

5. Золотарев С.Н., Шумаков А.Н. Рельеф контактной поверхности быстрозакаленных лент // Физика металлов и металловедение. - Т. 64, вып. 2. - 1987. - С. 349- 357.
6. Салли, И.В. Влияние условий охлаждения на структурообразование в сплавах свинец – сурьма / И.В. Салли, В.З. Долинская, Л.В. Самойленко // Физика металлов и металловедение. – 1974. – Т. 38, № 1. – С. 132 – 138.
7. Шепелевич, В.Г. Структура, свойства и стабильность быстрозатвердевшей эвтектики $\text{Bi} - 40 \text{ мас. \% Cd}$ / В.Г. Шепелевич // Материаловедение. – 2013, № 10. – С. 26 – 30.
8. Шепелевич, В.Г. Микроструктура и микротвердость фольг быстрозатвердевшего эвтектического сплава $\text{In} - 56 \text{ ат. \% Bi}$ / В.Г. Шепелевич, Л.П. Щербаченко // Физика и химия обработки материалов. – 2014, № 4. – С. 52 – 57.
9. Шепелевич, В.Г. Микроструктура и свойства быстрозатвердевшей фольги сплава $\text{Sn} - 58 \text{ ат. \% Bi}$ / В.Г. Шепелевич, О.В. Гусакова, Л.П. Щербаченко // Неорганические материалы. – 2013. – Т. 49, № 7. – С. 709 – 713.
10. Таран, Ю.М. Структура эвтектических сплавов / Ю.М. Таран, В.И. Мазур. – М.: Металлургия, 1978. – 312 с.
11. Глазов, В.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия / В.М. Глазов, Л.М. Павлова. – М.: Металлургия, 1998. – 560 с.
12. Гусакова, О.В. Распад пересыщенного твердого раствора в быстрозатвердевшей фольге сплава олово – кадмий / О.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115, № 2. – С. 143 – 148.
13. Лозенко, В.В. Зёрненная и субзёрненная структура быстрозатвердевших фольг цинка и сплавов на его основе / В.В. Лозенко, В.Г. Шепелевич // Неорганические материалы. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 1–5.
14. Шахрай, О.Н. Текстура быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов / О.Н. Шахрай, В.Г. Шепелевич // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серія фізіка-тэхнічных навук. – 2004. – № 3. – С. 32–34.
15. Неумержицкая, Е.Ю. Структура, свойства и термическая стабильность быстрозатвердевших фольг сплавов алюминия с хромом, никелем и марганцем / Е.Ю. Неумержицкая, В.Г. Шепелевич // Перспективные материалы. – 2005. – № 4. – С. 69–73.

УДК 681.5.09

Гулай А.В., Зайцев В.М.

**ФОРМИРОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ ОБРАЗОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ
ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

Белорусский национальный технический университет

Проанализированы основные принципы формирования информационных сенсорных образов объекта управления в процессе функционирования интеллектуальной мехатронной системы. Создание сенсорных образов производится путем дистанционного отображения текущих состояний физических объектов и явлений в базе данных мехатронной системы на основе информационного потока результатов сенсорного контроля. Получено общее условие целесообразности группирования и упаковки параметров информационного образа в телемеханические транзакции исходя из минимума затрат канального ресурса мехатронной системы. Проанализирована проблема достоверной передачи транзакций по телеметрическим и телематическим каналам интеллектуальной мехатронной системы. Приведен вариант возможного построения структуры логических отношений для параметров сенсорного образа объекта управления в базе данных интеллектуальной мехатронной системы.

Введение

Общая схема функционирования интеллектуальных мехатронных систем предусматривает реализацию типовых циклов адаптивного управления, каждый из которых содержит одну из основных фаз — сбор, обработку, накопление или обновление в системе параметров текущего состояния физических объектов и явлений [1]. Асинхронное формирование сенсорными источниками информационных образов объекта управления с

необходимым темпом оцифровки сопровождается процедурами выработки в органе управления требуемых управляющих воздействий и соответствующих им команд и сигналов, а также обработкой этих команд с помощью исполнительных механизмов. Информационный сенсорный образ представляет собой достаточно четко очерченный объем параметров объекта контроля; создается данный образ путем агрегирования как количественных, так и качественных признаков [2].

