УДК 621.9

С.В. Луцкий
Харьковский национальный автодорожный университет, Украина
E-mail:lutsk@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕХАНООБРАБОТКИ С ПОЗИЦИИ СИСТЕМНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА

В статье рассматриваются вопросы использования положений теории системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам при анализе особенностей интеллектуализации компьютерно-интегрированных производств механообработки.
Ключевые слова: *интеллектуализация, самоорганизация, информация, система, технология.*

Введение

В настоящее время становится актуальным вопрос создания конкурентноспособного сборочного и механообрабатывающего производств, которые обладают новыми качественными свойствами – свойствами самоорганизации. Наличие свойств самоорганизации обуславливается интеллектуализацией машиностроительного производства, которое позволяет существенно снижать затраты материальных, энергетических, временных и компьютерных ресурсов, повышать качество изготавливаемых изделий за счет способности самоструктурирования технологических процессов и систем механообрабатывающего производства.

Эффективность механообрабатывающего производства в значительной мере зависит не только от свойств самоорганизации основного оборудования, но и самоорганизации вспомогательных систем, таких как инструментообеспечения, контроля качества изделий, складской системы, системы охраны труда, транспортной системы, системы технического обслуживания и системы управления и подготовки производства.

Интеллектуализация компьютерно-интегрированного производства (КИП) механообработки обуславливается разработкой и внедрением технологий, обеспечивающих самоорганизацию технологических процессов и систем в условиях производства. Развитие новых технологий имеет объективные предпосылки, связанные с: заменой старого оборудования на новое с большим сроком эксплуатации; созданием гибкой модели производства, когда смена технологических процессов происходит быстро, без больших трудозатрат и затрат времени; возможностью экономии за счет более эффективной эксплуатации оборудования.

Технология как объект, в свою очередь, характеризуется такими атрибутами как: метод, средство, способ и процесс. В рамках этих атрибутов в статье рассматриваются особенности интеллектуализации КИП механообработки на базе компьютерно-интегрированных технологий (КИТ) с позиции методологии системно-информационного подхода.

Анализ последних достижений и публикаций

С позиции теории систем *технологическая система (ТС)* [1] – ,это материальный объект искусственного происхождения, который состоит из элементов (*составных частей, различающихся* свойствами, *проявляющимися при взаимодействии*) объеди-

нённых связями (*линиями передачи единиц или* потоков *чего либо*) и вступающих в определённые отношения (*условия и способы реализации свойств элементов*) между собой и с внешней средой, чтобы осуществить процесс (*последовательность действий для изменения или поддержания состояния*) и выполнить функцию ТС (*цель, назначение, роль – обеспечение изготовления готового изделия, соответствующего по размерам, форме и качеству поверхности заданным требованиям*). ТС имеет структуру (*строение, устройство, взаиморасположение элементов и связей, задающее устойчивость и воспроизводимость функции ТС*). Каждая составная часть ТС имеет индивидуальное функциональное назначение (*цели использования*) в системе.

В каждой ТС существует функциональная часть – *объект управления* (ОУ). Функции ОУ в ТС заключаются в восприятии управляющих воздействий (УВ) и в изменении в соответствии с ними своего состояния. ОУ в ТС не выполняет функций принятия решений, то есть не формирует и *не выбирает альтернативы своего поведения*, а только реагирует на внешние (*управляющие и возмущающие*) воздействия, изменяя свои состояния предопределенным его конструкцией образом.

В объекте управления всегда могут быть выделены две функциональные части – *сенсорная* и *исполнительная*. Сенсорная часть образована совокупностью технических устройств, *непосредственной причиной* изменения состояний каждого из которых является соответствующие ему и предназначенные для этого управляющие воздействия. Примеры сенсорных устройств: выключатели, переключатели, задвижки, заслонки, датчики и другие подобные им по функциональному назначению устройства управления техническими системами.

Исполнительная часть образована совокупностью материальных объектов, все или отдельные комбинации состояний которых рассматриваются в качестве *целевых состояний* ТС, в которых она способна самостоятельно выполнять предусмотренные её конструкцией технологические функции. *Непосредственной причиной* изменения состояний исполнительной части ТС (ОУ в ТС) являются изменения состояний её сенсорной части.

