

3.12. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Мизюн В.А., к.т.н., доцент кафедры менеджмента организации;

Ярыгин О.Н., к.п.н., доцент кафедры менеджмента организации;

Султанов А.Г., аспирант кафедры финансов, экономики и бухгалтерского учета

Тольяттинский государственный университет

В статье рассматриваются методологические проблемы формализованного описания системной динамики и машинного моделирования самоорганизации бизнес-процессов в интегрированных производственно-экономических структурах.

Представлены информационные технологии интеллектуальной поддержки когнитивных процессов познания и принятия решений по гармонизации/синхронизации работы реконфигурируемых автоматических систем машин и персонала организаций при создании и изготовлении наукоемкой продукции, позволяющие повысить качество и производительность труда, энергоэффективность и уровень инновационности производства.

Приведенные в статье результаты исследований ориентированы на создание эффективных методов и систем управления производственными процессами и предприятиями в промышленности.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития производительных сил происходит постепенный переход от эксплуатации неквалифицированного труда, капитала и масштабов деятельности, к дальнейшему экономическому росту за счет интеллектуализации факторов производства посредством автоматизации и роботизации технологических процессов, широкого вовлечения персонала предприятий в процесс управления и накопления знаний, а также генерации на этой основе нововведений как источника материального существования и развития постиндустриального общества. Наличие высокотехнологичного наукоемкого производства, опирающегося на передовые технологии и активное начало интеллектуальных компонентов/агентов адаптивных самоорганизующихся производственных систем, избирательно интегрирующихся для достижения оптимального результата с наименьшими затратами ресурсов и времени, является существенным конкурентным преимуществом и, соответственно, важным фактором устойчивого развития страны в глобальном мире.

Преобладающее в российской экономике переходного периода массовое/крупносерийное машиностроительное производство, рассчитанное на стабильный выпуск узкой номенклатуры продукции, изживает себя в условиях растущей конкуренции на внутреннем и мировом рынках. Сохранение наукоемкого машиностроения требует реализации инновационной стратегии развития адаптивных/интеллектуальных производственных систем, с высоким уровнем приспособляемости (гибкости структуры и компоновки) систем машин к изменяющемуся рыночному спросу, позволяющих изготавливать широкую гамму сложной технической продукции с постоянно обновляемым модельным рядом. Требование гибкости производства вступает в противоречие с существующей на сегодняшний момент технологической базой индустриальной экономики, основу которой составляет производственные системы с жесткой структурой бизнес-процессов и используемых в них специализированных станков и оборудования, существенно ограничивающих возможность адаптации производства к изменениям

рыночной конъюнктуры. Преодоление данного конфликта в развитии производительных сил общества может быть осуществлено посредством проведения теоретических и прикладных исследований, связанных с повышением эффективности производства на основе создания компьютерно-интегрированных адаптивных производственных систем и интеллектуальных предприятий с автоматически изменяемой структурой, как по объему, так и номенклатуре выпуска продукции. Организация гармоничного интегрированного производства предполагает формирование распределенной технологической среды, обеспечивающей возможность автоматического образования, функционирования и самоорганизации (саморегулирования параллельной работы) сложного комплекса/систем машин, технические параметры и эксплуатационные характеристики которых определяются текущими условиями производства. Последнее существенно ограничивает возможность прямого директивного вмешательства в условно-автономный процесс организации и регулирования работы комплекса автоматических систем машин со стороны операторов интеллектуальной производственной системы, что, в свою очередь, требует разработки гибких, адаптивных инструментов (способов и технологий) управления, использующих принципы и механизм синергетического взаимодействия / кооперации активных элементов данной системы (интеллектуальных агентов – систем машин и/или людей), обеспечивающего высокую степень координации / синхронизации параллельных процессов их совместного функционирования. Передача общесистемной функции/инициативы управления активным элементам интегрированной производственной системы / бизнес-структуры является масштабной научно-исследовательской проблемой, предполагающей развитие теоретических положений, методологического и инструментального обеспечения для адекватного экономико-математического моделирования процессов ее формирования и функционирования на распределенной информационно-технологической матрице с целью изучения феномена самоорганизации, способов ее поддержки и регулирования.

Данная проблематика продолжительное время и достаточно широко изучалась в рамках синергетики как междисциплинарного научного направления, содержащего свод универсальных положений и моделей нелинейной динамики неравновесных физико-химических процессов в неживой природе, частично применимых для организации управления сложными динамическими системами различных видов, в том числе социальными и организационно-экономическими образованиями. Теоретическую платформу синергетики составили диалектика и нелинейная термодинамика, объяснявшие на первоначальном этапе исследования отдельных сторон мироздания взаимодействие базовых компонентов систем неживой природы на основе вероятностно-статистических закономерностей их причинно-следственных (казуальных) отношений, экзогенно задаваемых силовыми физическими полями/внешней средой [55]. В рамках исследований в области нелинейной динамики, квантовой механики, теории автоколебаний упругих однородных сред и других направлений современной физики, теоретической астрономии и химии был введен ряд понятий (равновесные и неравновесные состояния, динамический хаос, бифуркации, и т.д.) и разработаны математические модели-абстракции, которые неправомерно пытаются применить в расширенном смысле современные исследователи для объяснения законов организации всех форм материи [69]. Созданные на их основе методы и средства моделирования/исследования динамики функционирования наиболее сложных/высших форм организации живой природы дают неполное представление о свойствах и потенциальных возможностях изучаемых объектов и явлений, в том числе организационно-технических систем (например, таких как гибкое производство) по причине отсутствия адекватного аппарата имитации взаимодействия/кооперации их элементов в машинной среде.