Основным свойством сенсорного образа является его информационная целостность, отображающая специфическую целостность контролируемого объекта [3, 4]. Представление информационной целостности важно в анализе систем управления сложными объектами, причем как в анализе цепи физического контроля, так и контура использования экспертных оценок [5]. С одной стороны, чем полнее приборный учет физических параметров и машинный анализ состояния объекта, тем точнее процесс автоматического управления. С другой стороны, при восприятии и анализе оператором или диспетчером сенсорной информации у него не должно оставаться сомнений в том, что учтены все параметры системы, отображающие ее текущее состояние и предвосхищающие возможное развитие опасных ситуаций. Можно сказать, в свойстве целостности информационного образа отражается полнота представления необходимой для эффективного управления информации об объекте контроля.

Формирование информационных потоков и сенсорных образов в интеллектуальной мехатронной системе

Мехатронные системы, как правило, имеют строгую функциональную ориентацию, при этом на этапе проектирования заранее предусматривается их работа с фиксированными наборами физических объектов определенных типов $O_i = \{O_{ij}\}$; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m_i$; O_{ij} — j -й экземпляр объекта типа i . При проектировании мехатронных систем производится также учет факторов воздействия наиболее существенных внешних явлений $\{Ek\}$; $k = 1, 2, \dots, b$. Логическая правильность процессов функционирования мехатронной системы в значительной мере определяется корректностью выработки управляющих воздействий и, следовательно, полнотой и своевременностью обновления сенсорных образов в базе органа управления по результатам периодического отбора необходимых сведений из информационного потока результатов сенсорного контроля. Общая схема сенсорного контроля и формирования информационных образов в процессе функционирования интеллектуальной мехатронной системы представлена на рис. 1.

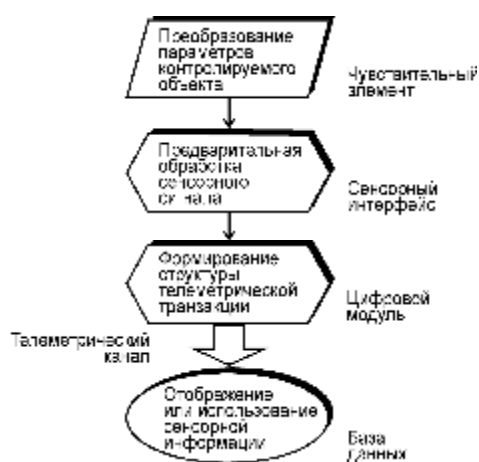


Рисунок 1 – Схема сенсорного контроля параметров объекта управления в интеллектуальной мехатронной системе

Информационный поток результатов сенсорного контроля образуется совокупностью транзакций, включающих значения контролируемых параметров $\{X_{ijq}\}$; $q = 1, 2, \dots, ri$, получаемых органом управления по каждому из экземпляров O_{ij} объектов i -го типа O_i . Транзакции содержат также значения параметров $\{Z_{ks}\}$; $s = 1, 2, \dots, dk$ для всех учитываемых в

системе внешних явлений k -го типа Ek . По отношению к органу управления этот информационный поток является восходящим. Каждый объект i -го типа характеризуется кардинальным числом m_i и доменарным числом n_i . Кардинальное число определяет количество экземпляров объекта O_i , функционирующих в мехатронной системе. Доменарное число характеризует объем сенсорного образа в виде количества физических или иных свойств объектов этого типа, которые оцениваются соответствующими параметрами и используются в процессах управления. В органе управления внешние явления представляются единичными экземплярами, имеющими доменарные числа d_k .

Информационный поток сигналов и команд управления, в свою очередь, образуется совокупностью векторов, равных значениям параметров $\{Y_{\alpha\beta}\}$, где $\alpha = 1, 2, \dots, A$ — системный номер исполнительного механизма; $\beta = 1, 2, \dots, B$ — возможные значения сигналов или команд управления. По отношению к органу управления этот информационный поток рассматривается как нисходящий.