Необходимость повышения качества управления в технике вызвала к жизни множество научно-технических разработок по теме "искусственный интеллект". Под словом "интеллект" [2,3], понимается способность ТС самоорганизовываться, самоизменяться, самонастраивать алгоритмы выбора, преобразовывая информацию, в результате действия которого возникают информационные модули, ранее данному субъекту не известные и в готовом виде в него из вне не поступавшие.

Самоорганизация [4] по своему содержанию предполагает свойство системы самостоятельно активизировать процессы своего функционирования и развития на основе внутренней присущей системам способности упорядочивать свои составляющие подсистемы и регулировать энергетические и информационные потоки, которыми она обменивается с внешней средой. По форме явление самоорганизации включает целый спектр процессов, в т.ч. самоупорядочение, самообеспечение, самообучение, самопроизводство, и связанные с ним процессы самоконструирования, самоизготовления, самосборки, самоконтроля, самовосстановления, самоограничения, самовоспроизведения., самосохранения.

Научным достижением последнего периода стал подробный анализ инструментария, обеспечивающего процессы самоорганизации системы. В числе подобных инструментов обычно рассматриваются: механизмы обратной связи, факторы естественного отбора, эволюционные механизмы, обеспечивающие в том числе адаптаци-

онное и бифуркационное направление развития и др. Между тем, значительно меньшее внимание уделено содержанию самого процесса самоорганизации [4].

Решение задач совершенствования состояния технологических процессов и систем на основе принципов самоорганизации [5] требуют концептуального представления информации как физической величины в той же степени как энергии и вещества, это позволяет моделировать информационные процессы и предсказывать следствия этих процессов на основе знания причин. Использование формулы Больцмана–Шеннона по определению количества информации, основанной на знании вероятности наступления некоторого события не достаточно для решения вышеизложенных задач.

Теоретические разработки харьковских ученых в области системных и информационных исследований технологических процессов и систем позволяют моделировать технологии стратегии и тактики поведения ТС с элементами самоорганизации именно с позиции нового понимания сущности информации, которая отражает сложность (разнообразие) процессов при решении задач самоорганизации. Это означает, что появилась возможность перейти на новый научный уровень решения задач самоорганизации технологических процессов и систем на базе системно-информационных моделей (СИ-моделей), которые являются математическим обеспечением КИТ нового поколения.

Механизм самоорганизации в природных системах лежит в глубинных информационных свойствах самой материи и до конца не изучен. Для технологических процессов и систем механизмом самоорганизации могут стать принципы информационной организации функционирования ТС и КИТ на базе моделей, отражающих новое понимание определения сущности «информации».

Вывод: ТС – это материальный объект искусственного происхождения, который не выполняет функций принятия решений, то есть не формирует и не выбирает альтернативы своего поведения, а только реагирует на внешние (*управляющие и возмущающие*) воздействия, изменяя свои состояния предопределенным его конструкцией образом.

Под "интеллектом" ТС понимается способность самоорганизовываться, самоизменяться, самонастраивать алгоритмы выбора, преобразовывая информацию, в результате действия которого возникают информационные модули, ранее данному субъекту не известные и в готовом виде в него из вне не поступавшие.

Представление информации как физической величины в той же степени как энергии и вещества позволяет моделировать информационные процессы и предсказывать следствия этих процессов при разработке технологий стратегии и тактики поведения технологических процессов и систем при решении задач самоорганизации.

Решение задач самоорганизации технологических процессов и систем являются задачами «искусственного интеллекта».

Целью проведенных исследований в статье является выявление особенностей интеллектуализации компьютерно-интегрированных производств механообработки с позиции системно-информационного подхода.

Изложение основного материала. С позиции методологии системно-информационного подхода все процессы в природе информационно взаимосвязаны. Эта взаимосвязь в виде когерентного поведения начинается с порога чувствительности одного процесса к другому. Одни процессы находятся в состоянии активности *(«видят друг друга»)* другие в состоянии пассивности *(не видят)*, это зависит от значений порогов чувствительности процессов друг к другу. В соответствии с этой теорией передача информации имеет направление, которому соответствуют конкретные для этого направ-

ления значения порогов чувствительности объектов. Когерентность процессов подразумевает стационарные величины порогов чувствительности процессов при передаче информации одновременно в противоположные стороны.