Изучение универсальных/изоморфных принципов системогенеза и структурной организации биологических организмов, социальных и экологических систем стало предметом более поздних изысканий, результаты которых нашли свое отражение в физиологии И.П. Павлова, системных исследованиях

Людвиг фон Берталанфи и П.К. Анохина и др., работах их учеников и последователей. Именно они должны быть приняты за основу современных исследований в области теории самоорганизующихся (многоагентных/интеллектуальных) систем, которые опираются на активное начало их компонентов, проявляющееся по мере усложнения форм организации материи начиная с биологического уровня [33, 82, 85]. В этой связи совершенствование научного инструментария исследования процессов самоорганизации и функционирования интеллектуальных систем с применением передовых информационных технологий может рассматриваться как самостоятельное направление прикладных работ, результаты которых будут полезными при разработке интеллектуальных информационных технологий управления сложными динамическими объектами и процессами; создании и эксплуатации гибких производственных систем и робототехнических комплексов, обладающих целенаправленным адаптивным поведением; в вузовской подготовке специалистов в данной области (инженеров и экономистов), важную роль в процессе обучения которых занимает компьютерное/имитационное моделирование. Тем не менее, труды российских ученых, посвященные данной тематике, публикуются крайне редко, что говорит об отсутствии со стороны отечественной науки должного внимания к этому перспективному направлению теоретических и прикладных исследований, актуальность, научная и практическая значимость которого определили выбор освещаемых в статье методологических проблем и путей их решения.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В современных условиях (начиная с 1980-х гг.) под влиянием научно-технического прогресса в технике и технологии машиностроения происходят существенные изменения форм организации производства товаров, обусловленные механизацией и автоматизацией бизнес-процессов. Одной из таких форм, получившей применение при внедрении средств автоматизации в гибкую производственную систему, является интегрированная форма организации производства, которая предполагает объединение основных и вспомогательных операций в единый производственный процесс с линейной и/или ячеистой (матричной) структурой при параллельно-последовательной и/или параллельной передаче предметов труда в производстве¹. В отличие от существующей практики раздельного проектирования операций /микропроцессов складирования, транспортировки, управления и обработки на участках с интегрированной формой организации эти частичные процессы увязываются в единый производственный процесс. Это достигается путем объединения всех рабочих мест с помощью автоматического транспортно-складского комплекса, который представляет собой совокупность взаимосвязанных автоматических и складских устройств, средств вычислительной техники, предназначенных для организации хранения и перемещения предметов труда между отдельными рабочими местами. Управление ходом производственного процесса здесь осуществляется с помощью ЭВМ, что обеспечивает функционирование всех элементов/участков производственной системы по следую-

щей схеме: поиск необходимой заготовки на складе – транспортировка заготовки к станку – обработка – возвращение детали на склад. Для компенсации отклонений во времени при транспортировке и обработке деталей на отдельных рабочих местах создаются буферные склады межоперационного и страхового заделов [2, 4, 7, 26, 27].

Экономический эффект при переходе к интегрированной форме организации производства достигается за счет сокращения длительности производственного цикла изготовления деталей, увеличения времени загрузки станков, улучшения регулирования и контроля процессов производства. Принципиальной особенностью интегрированных производств является наличие новой компоненты – компьютерной системы управления, а также широкого применения информационных технологий, обеспечивающих возможность увязки отдельных процессов, функций и задач в единую систему для повышения эффективности производства. Дальнейшее развитие работ в данном направлении в конце 1980-х – начале 1990-х гг. привело к появлению понятия компьютеризированного интегрированного производства (КИП). Концепция КИП подразумевала новый подход к организации и управлению производством, новизна которого заключалась не только в применении компьютерных технологий для автоматизации технологических процессов и операций, но в создании интегрированной информационной системы управления производственной деятельностью предприятия. Предполагалось, что достижение информационной интеграции производственно-технологических процессов возможно осуществить на основе использования общих баз данных, позволяющих более эффективно решать вопросы разработки и проектирования изделий, инженерной подготовки, планирования и регулирования производства, решения задач материально-технического обеспечения, охватывая таким образом все бизнес-процессы предприятия.

Разработке и практическому воплощению концепции КИП был посвящен целый ряд работ российских и зарубежных ученых [3, 18, 28, 51, 61, 78, 89]. В рамках государственной научно-технической программы «Технологии, машины и производства будущего» в 1988 г. в СССР началась реализация комплекса проектов по созданию автоматизированных заводов (АЗ) «Красный пролетарий» по производству металлорежущих станков и «Тверского завода штампов», представляющих собой попытку практической реализации концепции КИП. Было выполнено предварительное проектирование АЗ, изготовлены опытные образцы нового оборудования, создан испытательный полигон, созданы основные компоненты интегрированной автоматизированной системы управления. Ряд подобных проектов был осуществлен также и за рубежом. Одним из первых стал проект АЗ, реализованный в Японии фирмой Mazak, для производства деталей металлорежущих станков. Завод включал в себя:

- комплекс гибких производственных модулей (ГПМ) и ГПС;
- автоматизированные склады;
- робокарную транспортную систему.

Предусматривалось использование компьютерных сетей для сервисной и технической поддержки филиалов, а также взаимодействия с предприятиями-поставщиками комплектующих изделий. В целом за период 1985-1995 гг. в разных странах было создано около 20 КИП с различным уровнем автоматизации, из которых восемь АЗ выпускали металлорежущее оборудование, четыре –

¹ В соответствии с ГОСТ 26228-90 гибкая производственная система (ГПС) – это «...управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий».

изделия для аэрокосмической промышленности (США), остальные КИП были ориентированы на выпуск различных агрегатов широкой номенклатуры, включая компоненты вычислительной техники и электрических машин. От внедрения КИП ожидалось:

- уменьшение размеров предприятий;
- увеличение коэффициента использования оборудования и снижение накладных расходов;
- значительное уменьшение объема незавершенного производства;
- сокращение затрат на рабочую силу в результате организации «безлюдного» производства;
- ускорение сменяемости моделей выпускаемой продукции в соответствии с требованиями рынка;
- сокращение сроков поставок продукции и повышение ее качества [32, 35, 57, 58, 94].