С целью рационального использования канальных и вычислительных ресурсов системы целесообразно параметры объектов и явлений, а также параметры сигналов и команд управления для транспортировки и последующей обработки группировать и упаковывать в унифицированные телеметрические и телематические (телемеханические) транзакции. Причем в пределах одной транзакции, как правило, размещаются параметры, относящиеся к одному объекту или явлению. Логическая структура транзакций при распаковке в каждом интеллектуальном компоненте системы должна обеспечивать атомарное выделение отдельных параметров на смысловоразличительном уровне.

Структура телеметрических и телематических транзакций интеллектуальной мехатронной системы может формироваться следующим образом. Служебный заголовок транзакции — это блок данных, который имеет ограниченное количество логических полей и в общем случае предполагает введение в заголовок идентификационных и адресных атрибутов для работы в трактах передачи информации мехатронной системы. В системах повышенной ответственности в транзакцию может дополнительно вводиться код имитозащиты для предотвращения неконтролируемой подмены транзакций или для защиты компонентов от принудительного ложного навязывания информации [6]. В теле транзакции для однозначного представления информации о каждом отдельном параметре достаточно применения блоков данных, в которые входят три логических поля, при этом требуется предварительное введение в компоненты системы общего справочника допустимых типов параметров.

Процессы формирования телеметрических транзакций и упаковки в них параметров обеспечиваются программными средствами контроллеров, которые непосредственно связаны с сенсорным оборудованием и воспринимают результаты контроля. Процессы преобразования телеметрических транзакций и распаковки параметров (результатов контроля — сенсорных образов) обеспечиваются программными средствами органа управления, а преобразование телематических транзакций и распаковка параметров, сформированных органом управления, возлагается на контроллеры, которые либо непосредственно, либо через силовые преобразователи связаны с исполнительными механизмами системы.

Группирование параметров информационных образов в телеметрические транзакции мехатронной системы

Состав параметров в пределах одной телеметрической транзакции и темп их поступления в орган управления не могут выбираться произвольно; группирование параметров прямым образом влияет на интенсивность потока сенсорных образов. Допустим, что изменения во времени сигнала $X_{ij}(t)$ для всех экземпляров O_{ij} объекта O_i и граница $F_{nij\gamma}$ Найквиста — Котельникова его частотного спектра близки к соответствующим параметрам сигнала $X_{ij\delta}(t)$, в том числе к его частотной границе $F_{nij\delta}$. В этом случае для группы сигналов $X_{ij\gamma}(t)$ и $X_{ij\delta}(t)$ может быть выбрана общая частота измерения и передачи параметров данных сигналов в орган управления с упаковкой в одну транзакцию:

$$\varphi_{ij} \geq F_{nij\gamma} \approx F_{nij\delta} \quad (1)$$

Если граничные значения частот $F_{nij\gamma}$ и $F_{nij\delta}$ существенно различаются, то выбор общей частоты φ_{ij} должен удовлетворять следующим очевидным условиям:

$$\varphi_{ij} \geq F_{nij\gamma}, \text{ если } F_{nij\gamma} \geq F_{nij\delta} \varphi_{ij}; \varphi_{ij} \geq F_{nij\delta}, \text{ если } F_{nij\delta} \geq F_{nij\gamma}. \quad (2)$$

Причем в первом случае по каналу будут избыточно передаваться значения сигнала $X_{ij\delta}$, в которых нет столь частой информационной потребности, а во втором случае — значения сигнала $X_{ij\gamma}$.

Целесообразно проанализировать также условие рационального объединения параметров информационных образов в одну транзакцию. Обозначим с помощью $Q_{ЗАГЛ}$ объем в битах служебного заголовка транзакции, а с помощью $Q_{ПАР}$ — объем в битах полей представления в транзакции одного параметра. Рассмотрим некоторый интервал времени T . При формировании группы из G параметров и упаковки их в одну транзакцию по каналу подлежит передача информации объемом:

$$Q_1(T) = 2T\varphi_{ij} [Q_{ЗАГЛ} + GQ_{ПАР}], \quad (3)$$

где φ_{ij} — общая граничная частота для параметров группы. Если добавить в группу некоторый параметр с граничной частотой $F_{ij\gamma}$, то $Q_1(T)$ будет иметь следующий вид:

$$Q_1(T) = 2T\varphi_{ij} [Q_{ЗАГЛ} + (G + 1)Q_{ПАР}]. \quad (4)$$

При упаковке нового параметра в самостоятельную транзакцию по каналу подлежит передача информации объемом:

$$Q_2(T) = 2T\varphi_{ij} [Q_{ЗАГЛ} + GQ_{ПАР}] + 2TF_{ij\gamma} [Q_{ЗАГЛ} + Q_{ПАР}]. \quad (5)$$