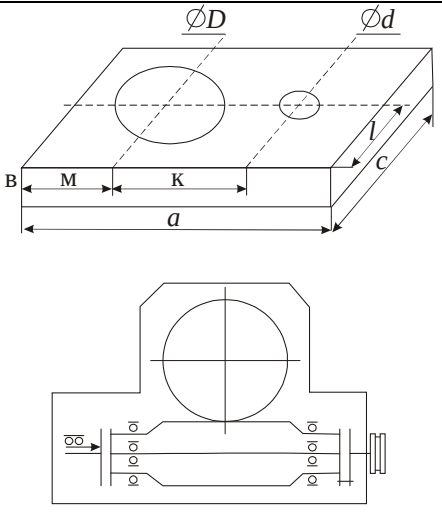
Природу информации подавляющее большинство ученых связывают с всеобщим свойством материи, свойством по существу родственным с ощущением, свойством «отражения». Отражение – это результат воздействия одной материальной системы на другую, это воспроизведение в иной форме изменений (особенностей) одной системы в изменениях (особенностях) другой [5].

Полное множество отражений свойств категориальных атрибутов технических систем в универсуме представлено в таблица 1.

Таблица 1. Множество отражений свойств категориальных атрибутов технических систем в универсуме

№ п/п	Атрибуты	Множество отражений категориальных атрибутов
1	Пространство (R^n)	$I\{f: R^n \to R^n\}$, $I\{f: R^n \to m\}$, $I\{f: R^n \to E\}$, $I\{f: R^n \to t\}$
2	Время (t)	$I\{f: t \to t\}$, $I\{f: t \to m\}$, $I\{f: t \to E\}$, $I\{f: t \to R^n\}$
3	Вещество (m)	$I\{f: m \to E\}$, $I\{f: m \to R^n\}$, $I\{f: m \to t\}$, $I\{f: m \to m\}$
4	Энергия (E)	$I\{f: E \to m\}$, $I\{f: E \to R^n\}$, $I\{f: E \to t\}$, $I\{f: E \to E\}$
5	Информация (I)	$I\{f: I \to I\}$, $I\{f: I \to m\}$, $I\{f: I \to E\}$, $I\{f: I \to t\}$

Таблица 2. Информационные модели детали и сборочного узла в атрибутивном виде



Кинематическая схема элемента механизма подачи станка

Информационная модель детали

Iдетали = Iгеом. + Iформа +Iшерох. + Iповерх. сл.

где: Iгеом. = I(в) + I(а) +I(с) + I(м) + I(к) + I(l) + + I(d) + I(d)

Iформа = Σ Iмакрогеометрия

Iшерох. = Σ Iмикрогеометрия

Iповерх. слоя = Σ Iсвойств материала

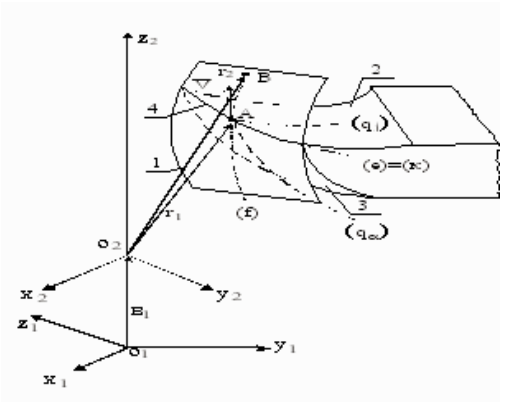
Информационная модель сборочного узла

Iсбор.узла = Iотнос.движ. оси поверхн. + Iрасстоян.исполн.поверх. + + Iотносит.поворотов исп.пов. + ΣIдеталей

Представленное множество отражений лежит в основе информационного моделирования множества свойств технологических систем и процессов в атрибутивном виде.

Информационные модели детали и сборочного узла в атрибутивном виде представлены в таблице 2. Информационные модели формообразования детали в атрибутивном виде представлены в таблице 3.