Тем не менее, несмотря на то, что изысканиям в области применения информационных технологий в гибком производстве было посвящено значительное число научных исследований, а на создание экспериментальных компьютерно-интегрированных производств затрачены значительные финансовые средства, – достичь поставленной научно-практической задачи общей / глобальной интеграции производственного процесса посредством автоматизации управления не удалось. По ряду объективных причин, а также из-за допущенных методологических ошибок системотехнического характера, проекты не были реализованы в полном объеме, а научно-технический задел, полученный в результате проведенных НИОКР, использован в проектах меньшего масштаба. Неудачи в реализации идей и принципов КИП, равно как и многих проектов по разработке автоматизированных систем управления производственными процессами (АСУПП) в 1980-1990-х гг. были обусловлены тем, что в их концепцию изначально заложен принцип максимально возможной степени автоматизации управления, практически полностью исключая участие людей-операторов (лиц принимающих решения) в управлении производством. Сторонники замены естественного интеллекта человека его искусственным пододбием для решения различных практических задач изначально ограничились изучением закономерностей поведения объектов управления (ввиду их сложности) на основе сравнения входных воздействий и выходных результатов, игнорируя при этом их внутреннее устройство [13, 21]. Данный методологический подход, известный в кибернетической науке как принцип «черного ящика», получил широкое развитие в теории автоматического управления и обеспечил удовлетворительные результаты в создании технических устройств. Однако, попытки расширить границы его применения до уровня управления сложными социально-экономическими системами с активными элементами (людьми) оказались бесперспективными. По данной причине, несмотря на существенный вклад этой категории исследований в инженерии знаний, реализация многих проектов автоматизированных систем управления в 1980-1990-х гг. закончилась отрицательным результатом. Неуклонное следование идее замены человека машиной поставило перед исследователями и разработчиками КИП сложную методологическую проблему адекватного представления в машинной среде знаний о реальных объектах и процессах, решить которую посредством аппарата теории автоматического управления и формализованных методов классической математики объективно не возможно в подавляющем большинстве случаев. Попытки решения

трудно формализуемых и не формализуемых задач управления, преобладающих в сложных производственных-экономических системах, с помощью ограниченного интеллекта ЭВМ с классической архитектурой приводили к грубым ошибкам в оперативном регулировании сложного динамического процесса производства. Неразрешимые в рамках этого направления методологические проблемы не позволили разработчикам создать в машинной среде автономную (т.е. не требующую дополнительного обращения к интеллекту человека) модель управления производством. Компромиссным/частичным решением сложной задачи автоматизации управления производственной деятельностью стали проектные и планово-учетные аналитические задачи, реализуемые с помощью систем поддержки принятия решений в составе так называемых корпоративных информационных систем (КИС).

В конечном итоге концепция КИП исчерпала свои возможности в 1990-х гг., ограничившись задачами автоматизации технологических операций (процессов) в многофункциональных обрабатывающих центрах, позволяющих изготавливать детали на одном рабочем месте в одну установку. Создаваемые на их основе гибкие роботизированные производства с избыточной функциональностью (ГПС / flexible manufacturing system / FMS) способны в полуавтоматическом (условно-автономном) режиме осуществлять параллельную обработку деталей/многопредметное производство изделий в пределах заданной номенклатуры без необходимости прерывания на переналадку и/или передачи предметов труда на другие обрабатывающие центры. Приспособление к выпуску новых изделий осуществляется за счет изменения рабочего состояния (переналаживания технических средств / инструмента, перепрограммирования системы управления и т.п.) ГПС [11, 18, 59].

Основу большей части таких адаптивных/гибких роботизированных производственных систем составляют многофункциональные обрабатывающие центры на базе вертикальных металлорежущих станков (например, немецкой станкостроительной фирмы Maschinenfabrik Berthold Hermle AG), которые способны выполнять практически любые технологические операции в одну установку заготовки / детали (токарная обработка, фрезерование, сверление, развертывание, шлифование, резьбонарезание, зубофрезерование, лазерная сварка). В результате их объединения с роботизированной системой загрузки/выгрузки деталей и большегрузным стеллажом может быть создана высокопроизводительная адаптивная производственная система (в качестве примера может быть приведена роботизированная система RS4 той же станкостроительной фирмы). Такая ГПС может включать до трех встроенных обрабатывающих центров с возможностью ее разблокировки относительно того или иного обрабатывающего центра. Это позволяет обслуживать как роботизированную систему, так и обрабатывающий центр вручную, не прерывая автоматический процесс работы другого модуля. В такой системе можно использовать сменные большегрузные стеллажи самой различной конструкции. С помощью автоматически заменяемых одинарных / двойных захватов возможна загрузка и выгрузка заготовок, обрабатываемых деталей и паллет. Это обеспечивает максимальную степень адаптивности применительно к размерам деталей (длительное время работы шпинделя) и оптимальную загрузку в трехсменном режиме, в том

числе и в выходные дни (малолюдное / безлюдное производство).

В настоящее время перспективные разработки крупнейших мировых производителей, связаны с увеличением функциональной/технологической избыточности машиностроительного производства на основе новой концепции интегрированных (блочно-модульных) производственных систем, обладающих возможностью адаптации своей пространственно-временной организации/архитектуры к изменениям рыночного спроса на продукцию в зависимости от применяемых методов организации производства. Интегрированная/блочно-модульная структура производства предполагает объединение (пространственное сближение) разнородных технологических детапеоераций и применяемого для их осуществления разнотипного оборудования в производственно-технологические ячейки (рабочие центры/станции) с многопредметной специализацией, при изготовлении (сосредоточенной/точечной обработки) группы однородных по конструктивно-технологическим признакам изделий, и создание на их основе гибкой распределенной технологической среды с избыточной функциональностью (по подобию матрицы; рис. 1).

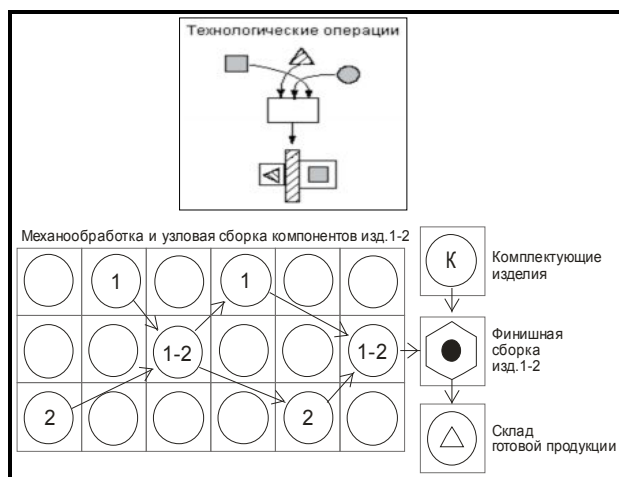


Рис. 1. Блочно-модульная / матричная организация гибкого производственного процесса на основе ячейистой структуры технологических участков

Модули/ячейки работают одновременно и сконструированы так, что при выполнении одного рабочего цикла одновременно осуществляется несколько операций различных видов. Последнее исключает необходимость перемещения и ожидания деталей в очереди между операциями обработки, снижают уровень материально-производственных запасов и количество рабочих, обеспечивая минимизацию затрат и увеличение оборачиваемости ресурсов. Блочно-модульная / матричная структура производственной системы дает возможность компоновать многомерные виртуальные технологические цепочки с различной пространственно-временной конфигурацией посредством дублирования / резервирования технологических ячеек (дополнительных единиц оборудования и транспортных зон), а также гибкой схемы расстановки рабочих-многостаночников. Это позволяет попеременно включать технологические ячейки в работу при последовательном чередовании сходных технологических процессов / партий предметов труда на многопредметных групповых / переменнo-поточных линиях со сплошным запуском.