При соотношении объемов $Q_1(T) \leq Q_2(T)$ упаковка параметров в одну транзакцию дает уменьшение или, по крайней мере, не увеличение затрат канального ресурса, а при соотношении объемов $Q_1(T) \geq Q_2(T)$ упаковка параметров в одну транзакцию приводит к увеличению затрат канального ресурса. Таким образом, упаковка обеспечивает сокращение объема информации, если выполняется следующее условие:

$$2T\varphi_{ij} [Q_{ЗАГЛ} + (G + 1)Q_{ПАР}] \leq 2T\varphi_{ij} [Q_{ЗАГЛ} + GQ_{ПАР}] + 2TF_{ij\gamma} [Q_{ЗАГЛ} + Q_{ПАР}]. \quad (6)$$

Преобразование неравенства (6) позволяет получить общее условие целесообразности группирования и упаковки параметров объектов и явлений в транзакции исходя из минимума затрат канального ресурса:

$$\varphi_{ij} Q_{ПАР} \leq F_{ij\gamma} [Q_{ЗАГЛ} + Q_{ПАР}] \text{ или } \varphi_{ij} / F_{ij\gamma} \leq Q_{ЗАГЛ} / Q_{ПАР} + 1. \quad (7)$$

При большом разбросе граничных частот произвольное объединение групп параметров в одну транзакцию сопровождается таким негативным явлением как увеличение информационной нагрузки на канал. При этом не достигается сколь-нибудь значимое повышение качества выполнения первой фазы цикла управления — сбора и обработки в системе параметров текущего состояния физических объектов. В то же время упаковка в одну транзакцию параметров даже с близкими граничными частотами свыше некоторого рационального предела приводит к возрастанию объема транзакции, ухудшению условий транспортировки транзакции по каналу и, как следствие, к снижению достоверности передаваемой информации. В связи с этим необходим поиск компромиссных решений, а процесс планирования параметрического состава различных транзакций следует выделить в самостоятельный этап системного проектирования.

В результате должны быть построены варианты заполнения транзакций параметрами. Распределения параметров по транзакциям будут носить явно выраженный модальный характер, при этом среднее значение ρ и среднеквадратическое отклонение σ_ρ количества параметров в одной транзакции определяют границы $(\rho - 2\sigma_\rho, \rho + 2\sigma_\rho)$ области их 93–97%

рассеивания [7]. Возможные технические решения требуют предварительного формирования надежной расчетной базы доказательств, моделирования и системного анализа.

Достоверность передачи сенсорных образов по каналам интеллектуальной мехатронной системы

В зависимости от ответственности мехатронной системы определяется допустимый уровень снижения полноты сбора, обработки, накопления или обновления информации, при котором в органе управления могут быть корректно выработаны требуемые управляющие воздействия и соответствующие им команды и сигналы [8]. Фактически устанавливается возможный уровень уменьшения объема сенсорных образов, при котором обеспечивается эффективное функционирование интеллектуальной мехатронной системы. Предположим, что в системе в циклах управления необходима организация сбора, обработки, накопления или обновления N текущих параметров объектов и явлений (составляющих сенсорного образа). Значение N определяется составом объектов и явлений, кардинальными и доменарными числами:

$$N = \sum_{i=1}^n m_i r_i + \sum_{k=1}^b d_k \quad (8)$$

Допустимый уровень снижения полноты ϵ и доверительная вероятность $P_{\text{ДОВ}}$ определяют тот факт, что в каждом цикле управления реализуются сбор, обработка, накопление или обновление сведений не менее, чем для $N - \mu$ параметров, где $\mu = A_{nt}(\epsilon N)$; A_{nt} — целочисленная функция Антье. Если P_0 — вероятность обеспечения средствами системы сбора, обработки, накопления или обновления информации об одном параметре, то для достижения требуемой полноты $N - \mu$ и доверительной вероятности $P_{\text{ДОВ}}$ должно выполняться неравенство:

$$P_0^N + C_N^1 (1 - P_0) P_0^{N-1} + C_N^2 (1 - P_0)^2 P_0^{N-2} + \dots + C_N^\mu (1 - P_0)^\mu P_0^{N-\mu} \geq P_{\text{ДОВ}}, \quad (9)$$

$$C_N^\mu = N(N-1)(N-2)\dots(N-\mu+1)/\mu!. \quad (10)$$

Нижняя граница вероятности P_0 является положительным вещественным корнем базового алгебраического уравнения (9), которое принимает в данном случае вид равенства. В расчетах необходимо применять нечетное значение N , в качестве которого следует непосредственно выбирать либо исходное значение N , если оно нечетное, либо $N + 1$ при четном исходном значении N . С учетом отрицательного свободного члена уравнения (9) гарантируется наличие хотя бы одного положительного вещественного корня. При высоких значениях N прямое решение данного уравнения крайне затруднено. Для нахождения нижней границы вероятности P_0 следует проводить изоляцию корня на интервале $(0,8; 1,0]$, после чего с помощью итерационного метода Ньютона и половинного деления интервала рассчитывать с требуемой точностью искомое значение P_0 .

Расчетное значение вероятности P_0 позволяет оценить нижнюю и верхнюю границы важнейшего системного показателя — вероятности достоверной передачи одного блока транзакции $P_{\text{ДБЛ}}$. Он количественно оценивает тот факт, что в каждом блоке транзакции либо не содержатся искаженные биты, обусловленные воздействиями негативных факторов на процессы передачи информации по каналу, либо количество искаженных бит не превышает допустимое значение. Данный показатель применяется для обоснованного выбора схемы и методов помехоустойчивого кодирования информации в транзакциях.

Вероятность достоверной передачи транзакции по каналу $P_{\text{ДТ}}$ расщепляется на две мультипликативные составляющие — на вероятность достоверной передачи блока заголовка транзакции $P_{\text{ДЗАГЛ}}$ и на вероятность достоверной передачи параметрических блоков в среднем для ρ параметров при значении этой составляющей в расчете на один параметр транзакции $P_{\text{ДПАР}}$:

$$P_{\text{ДТ}} = P_{\text{ДЗАГЛ}} P_{\text{ДПАР}}^\rho \quad (11)$$

При заданных коэффициентах готовности сенсорного оборудования $K_{ГС}$, канального оборудования $K_{ГК}$ и вычислительного оборудования $K_{ГВ}$ в мехатронной системе требуется соблюдение условия обеспечения расчетной вероятности P_0 при любых значениях ρ :

$$K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ} P_{ДТ} \geq P_0, \quad (12)$$

$$K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ} P_{ДЗАГЛ} P_{ДПАР}^p \geq P_0. \quad (13)$$

При этом в мехатронной системе необходимо использование технического оборудования с высокими показателями надежности, при которых выполняется следующее условие:

$$K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ} \geq P_0, \quad (14)$$

значение вероятности $P_{ДТ} \geq P_0$ имеет смысл и может быть определено.

Блочная модель помехоустойчивого кодирования обеспечивает выбор таких скоростей избыточного кода, при которых $P_{ДЗАГЛ} \sim P_{ДПАР} = P_{ДБЛ}$, где $P_{ДБЛ}$ — требуемая вероятность достоверной передачи блоков транзакции. В этом случае

$$P_{ДЗАГЛ} \approx P_{ДПАР} \approx P_{ДБЛ} \geq [P_0 / (K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ})]^{1/(\rho+1)}. \quad (15)$$

Последнее соотношение позволяет оценить нижнюю и верхнюю границы требуемой вероятности достоверной передачи блоков транзакции $P_{ДБЛ}$:

$$Inf P_{ДБЛ} = [P_0 / (K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ})]^{1/(\rho+2\sigma_p+1)}, \quad (16)$$

$$Sup P_{ДБЛ} = [P_0 / (K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ})]^{1/(\rho-2\sigma_p+1)}. \quad (17)$$