Таблица 3. Информационные модели формообразования детали в атрибутивном виде



Информационная модель поверхностей резания

$$I^{\text{поверх. резания}} = I_1$$

$$I^{\text{передн. поверх.}} = I_2$$

$$I^{\text{задняя поверх.}} = I_3$$

$$I^{\text{режущ. кромка}} = I_4$$

$$I_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^{4} I_i$$

Информационная модель формообразования

$r_1 \rightarrow r_2$

Iформ{r2 = Yr1 + b1}

где: Y_1 – оператор преобразования

b_1 – вектор связи реперов

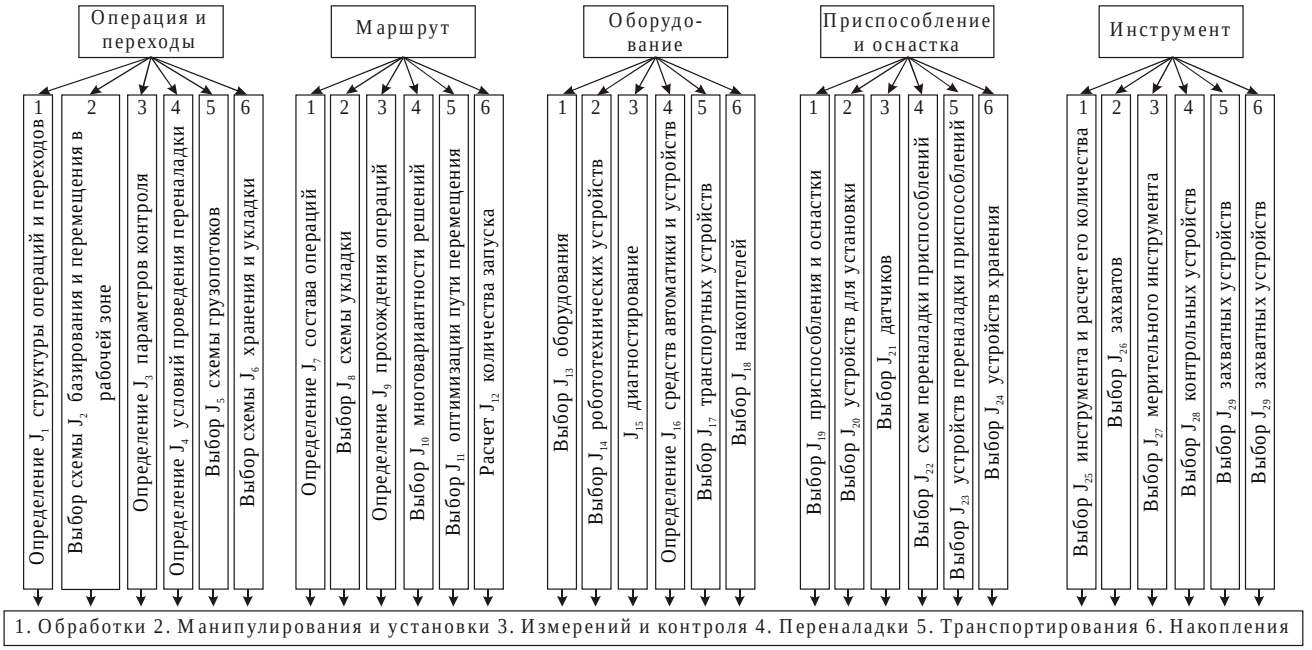


Рис. 1. Самоорганизационные структуры ТП в атрибутивном виде

В атрибутивном виде информационные модели самоорганизации ТП представляют собой отображение атрибутов технологических функций – обработки, установки, контроля, переналадки, транспортирования, на свойства элементов: – операции и переходы, маршруты, оборудование, приспособления и оснастку, инструмент (рис.1).

Технологический процесс является открытой системой, которая обменивается с внешней средой энергией, веществом и информацией. Точкой бифуркации для технологического процесса является момент воздействия внешних организующих факторов, таких как: информация об изменении конструкторско-технологических параметров детали, изменении вида заготовки, изменении размера партии запуска, изменении программы выпуска. Вследствие действия информации этих факторов, происходит изменение информационных структур всего технологического процесса изготовления изделия и его сборки: переналадка основного и вспомогательного оборудования, переналадка системы управления и т.д..

С точки зрения парадигмы самоорганизации условием функционирования ТС является взаимное отражение свойств элементов ТС и атрибутов выполняемых ею функций, т.е. проявление процесса передачи информации. В результате такого отражения происходит обмен веществом, энергией и информацией. Благодаря этому возникает и поддерживается неравновестность, а это в конечном итоге приводит к возникновению новых информационных структур ТС.