На практике формирование гибких производственных ячеек осуществляется путем концентрации на обособленном участке всего комплекса технологического оборудования, необходимого для непрерывного производства ограниченной номенклатуры изделий, и объединения группы рабочих на выпуске конечной продукции с передачей им части функций по техническому и инструментальному обслуживанию производства, планированию и управлению ходом работ на участке [59, 63, 92]. Проведение дальнейших исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении предполагает преимущественное использование машин и оборудования автоматического действия, и связаны с развитием новой концепции мехатронных обрабатывающих центров / модулей, обладающих возможностью автоматического изменения их инструментальной компоновки и пространственной конфигурации в реальном режиме работы прерывно-поточного производства. В конечном итоге, это позволит преодолеть противоречие между новыми требованиями конкурентного рынка и отстающей в развитии технологической базой машиностроения, рассчитанной на массовый / крупносерийный выпуск одномоделной продукции, путем замены станков и агрегатов с жесткой функциональной структурой и компоновкой на гибкие производственные модули / системы (ГПС / FMS) с последующим переходом в будущем на реконфигурируемые производственные системы (РПС / Reconfigurable manufacturing system/RMS²). Развиваемая за рубежом концепция RMS, рассматривается как альтернатива гибким производственным системам. Ее реализация началась за рубежом с середины 1990-х гг. в США и затем в Германии, Японии (Koren Y., Ulsoy A.G., Mehrabi M.G.) С этой целью был создан и активно действует научно-исследовательский центр в составе Мичиганского университета, который по сути является национальным центром развития и реализации концепции RMS в США (Engineering manufacturing center for Reconfigurable manufacturing systems, University of Michigan), вписанной в концепцию национального развития машиностроительного производства до 2020 г. (Visionary manufacturing challenges for 2020), как одно из основных научно – исследовательских направлений по созданию реконфигурируемых производств и предприятий (Reconfigurable enterprises). При данном центре образован и действует экспериментальный завод для проведения и реализации исследований. Созданию подобного рода систем в нашей стране послужили проведенные в 1970-х гг. фундаментальные исследования в области развития теории систем машин автоматического действия (Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я., Петрокас Л.В.). Изучение возможностей и формирование принципов изменения компоновки в системах машин осуществляется в настоящее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аналогичные исследования по созданию и применению RMS в машиностроении проводятся в Тольяттинском государственном университете проф. Царевым А.М. [84].

Как видно из представленных выше рассуждений, современная концепция перекомпоновываемых систем реконфигурируемого производства предоставляет широкие возможности для повышения конкурентоспособности (мощности/интенсивности и адаптивности) и технологи-

² Классическая RMS включает такие компоненты как RMT – реконфигурируемый станок, CNC (computer numerical control) – оборудование, управляемое компьютерами), участки контроля (inspection stage), связанные транспортной системой.

ческого развития наукоемкого машиностроения. Однако при этом она требует обеспечения точной координации (синхронизации) параллельных технологических процессов / операций в составе единой / интегрированной производственной системы с целью ее непрерывной работы. Для того чтобы параллельные операции выполнялись в общем операционном процессе согласованно, обеспечивая тем самым непрерывную обработку и перемещение предметов труда от операции к операции подобно потоку, необходимо соблюдение двух основных условий, известных в теории организации как принципы пропорциональности (равномерности) и временной согласованности (ритмичности) совместных технологических операций / действий [14, 75].

Реализация принципа пропорциональности осуществляется в сложной операционной системе путем дискретизации (равномерного, кратного деления) подлежащего обработке объема материальных (информационных) ресурсов или работ на равные доли, которые обладают общей для операционной системы размерностью (например, планово-учетная единица в машиностроении – «машинокомплект», или унифицированная единица измерения количества информации в вычислительной системе – «бит» и т.п.). Реализация принципа согласованности операций во времени заключается в дискретизации операционного цикла на равные по времени отрезки, обладающие единой общесистемной размерностью называемой тактом операционной системы. Таким образом, в сложной операционной системе, допускающей использование нескольких параллельно работающих процессоров, многочисленные операции должны выполняться в равных (кратных) объемах и в равные промежутки времени, которые соответствуют такту работы системы.

Равномерное и ритмичное осуществление совместных действий (параллельных операций) в организационной науке, в частности в организационной системотехнике, принято называть выравниванием движения потоков материальных (информационных) ресурсов / хода работ или синхронизацией, а показатель производительности операционной системы, измеряемый как объем операций, выполняемый за один такт работы системы – системоквантом (в англоязычной терминологии *pitch* – питч). Рассчитывается системоквант / питч исходя из числа изделий, размещающихся в одном транспортном контейнере готовых изделий, или в нескольких целых контейнерах или их частях. Системоквант / питч – это произведение времени изготовления одного изделия на задающем ритм участке производства на число готовых изделий в транспортном контейнере. Данное число, например, является основной плано-учетной единицей при составлении производственного плана выпуска изделий в производственной системе автомобильного концерна Toyota (TPS). Синхронизация является наиболее эффективным методом системной организации параллельной непрерывной работы нескольких исполнительных устройств в общем процессе функционирования операционной системы, а также его адаптации к меняющимся условиям внешней среды. В свою очередь это требует применения более эффективных способов синхронизации процесса функционирования сложных динамических систем, к которым с полным основанием можно отнести описанные ниже интеллектуальные формы организации, методы и распределенные / ассоциативные модели управления

комплексными исполнительными устройствами, параллельно работающими в единой операционной системе [48, 49, 76, 77].

