. *Measuring information systems*, Moscow: MGOU, 2007, 280 p.
- 30 Yampurin N.P., Baranova A.V. *Fundamentals of reliability of electronic equipment*, Moscow: The Academy, 2010, 240 p.
- 31 Dadonov A.G., Lande D.V. *Survivability of information systems*, Kiev: Naukova Dumka, 2011, 256 p.
- 32 Kolesnikov V.A., Yurov V.M. *Some aspects of the method of analogy in the design of information-measuring systems // Modern problems of science and education. Electronic Journal*, 2013, № 2.
- 33 Rozonoer L.I. *Exchange and allocation of resources (generalized thermodynamic approach) // Automation and Remote Control*, 1973, № 5, p. 115–133, № 6, p. 65–80, № 8, p. 82–104.
- 34 Yurov V.M., Verhovskaya Ye.P., Yavorskiy V.V. *Channel characteristics and probable reserves of communication systems // Proceedings of the Int. scientific. Conf. «Automation and Control», Almaty, 2007, p. 313–316.*
- 35 Bogdanov A.A. *General Organization Science (Tectology)*, St. Petersburg: 1912, 126 p.
- 36 *Ludwig von Bertalanffy General systems theory: a critical review // In.: Research on general systems theory / red. Sadovsky, VN, EG Yudin, Moscow: Progress Publishers, 1969, p. 23–82.*
- 37 Mesarovich M.D. *Foundations of a general theory of systems // In.: General Systems Theory, Moscow: Nauka, 1966, p. 15–48.*
- 38 Lange O. *Whole and in the light of the development of cybernetics // In.: Research on general systems theory / red. Sadovsky, VN, EG Yudin, M.: Progress Publishers, 1969, p. 181–251.*
- 39 Ashby W.R. *The set-theoretic approach to the mechanism and homeostasis // In.: Studies on the general theory of systems / red. Sadovsky, VN, EG Yudin, Moscow: Progress Publishers, 1969, p. 398–441.*
- 40 Ueymov A.I. *A version of the logical-mathematical apparatus system research // In. Problems of formal analysis systems, Moscow: Nauka, 1968, p. 14–48.*
- 41 Urmancev Yu.A. *The symmetry of nature and the nature of symmetry*, Moscow: Thought, 1974, 229 p.
- 42 Artyuhov V.V. *General Systems Theory: Self-organization, sustainability, diversity, crises*, Moscow: Publishing house «LIBROKOM», 2009, 224 p.

УДК 538.95.405

В.Ч.Лауринас, О.Н.Завацкая, В.М.Юров, С.А.Гученко

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail guchen@mail.ru)

Влияние термической обработки на микротвердость и трибологические свойства многофазных покрытий

В работе обсуждаются вопросы влияния термической обработки на свойства композиционных покрытий. Использовались катоды из стали 12Х18Р10Т и титана. Термическая обработка проводилась при температуре 600°C, которая ниже температуры фазовых превращений. Измерялись микротвердость и коэффициенты трения. Отмечено, что микроструктура покрытий после термической обработки практически не меняется. Изменения микротвердости и коэффициентов трения связаны с окислением железа, входящего в состав покрытия. Предложена модель сухого трения, позволяющая объяснить наблюдаемые эффекты изменением химического потенциала покрытия.

Ключевые слова: покрытие, термическая обработка, катод, титан, микротвердость, коэффициент трения, химический потенциал.

Введение

Термическая обработка металлов и сплавов является составной частью многих технологических процессов изготовления деталей в различных отраслях промышленности и, в первую очередь, в машиностроении. Достаточно подробно исследованы структурные изменения, которые протекают при отжиге — предварительной термической обработке, в том числе при гомогенизации, отжиге, уменьшающем напряжения, рекристаллизационном и дорекристаллизационном, а также отжиге, увеличивающем зерно в многочисленных вариантах отжига с фазовой перекристаллизацией. Для сталей особую роль играют структурные изменения, которые протекают при закалке без полиморфного превращения, закалке на мартенсит. Важную роль играют процессы распада пересыщенных твердых