Особенностью методологии системно-информационного моделирования является то, что информационные модели атрибутивного вида преобразовываются в модели, которые позволяют определять значение количественной, качественной. и ценностной информации величин моделируемого параметра технологического объекта, его сложность, т.е. множество возможных состояний, закон распределения вероятности перехода параметра из одного состояния в другое, а также место и время его проявления.

Согласно этой методологии [5] источником информации значения физической величины в стохастической системе служит математическое ожидание дискретной случайной величины $I = M = \sum x_i p_i$, а количество информации определяется как $I_{\text{кол}} = \log_2 \frac{M}{\sigma} = \log_2 \frac{\sum x_i p_i}{\sqrt{D}}$, где D – дисперсия, σ – среднеквадратичное отклонение случайной физической величины. Количество информации физической величины в детерминированной системе имеет вид $I = \log_2 \frac{X}{\Delta x}$, где X – параметр системы, Δx – допустимое отклонение параметра.

Системно-информационная модель (СИ-модель) параметра технологического объекта имеет вид $I_{\text{сип}} = \sum_{i=1}^{k} (\ln X_i - \frac{J_{sh}}{p_i})$, где J_{sh} – количество информации по Шеннону [5].

Системно-информационный подход формулирует четыре закона, на основе которых происходят преобразования СИ-моделей состояний процесса (системы) в информационном пространстве свойств

1. Закон тождественного отображения состояния свойств объектов

$$I(e_i) = I(e_j).$$

2. Закон информационного согласования свойств объектов

$$\log_2 \frac{M_A}{\sigma_A} = \log_2 \frac{M_B}{\sigma_B}.$$

3. Закон информационной аддитивности свойств объектов

$$I = \sum_{i=1}^{t} I_i, \; M = \sigma \cdot n^{\sum_{i=1}^{t} I_i},$$

где n – основа логарифма.

4. Закон информационного пространства свойств – информационно взаимосвязанные и согласованные без потери или излишка информации процессы когерентны, а их изменения взаимно однозначны по численным значениям информационных кодов.

Структура самоорганизации КИП механообработки в атрибутивном виде представляет собой иерархию структур: технологической системы, технологических маршрутов, технологических операций и переходов и формообразования рис.2.

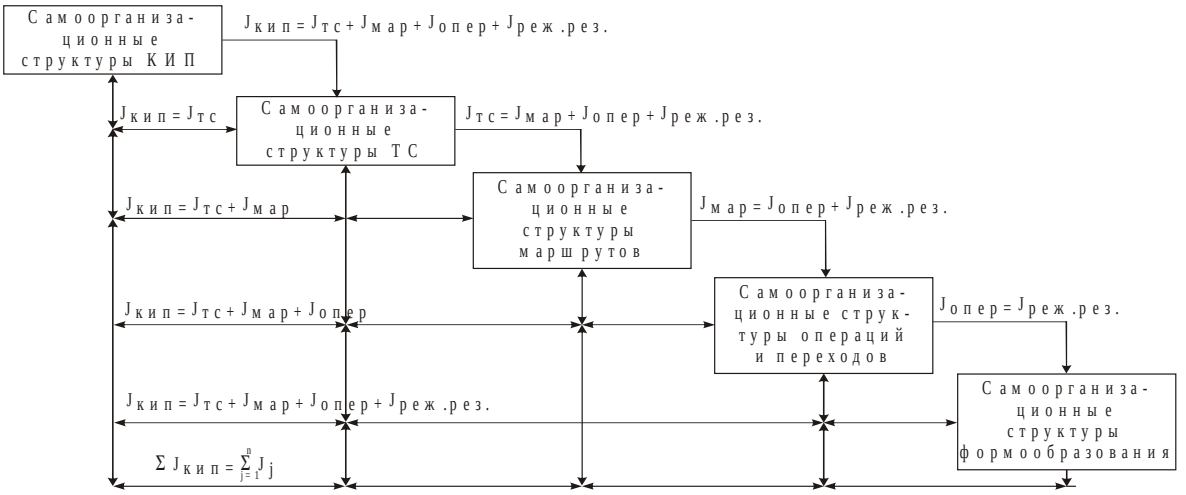


Рис. 2. Иерархия структур самоорганизации КИП механообработки

Таблица 4. СИ-модели самоорганизационных структур формообразования точением и фрезерованием