На рис. 2 представлены зависимости вида $P_0[\varepsilon, N, P_{ДОВ}]$, полученные в результате решения базового уравнения, а также значения вероятностей $P_{ДТ} = P_0 / (K_{ГС} K_{ГК} K_{ГВ})$ достоверной передачи транзакций при $K_{ГС} = K_{ГК} = K_{ГВ} = 0,98$. Здесь приведены также пары границ ($Inf P_{ДБЛ}$; $Sup P_{ДБЛ}$) достоверной передачи блоков транзакций для обеспечения необходимых вероятностей P_0 при $\rho = 5$; $\sigma_p = 1,5$; $K_{ГС} = K_{ГК} = K_{ГВ} = 0,98$. Как следует из результатов численного анализа, определяющее значение имеют параметры надежности компонентов мехатронной системы, общее количество параметров объектов и явлений, которые подлежат сбору, обработке, накоплению или обновлению, а также допустимые уровни снижения полноты в абсолютном выражении.

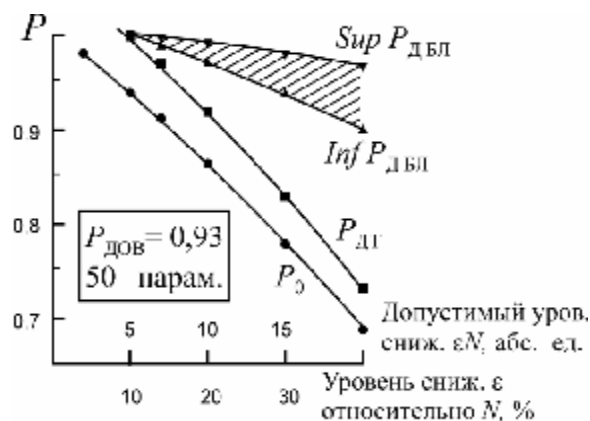


Рисунок 2 – Зависимость вероятностей P_0 , $P_{ДТ}$, $Inf P_{ДБЛ}$ и $Sup P_{ДБЛ}$ достоверной передачи информации от уровня снижения ее полноты

Даже при крайне высоких значениях коэффициентов готовности $K_{ГС} = K_{ГК} = K_{ГВ} = 0,98$ верхние границы $Sup P_{ДБЛ}$ вероятности достоверной передачи блоков транзакций не могут быть рационально определены и технически обеспечены, если допустимый уровень $\mu \leq 5-7$. При

этом нижние границы $\text{Inf}P_{\text{ДБЛ}}$ вероятности достоверной передачи блоков транзакций должны составлять 0,999. Это крайне жесткие условия, особенно при достаточно высоких темпах поступления результатов сенсорных измерений. Получение таких значений для коэффициентов $K_{ГС}$, $K_{ГК}$, $K_{ГВ}$ и для вероятности $P_{\text{ДБЛ}}$ является сложной технической проблемой, без решения которой невозможно обеспечить эффективное управление мехатронной системой.

Структура информационных образов в базе данных интеллектуальной мехатронной системы

Для хранения текущих значений параметров в вычислительных средствах органа управления наиболее простым и достаточно эффективным техническим решением является применение реляционной модели представления логической структуры информационных образов в базе данных [9]. На рис. 3 показан вариант возможного построения структуры логических отношений для параметров информационных образов объектов $\{O_i\}$. Построение структуры логических отношений для параметров явлений $\{E_k\}$ может быть выполнено аналогичным образом, разумеется, с учетом того, что в данном случае имеется единичный кортеж отношения E_k (кардинальное число $m_k = 1$). Для правильной организации поступления значений параметров сенсорных образов в базу данных органа управления логические структуры компонентов базы и структуры транзакций должны обладать свойством однозначного взаимного отображения.

Наилучший эффект по скорости поиска и отбора кортежей в базе данных при выполнении операций накопления или обновления значений параметров может быть достигнут при использовании в качестве ключей идентификаторов типов объектов и кортежей обычных числовых кодов, а не символьных комбинаций. Кроме того, целесообразно представление отдельных кортежей в виде физических записей, а также использование справочника допустимых типов и форматов параметров. Это, по сути, означает предельное совмещение логической структуры базы данных с ее физической структурой [9].