Сегодня при организации управления интегрированным производством предпринимаются безуспешные попытки использовать для этих целей принципы и средства прагматики, а также используемый в ней бескомпромиссный принцип математической формализации системы (М.Д. Месарович, А.Г. Раппопорт и др.), в соответствии с которым разработчиками сначала на исключительно теоретическом основании формулируется концептуальная математическая модель системы с применением аппарата классической математики (вариационные и дифференциальные исчисления, логика предикатов и т.п.), и только после этого начинается объяснение реальных закономерностей ее построения и функционирования [16, 17, 43, 50, 53, 67]. Логика современного подхода к математическому моделированию сложных динамических систем состоит в обратном порядке их исследования, так как истинные системные закономерности могут быть выявлены только по результатам прикладных изысканий / натуральных наблюдений за поведением социальных и экономических (организационных) систем. Именно этот материал должен стать основой математического анализа и строгой формализации теоретических принципов построения и функционирования адаптивных / саморегулируемых производственных систем (по П.К. Анохину), которые существенно отличаются от тех, что используются при организации массового, серийного и/или гибкого поточного производства. Для их формулирования напомним, что адаптивные системы живой природы, которые являются прототипом интегрированных производственных систем, представляют собой органическую совокупность простых/базовых элементов, «эволюционная сборка» которых в единое целое, осуществляется с помощью различных типов связей и последующей их дифференцировкой по выполняемым функциям (ответной реакции на состояние среды). Каждый элемент интегрированной адаптивной системы концептуально формируется как жесткая условно-автономная программа / модуль восприятия характеристики среды и ограниченного набора ответных действий на ее изменение. С целью согласования параллельной работы элементов интегрированной системы осуществляется консолидация программ «двигательных ответов» различной сложности посредством образования между ними гибких информационных связей, образующихся посредством последовательного объединения (ассоциирования) специфических элементов подсистемы управления (аналогами которых являются цепочки реле-автоматов / ансамбли формальных нейронов, используемые технической кибернетикой) по которым передаются импульсы инициализации / остановки программ. Таким простым кибернетическим способом обеспечивается рост функциональной избыточности и образование более сложных координированных (синхронизированных), и соответственно, адекватных воздействию среды программ «двигательных ответов» системы. Морфологически (структурно) формирование / программирование сложных синхронизированных двигательных ответов на воздействие среды реализуется посредством «погружения» программ в распределенную однородную информационную среду ассоциативного типа, которая способная гибко менять и дополнять связи между «ге-

нетически» заданными программами «двигательных ответов» без каких-либо ограничений в функционировании адаптивной системы. Естественнонаучные эксперименты в области нейрокибернетики убедительно доказывают, что природа использует простые элементы (программы) для создания сложных форм организации материи, а управление параллельными процессами их функционирования в единой системе мироздания осуществляется на основе ассоциативных связей, образующих распределенную ассоциативную среду информационного взаимодействия [42, 86].

Процессы информационного взаимодействия активных элементов в адаптивных (саморегулируемых / интеллектуальных) системах изучаются с начала 1950-х гг. различными направлениями теоретической кибернетики:

- теорией автоматов;
- робастных и многоагентных систем;
- нейроинформатики, в частности разработчиками систем распределенного искусственного интеллекта, на основе объединения / ассоциирования в сложные многомерные сети различных преобразователей (логических решателей и программ обработки) дискретной информации. Последние являются аналоговыми ассоциативными моделями отображения знаний о реально существующих процессах переработки информации в биологических, вычислительных, производственно-экономических и других интегрированных системах, которые позволяют объективно исследовать и характеризовать принципы их построения и функционирования [1, 12, 36, 62, 68, 81, 87, 98].

Ассоциативная форма представления знаний, в отличие от других подходов (математического, логического, алгоритмического, объектного / фреймового), использует понятие формальной системы:

$$A = (U, C, L, I),$$

где

A – ассоциативная система представления знаний;

U – множество узловых элементов ассоциативной сети;

C – множество контактных связей (коннекций);

L – множество правил построения сети;

I – правила/процедура ассоциативного вывода новых знаний.

В такой модели имеющиеся знания об объекте исследования (пространственно-временная структура и законы функционирования) представлены в виде распределенной многомерной сети узловых элементов, которые являются абстракциями реальных объектов, явлений и процессов. Данная модель представления знаний возникла благодаря развитию представлений о системной организации природы, феноменов сознания, памяти и мышления, изучаемых в рамках теории систем, кибернетики и психологии. Преимущество ассоциативного / интеллектуального подхода заключается в возможности получения / продуцирования новых знаний путем автоматического / спонтанного установления новых связей / коннекций узловых элементов при достижении оптимальной величины соответствующего критерия эффективности (цены, энергозатрат, времени выполнения операции и т.д.), фиксирования / запоминания и последующей идентификации оптимальных режимов функционирования / поведения системы в реальном режиме времени подобно тому, как это осуществляется в живых организмах. Свойство продуцирования новых знаний (когнитивность), характерное для ассоциативных / интеллектуальных форм представления знаний, приближает их по эффективности информационных процессов

обработки и анализа сложной плохо структурированной информации к биологическому прототипу – нервной системе человека.

Специфической особенностью ассоциативных моделей знаний является их многомерность (иерархичность сетей) и особые пространственно-временные формы организации связей, основными из которых являются:

- вычислительные алгоритмы и логические базисы взаимодействия элементов сети, основанные на оценке текущих параметров состояния элементов сети и отнесении их по принадлежности к заданным интервалам (нечетким множествам) и / или определении вероятности наступления фактов-событий с учетом частоты взаимодействия элементов (силы связей, подобно синоптическим связям нейронов мозга);
- адаптивные / аналоговые алгоритмы с пороговым или линейно ограниченным выходом управляющего импульса / сигнала, сила которого определяется физически частотой взаимодействия элементов при обучении искусственной нейросети.

При этом архитектура нейронной ассоциативной модели отображения знаний по сравнению с простой логической сетью всегда является многоуровневой / слоистой. Нейросеть состоит из иерархически связанных локальных сетей (подсистем), объединенных по функциональному признаку, что обеспечивает эффективную координацию их узловых элементов соответствующим метауровнем благодаря разделению функций между слоями нейросети. Такой подход является приближенной аналогией известного в нейропсихологии механизма метакогнитивной пространственно-временной интеграции нейронных цепочек мозга, основанной на принципе информационного параметрического резонанса интерференционных узоров волн активации нейронов (биоритмов) коры головного мозга и голографической модели распространения, фиксации / хранения и синтеза информации, изучаемой когнитивной психологией, нейроинформатикой, теоретической физикой [19, 20, 39, 40, 41, 48, 95, 96, 97].