Информационные параметры формообразования	Формулы и положения
1. Точение: $\ln\frac{L}{R_z}+x_v\ln\frac{t}{IT}+\ln D=\ln T_0+\ln 1000+\ln C_v+\ln K_v+(1-y_v)S_0-\ln\pi-m\ln T+\ln\frac{1}{R_z}+x_v\ln\frac{1}{IT};$	
Информация формообразования	$J_{\text{ф}}^{\text{T}}=\ln\frac{L}{R_z}+x_v\ln\frac{t}{IT}+\ln D$
Информация интенсивности переработки формообразования	$J_{\text{п}}^{\text{T}}=\ln 1000+\ln C_v+\ln K_v+(1-y_v)\ln S_0-\ln\pi-m\ln T+\ln\frac{1}{R_z}+x_v\ln\frac{1}{IT}$
Основное время формообразования	$T_0=e^{(J_{\text{ф}}^{\text{T}}-J_{\text{п}}^{\text{T}})};\quad J(W)=\frac{1}{e^{(J_{\text{ф}}^{\text{T}}-J_{\text{п}}^{\text{T}})}}$
2.Фрезерование: $\ln\frac{L}{R_z}+x_v\ln\frac{t}{IT}+U_v\ln B=\ln T_0+(1-y_v)\ln S_z+(1-P_z)\ln z+\ln 1000+\ln C_v+(q_v-1)\ln D-\ln\pi-m\ln T+\ln\frac{1}{R_z}+x_v\ln\frac{1}{IT};$	
Информация формообразования	$J_{\text{ф}}^{\text{ф}}=\ln\frac{L}{R_z}+x_v\ln\frac{t}{IT}+U_v\ln B$
Информация интенсивности переработки формообразования	$J_{\text{п}}^{\text{ф}}=(1-y_v)\ln S_z+(1-P_v)\ln Z+\ln 1000+\ln C_v+(q_v-1)\ln D-\ln\pi-m\ln T+\ln\frac{1}{R_z}+x_v\ln\frac{1}{IT}$
Основное время формообразования	$T_0=e^{(J_{\text{ф}}-J_{\text{п}}^{\text{ф}})};\quad \dot{J}(W)=\frac{1}{e^{(J_{\text{ф}}^{\text{ф}}-J_{\text{п}}^{\text{ф}})}}$

СИ-модели самоорганизационных структур формообразования точением и фрезерованием представлены в таблице 4.

Структура СИ-моделей технологических объектов имеет иерархический характер [6], в виде синтаксического, семантического и прагматического уровней, различное сочетание которых зависит от порога чувствительности параметров друг другу. Такое сочетание параметров в структуры есть вероятностным и каждое состояние технологического объекта заранее не известно. Выявление таких взаимосвязанных параметров на уровне СИ-моделей позволяет создавать алгоритмы КИТ с элементами самоорганизации.

Физическая сущность информационных структур самоорганизации технологических объектов имеет следующее объяснение. Состояние объекта в виде результата реакции проявляется по отношению к воздействию внешних факторов посредством служебных параметров. Служебные параметры это вершина пирамиды, которые иерархично расположены структурно [6] по отношению к информационно связанными с ними внутренними параметрами системы. Информационно связанные параметры это пространственно-временная корреляция физических и/или других величин (параметров) свойств объектов любой природы, например: технические, экономические, биологические и др.

Задачи стратеги и тактики поведения технологических объектов с элементами самоорганизации (задачи интеллекта) решаются как на физическом уровне, так и на уровне КИТ на базе СИ-моделей. Задачами стратегии для данного производства являются задачи прогнозирования: определение времени изготовления изделия без разработки конкретных технологических процессов, определение затрат энергии и отходов материала на изготовление изделия, определение трудоемкости изготовления изделия, определение достаточности уровня автоматизации процессов производства, определение уровня качества производственных процессов, определение уровня ценности производственных процессов (влияние одних процессов на другие), определение достаточности уровня оптимизации производственных процессов конкретного или проектируемого производства и т.д..Выше перечисленные задачи решаются на основе формализации взаимосвязи исследуемых параметров, которые характеризуются коэффициентом информационной связи, т.е. отношением порогов чувствительности этих параметров. Коэффициенты информационной связи определяются статистически или расчетным путем с использованием опыта работы подобных предприятий.