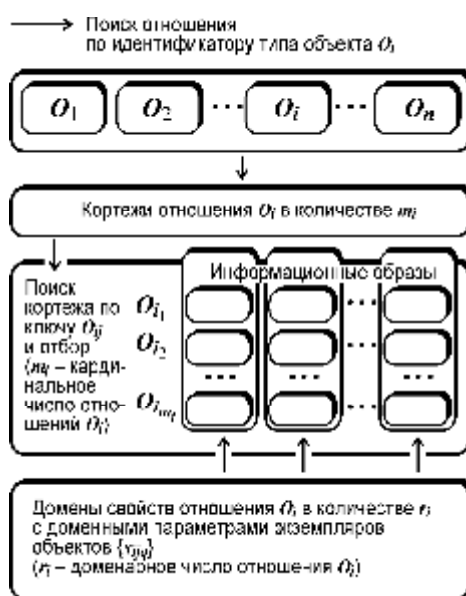


Рисунок 2 – Структура логических отношений для параметров информационных образов в базе данных мехатронной системы

Следует отметить, что практика построения интеллектуальных мехатронных систем показала несостоятельность подхода к организации хранения в вычислительном оборудовании на постоянной основе различного рода нормативных данных, констант преобразования и пересчета. Более целесообразно присвоение этим видам информации условно-постоянного статуса, построение в базе данных специальных унарных отношений с доменными числами $d = 1$ для хранения указанных сведений и предоставление возможности дистанционного изменения значений с помощью транзакций-предписаний в технологическом режиме. При

расчетах значения N количество этих параметров не учитывается в связи с крайне низкой частотой их возможного обновления.

Литература

1. Федотов, А. В. Использование методов теории автоматического управления при разработке мехатронных систем / А. В. Федотов. — Омск: Из-во ОмГТУ, 2007. — 385 с.
2. Gulay, A. Environmental monitoring with the use of vita «subjective touch system» / A. Gulay, V. Gulay // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. 3rd edition. Vol. 1. Natural sciences. Technical sciences. — San Francisco: B&M Publishing, 2014. — P. 41-47.
3. Колешко, В. М. Термодинамическая модель функционирования интеллектуальной сенсорной системы / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Наука и техника. — 2012. — № 1. — С. 40-47.
4. Колешко, В. М. Синтез сенсорных и интеллектуальных технологий в научном познании / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // Высшая школа. — 2011. — №2. — С. 53-57.
5. Гулай, А. В. Экспертная логико-вероятностная модель интеллектуальной системы управления / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Наука и техника. — 2014. — № 1. — С. 30-37.
6. Харин, Ю. С. Математические и компьютерные основы криптологии / Ю. С. Харин, В. И. Берник, Г. В. Матвеев, С. В. Агиевич — Минск: Новое знание, 2003. — 382 с.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель — М.: Наука, 1969. — 576 с.
8. Кларк, Д. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Д. Кларк, Д. Клейн. — М.: Радио и связь, 1987. — 392 с.
9. Мартин, Д. Организация баз данных / Д. Мартин. — М.: Мир, 1980. — 662 с.

УДК 674. 023

Дечко Э.М. 1, Густяков П.В., Сизов С.В., Маркевич Ю.Р.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕНТОЧНОМ ПИЛЕНИИ

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

ООО «ВИ_МЕНС», Минск, Республика Беларусь

Ленточные пилы в процессе резания испытывают различные деформации и температуры. Результаты исследований могут быть использованы для снижения себестоимости и увеличения производительности при ленточном пилении.

Ленточные пилы биметаллические, твердосплавные, из высокоуглеродистых сталей, алмазные, фирм WIKUS, AMADA, LENOX, ВАНСО и др., применяемые в различных отраслях промышленности, отличаются конструктивными и геометрическими параметрами и областью применения [1,2,3].

Биметаллические пилы состоят из полотна-основы упругой рессорно-пружинной стали (аналог – 45ХГНМФА) и зубьев с режущими лезвиями из быстрорежущей стали (10P2M10K8 или 12P10M4K10; HRC = 67...70), рис.1, а). [2,3].

Область применения ленточных пил данного типа определяет, соответственно, формы зубьев; величины переднего угла – $\gamma = 0...+15^0$; вид разводки; форму стружечных канавок, рис. 1, б). Отклонения зуба при разводке для различных типов пил составляет $\Delta = 0,3 \dots 0,5$ мм, рис. 1, в).