Развитие интеллектуальных информационных технологий и систем происходит в рамках работ по созданию систем распределенного искусственного интеллекта для решения различных теоретических и прикладных задач:

- организации управления динамическими объектами и процессами;
- распознавания образов и классификация проблемных ситуаций, интеллектуального анализа (структурировании и обобщения / аппроксимации) больших массивов данных;
- разработки обучающих программ;
- создании нейроподобных / неврологических аппаратно-программных средств и аналоговой микроэлектроники (нейроплат-сопроцессоров в составе обычных ЭВМ и нейрокompьютеров, 1986-1989 гг.).

Результаты исследований в данной области информатики позволяют предположить, что в ближайшее время на основе ассоциативного подхода могут быть созданы системы со сложной структурой и поведением, приближающиеся к высшим биологическим формам организации материи (роботы японских корпораций Сони – SDR/3 и Хонда – P/3, интегрированные интеллектуальные / цифровые системы управления предприятиями компании Microsoft, которой принадлежит табличный процессор Excel, являющийся примером успешной коммерческой реализации данного направления информатики) [73, 74, 79].

Наиболее удачная в технологическом отношении реализация этого подхода успешно осуществлена (на

наш взгляд) английским ученым-математиком Стефаном Вольфрамом (1986, 1991), которым на основе известного аппарата теории клеточных автоматов была разработана универсальная компьютерная среда для моделирования и исследования динамических систем (программа Mathematica), созданная путем интеграции простых компьютерных программ, называемых cellular automata (клеточный автомат). Впервые, идея таких автоматов отмечена в работах Конрада Цусе, связанных с созданием универсальной вычислительной среды для построения, анализа и сравнения характеристик алгоритмов, и Джона фон Неймана в 1940-х гг., когда он работал над концепцией саморепродуцирующихся машин. Вплоть до конца 1960-х гг. идея клеточных автоматов была забыта и лишь в 1970 г. Д. Конвей, математик Кембриджского университета, описал ныне широко известный двумерный клеточный автомат (Game of life)³. Распределенные вычислительные среды можно рассматривать как конечный набор математических объектов (которые рассматриваются в виде абстракции базовых элементов динамических систем), осуществляющих простейшие вычислительные и логические операции (типа и, или, не) и определенным образом соединенные (ассоциированные) информационными связями в электронной среде ЭВМ. Отличительной особенностью данного класса программных продуктов является интерактивный режим их работы, позволяющий посредством специально разработанного интеллектуального интерфейса наглядно представлять графоаналитическую развертку вычислительной среды и разворачивающихся на ее «клеточном» субстрате информационных процессов, что позволяет использовать творческую интуицию и опыт специалистов-исследователей при моделировании сложных динамических систем.

Из логики предыдущих рассуждений следует, что данный инструмент можно с полным основанием использовать при решении задач организации управления параллельными технологическими операциями / процессами в распределенной производственно-технологической среде, что предполагает переход в будущем на перекомпоуемые производственные модули / участки мехобработки и создание на этой основе полностью автоматизированного / безлюдного адаптивного производства. Перекомпоуемость автоматических систем машин / оборудования (recomponation) обеспечивает сменяемость исполнительных узлов призматической формы (инструмента) и параллельность многоместной точечной обработки деталей, располагаемых на носителях/порталах с поворотно-делительными столами на боковых гранях. Это повышает возможности реконфигурации (reconfiguration) производственной системы и является главным звеном / направлением автоматизации инженерной подготовки и повышения технологической гибкости машиностроительного / обрабатывающего производства [90, 91].

Условно-автономные перекомпоуемые модули адаптивной производственной системы могут быть представлены в распределенной информационной среде

³ Существует много других типов клеточных автоматов: одномерные, двумерные и автоматы больших размерностей, детерминированные и стохастические, локальные и автоматы с глобальным параметром, статичные и подвижные и т.д., математический анализ, описание и классификация которых представлены в фундаментальных трудах Стефана Вольфрама (<http://www.stephenwolfram.com>).

ЭВМ в виде отдельных ячеек информационной матрицы, положение / состояние которых в пространстве отображается отдельной клеткой (локусом / фишкой), а каждый момент времени – дискретным временным шагом производственно-технологического цикла ($t = 0, 1, 2, \dots$). Состояние каждого модуля определяется заданными правилами пространственно-временного взаимодействия локусов/фишек, инвариант которого определяется в режиме реального времени на следующем шаге/такте работы производственной / операционной системы $t + 1$ и отображается изменением цвета ячейки исходя из текущего состояния / цвета соседних модулей/клеток в момент времени t (рис. 2).

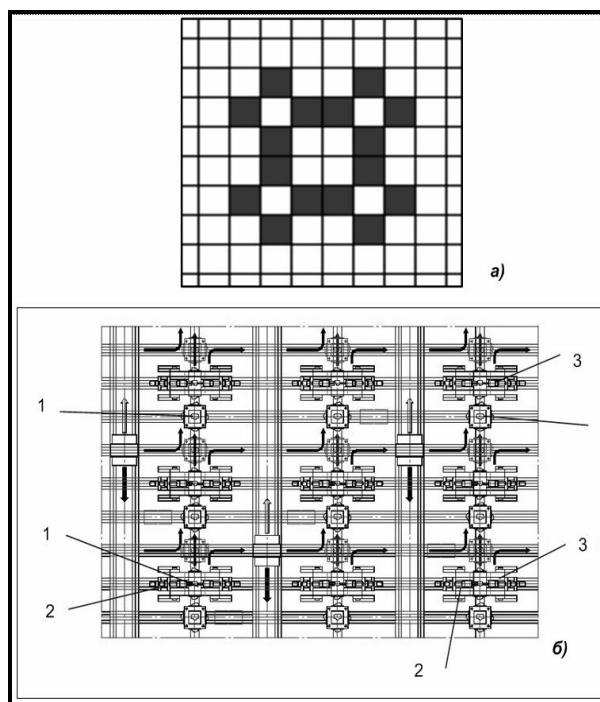


Рис. 2. Формализованное представление в информационной среде ЭВМ участка реконфигурируемого производства, реализованного на базе перекомпоуемых производственных систем/модулей⁴