Задачи тактики поведения технологических объектов являются задачами синтеза, и решаются они начиная из нижнего уровня иерархии структур самоорганизации на базе СИ-моделей в направлении к верхним уровням в рамках норм параметров верхнего уровня, заданных при решении задач стратегии.

Использование КИТ механообработки нового типа на базе СИ-моделей для решения задач стратегии и тактики поведения технологических объектов при их функционировании отвечают формальным признака понятия технология. Они базируются на *методе* - системно-информационном подходе к технологическим процессам и системам, *средствах* – использовании СИ-моделей технологических объектов, *способе* – реализации *метода и средств* в КИТ механообработки, и *процессе* – процессе самоорганизации технологических процессов и систем механообработки.

Выше изложенная методология самоорганизации КИП механообработки применена на базе КИТ в разработанном программном продукте DISLUT, который прошел апробацию на ряде харьковских машиностроительных предприятий.

DISLUT базируется на СИ-моделях самоорганизации механообрабатывающего производства. Программное обеспечение DISLUT позволяет: без разработки конкретных технологических процессов на ранних этапах жизненного цикла изделия определять с определенной ошибкой аппроксимации время изготовления изделия, себестоимость, затраты материальных и

энергетических ресурсов и др.; оптимизировать технологические операции, выбирать технологический маршрут; управлять качеством изготовления изделия и т.д.

Заключение. Интеллектуализация КИП механообработки заключается в разработке ТС и ТП с функциями самоорганизации. Интеллектуализация ТС и ТП механообработки видоизменяет структуру общепринятых функций производства, появляются функции ранее не присущие: самоорганизация заготовительных операций, самоорганизация проектирования и изготовления оснастки, самоорганизация технологической подготовки производства, самопроизводство.

Для решения задач интеллектуализации КИП механообработки необходимо провести ряд научно-исследовательских работ по: синтезу ТС и ТП с информационно связанными параметрами; информационно-функционально-стоимостному анализу ТС и ТП с информационно связанными параметрами; прогнозированию на ранних этапах жизненного цикла: эффективности производства, времени изготовления изделия, затрат материала и энергии, затрат денежных средств и т.д.; созданию алгоритмов управления качеством изготовления машин на базе оперативного анализа детерминированной и стохастической информации параметров изделия.

Список литературы:

1. В определении использовано понятие «система», предложенное академиком Анохиным А. П. и дополненное в монографии: Карташев В. А. Система систем / Очерки общей теории и методологии. – М.: Прогресс-Академия, 1995. – 416 с.

2. Хокинс Дж. Об интеллекте = On Intelligence / Хокинс Дж., Блейксли С. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 240.

3. Gottfredson L.S. Mainstream Science on Intelligence / Gottfredson L.S. // Wall Street Journal. December 13, 1994. – P. A18.

4. Мельник Л.Г. Научные основы самоорганизации экономических систем / Л.Г. Мельник // Механізм регулювання економіки. – 2010. – Ч.1. – №3. – Т.1.

5. Луцкий С. В. Теоретические основы системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам: монография / С. В. Луцкий. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 238с.

6. Луцкий С.В. Компьютерно-интегрированные производства машиностроения с элементами самоорганизации / С.В.Луцкий // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сб. научных трудов. – 2011. – Вып. 42. – С. 156-162.

Надійшла до редколегії 01.02.2012.

С.В. Луцький

ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ МЕХАНООБРОБКИ З ПОЗИЦІЇ СИСТЕМНО-ІНФОРМАЦІЙНОГО ПІДХОДУ

У статті розглядаються питання використання положень теорії системно- інформаційного підходу до технологічних процесів та систем при аналізі особливостей інтелектуалізації комп'ютерно-інтегрованих виробництв механообробки.

***Ключові слова**: інтелектуалізація, самоорганізація, інформація, система, технологія.*

S. Lutsky

FEATURES INTELLECTUALIZATION COMPUTER INTEGRATED MACHINING PRODUCTION FROM THE POINT SYSTEM-INFORMATION APPROACH

The article deals with the use of the theory of system-information approach to technological processes and system in the analysis of the features of intellectualization of computer-integrated production-leaf machining.

***Keywords:** intellectualization, self-organization, information, system, technology.*