⁴ На рис. 2 представлена распределенная информационная среда / матрица (а), отображающая состояние условно-автономных элементов / модулей адаптивной производственной системы (б). Как видно из компоновочной схемы участка реконфигурируемого производства, последний представляет собой технологически однородную среду (матричную плоскость), включающую перекомпоуемые блочно-модульные элементы основного и вспомогательного оборудования, несущие опорные и строительные конструкции, а также размещенные между ними пути перемещений технологических/транспортных потоков и коммуникации обслуживания. Узел 1, показанный на схеме, является носителем обрабатываемых деталей или исполнительных механизмов и устройств и позволяет осуществлять одновременную обработку всех деталей, закрепленных на боковых гранях (посредством плит с Т-образными пазами и поворотно-делительных столов). При общем количестве граней, равном 6, на корпусе носителя 1 одновременно на всех гранях детали подвергаются многосторонней обработке с различных сторон многоинструментальными узлами 2 и 3. Возможность доступа инструмента на обрабатывающих узлах 2, 3 к обрабатываемым деталям на гранях корпуса носителя 1 обеспечивается свободной зоной подвода инструмента с применением обрабатывающих узлов 2, 3. Обрабатывающие узлы и носитель являются автоматически сменяемыми (Царев А.М., 1987).

На этом основании можно с уверенностью предположить, что клеточные автоматы, исследуемые в информатике, представляют альтернативный дифференциальным уравнениям путь анализа / моделирования процессов функционирования / поведения сложных объектов и технических комплексов, поскольку являются своеобразным аналогом понятия физического / информационного поля, в котором взаимодействие параллельно функционирующих элементов дискретных динамических систем попросту определяется локальными взаимодействиями / связями, а их корреляция / синергия порождает волновые процессы самоорганизации упорядоченных пространственно-временных структур, наблюдаемые в реальных объектах и явлениях [15, 38, 64, 80, 83, 88]. В настоящее время интегрированные компьютерные технологии привели в своем развитии к появлению уникальных средств проектирования, испытания и отладки динамических объектов и процессов. Речь идет о компьютерных комплексах программно-аппаратных средств реального времени, реализуемых в среде Matlab / Simulink и / или Extend LT. Используемые в них анимационные технологии, позволяют исследовать динамику образования и движения волновых фронтов процессов самоорганизации искусственной клеточной плазмы, а также наглядно представить на экране дисплея интуитивно ощущаемые нашим сознанием принципы формообразования упорядоченных структур физического мира⁵. Последнее особенно актуально при разработке систем управления интегрированными производственными системами с множеством перекрестных и обратных связей, где процесс инженерной подготовки производства наукоемкой продукции, связанный с многократными последовательными приближениями и настройками, не может быть изначально представлен во всей полноте аппаратом дифференциальных исчислений и/или методами теории расписаний. В такой ситуации аналитическая постановка задачи управления с определением ее основных составляющих: формализованного / математического описания объекта управления, формулировки целей и критериев их достижения, выделения и доступных измерений управляющих воздействий и дестабилизирующих факторов, позволяет получить в относительно короткие сроки оптимальные инженерные и организационно-технические решения. При этом процесс проектирования решений, также как и их техническая реализация оказывают наименее затратными по времени и ресурсам⁶.

Данный подход к рассмотрению / описанию и машинному моделированию динамических объектов позволяет использовать при создании распределенных (децентрализованных) систем управления параллельными технологическими операциями / процессами результаты

⁵ Эксклюзивным дистрибьютором программы Mathematica и других программных продуктов компании Wolfram Research в Российской Федерации является компания SoftLine (<http://www.softline.ru/>, <http://www.matlab.ru/>, <http://www.exponenta.ru/>).

⁶ В истории применения информационных технологий в управлении техническими объектами, технологическими процессами и обработки информации при принятии решений отмечается несколько периодов: механизация и автоматизация обработки данных, управления производственными системами и предприятиями; разработка информационных советующих (экспертных) систем на основе персональных ЭВМ и сетевых технологий; интегрированная информационная поддержка решений на всех стадиях жизненного цикла продукции (CALS/CAD/CAM/CAE-технологии), характеризующая новый этап развития организационного управления на основе широкого использования передовых информационных технологий и интеллектуальных систем.

современных междисциплинарных исследований в области теории самоорганизующихся (ассоциативных интеллектуальных) систем, которые опираются на активное начало и взаимодействие их компонентов (кооперацию / синергию по Г. Хаканену, 1980), проявляющееся по мере усложнения форм организации материи начиная с биологического уровня в виде механизма и принципов самоорганизации систем живой природы, и носящие преимущественно информационный характер [9, 10, 45, 47]. Необходимым условием самоорганизации является процесс коммуникации между активными элементами (динамическими объектами) производственной системы; с его помощью осуществляется их кооперирование / сборка и самоорганизация в единое целое. Общеизвестно, что коммуникация основана на передаче управляющей информации посредством физических и иных полей в виде дистантных (распространенных в пространстве) невербальных, электромагнитных, световых и звуковых сигналов на специальные «входные устройства» – сенсоры активных элементов системы, запускающие сложные программы ответных регулирующих действий. Благодаря механизмам самоорганизации и авторегулирования социальные и биологические системы сохраняют свою целостность, а также приобретают способность адекватной реакции на воздействие / раздражение внешней среды, которая лежит в основе разумной жизнедеятельности (Н.М. Амосов). Например, белковые соединения и клетки, обладают свойством избирательно реагировать на раздражения, что предоставляет возможность живой природе «собирать» биологические организации, значительно более сложные, чем химические вещества и их соединения, сохраняющие свою целостность и устойчивость за счет ковалентных связей между атомами в кристаллической решетке (Ф.Е. Темников, 1971; Ю.И. Черняк, 1972; А.Г. Ивахненко, 1982; В.Н. Волкова, 1999, 2006; и др.).

Исследование глубинных причин самоорганизации показывает, что в отличие от принудительной организации (нормативного проектирования предприятий), данная закономерность основана на кооперировании и координации активных элементов производственной системы посредством процесса коммуникаций (информационного взаимодействия), который способствует появлению и развитию отношений между элементами системы (добавлению в систему новых связей и их ре / комбинации). В реальных условиях это осуществляется посредством целенаправленного процесса согласования (гармонизации) целей, параметров и ритмов функционирования различных элементов производственной системы, как между собой, так и с внешней средой на основе непрерывной циркуляции информационных потоков на всех уровнях управления производством с помощью распределенной системы управления (однородной / симметричной информационной среды). В случае представления предприятия в виде самоорганизующейся (живой) системы открываются неограниченные возможности проектирования (моделирования) технологических процессов с большой неопределенностью конечных результатов, так как в системах с активными элементами цели, способы и средства их достижения формируются внутри производственной системы, самостоятельно (автоматически) исходя из состояния факторов внутренней и внешней среды. Впервые эта теоретическая посылка была сформулирована применительно к экономиче-

ским системам Ю.И. Черняком; с ее позиций целеобразование рассматривается как основа процессов самоорганизации в социально-экономических системах [93]. Проблема организации эффективного управления в таком случае переходит в область группового выбора средств и вариантов достижения цели (параллельных процессов принятия решений). Критериями оценки качества организации и эффективности производства в этом случае становятся гармоничность пространственно-временных отношений активных элементов системы (динамических объектов) и синхронность их параллельного функционирования, соответственно [6].

Использование модели распределенного / ассоциативного управления наиболее оправдано / целесообразно для высокотехнологичного машиностроительного производства, поскольку с помощью централизованного органа управления (руководителю, диспетчеру) сложно принимать решения по выбору факторов, влияющих на достижение цели, определять существенные взаимосвязи между целями и средствами в условиях функционирования параллельных технологических процессов по изготовлению широкой номенклатуры изделий. По этой причине в управление должны вовлекаться, по возможности, все участники производственного процесса – специалисты различных областей знаний, между которыми нужно организовать эффективное взаимодействие / взаимопонимание. В связи с этим центральной научно-технической проблемой сегодня становится создание интеллектуальных систем поддержки коммуникаций и когнитивных процессов людей-операторов производственной системы при решении ими трудно формализуемых и не формализуемых задач в группе. Основные методологические подходы по проектированию таких систем должны опираться на фундаментальные основы организационного проектирования и управления, теории функциональных систем и прикладные исследования психики, экономической кибернетики и автоматизации производства, содержательный анализ которых представлен в монографии [48] с различной степенью обобщения в зависимости от их соответствия целям и задачам исследования. Передовые научные знания и информационные технологии должны быть эффективно использованы для создания условий гармоничного взаимодействия активных элементов производственных систем – автоматических систем машин и людей-операторов на всех уровнях управления, что, по мнению многих исследователей, выдвигает актуальную научно-техническую проблему формирования новой парадигмы организации управления интегрированным производством, в основе которой лежит процесс синхронизации работы различных элементов производственной системы посредством ассоциативных форм, интеллектуальных / когнитивных методов и информационных технологий управления производством [49]. Актуальность выдвинутой проблемы подтверждается тем, что в последние годы среди российских компаний-производителей товаров отмечается устойчивый интерес к интегрированным (интеллектуальным) системам управления, которые способны значительно повысить эффективность их производственно-коммерческой деятельности. Прежде всего, это относится к перцептивным задачам слежения и автоматизации операций, возникающим при управлении искусственными динамическими системами типа сложных производственных и технических комплексов (технологические процессы,

транспортные средства и грузопотоки, условно-автоматные системы-роботы и т.д.). Проблемы их автоматизации, по мере развития технических наук и компьютерных технологий, успешно решаются и в настоящее время количество различных областей операторской деятельности не затронутых автоматизацией стремительно сокращается. Иначе обстоит дело с наиболее сложными управленческими задачами, требующими глобальной аналитической оценки ситуации и принятия нестандартных решений, часто на основании неполной информации в условиях дефицита времени (так называемые задачи многокритериального выбора).

Таким образом, преодоление недостатков традиционных форм управления возможно на иной, отличной от концепции производственного планирования, теоретико-методологической основе, ключевым понятием/ принципом которой является организация управления производством на базе принципов самоорганизации и авторегуляции, в основе которых лежит распределенный (групповой) интеллект активных элементов производственной системы – роботизированных комплексов, а также рабочих, бригадиров и мастеров технологических участков, самостоятельно принимающих решения по регулированию хода производства исходя из реальных (фактических) условий протекания производственного процесса с помощью специальных информационных технологий поддержки управления [37, 63]. В подтверждение этого можно отметить, что характерной чертой современного этапа исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) является смещение акцента в исследованиях на создание гибридных (по Г.С. Поспелову, 1988) человеко-машинных систем, способных объединить интеллект человека, быстрое действие и память ЭВМ для решения сложных управленческих задач. Дальнейшее поступательное развитие ИИ связано с разработкой новых технологий представления знаний, основанных на тесном взаимодействии интеллекта человека и машины путем создания общей информационной среды функционирования в системах управления. Внимание исследователей все больше обращено на новые возможности, которые открываются в отношении актуальных проблем коллективного сознания и процессов самоорганизации в экономике в связи с бурным развитием интеллектуальных информационных систем и сетей телекоммуникаций [60]. По сути, сегодня, на старой элементной базе может быть получен гибридный «человеко-машинный» интеллект, который представляет собой особого рода активную информационную среду, стимулирующую процесс интуитивного поиска и синтеза релевантной информации, посредством мульти и автодиалога на языке семантических образов и концептуальных моделей. В этом отношении интегрированные адаптивные производственные системы на полном основании можно рассматривать как гибридные человеко-машинные системы, представляющие собой совокупность взаимодействующих между собой сложных динамических (интеллектуальных) объектов – автоматизированных рабочих центров и технических устройств, осуществляющих обработку и перемещения предметов труда по ходу технологического процесса, а также операторов, занятых на их обслуживании, способных воспринимать внешние физические воздействия, в том числе информационные сигналы, и откликаться на них (с помощью специальных регуляторов) изменением локальных режимов работы для синхронизации / оптимизации совместной деятель-

ности в процессе производства. Подобного рода идеи находят свое отражение и в работах зарубежных ученых, краткая характеристика которых приведена в исследовании [65, 66].

Согласно их представлениям информационное взаимодействие социализированных личностей / интеллектуальных информационных агентов в различных сообществах / искусственных системах основано на тех же фундаментальных законах, что и взаимодействие нейронов в нейросемантических сетях головного мозга. Эта теоретическая посылка вытекает из постулированного учеными-естествоиспытателями изоморфизма принципов ассоциативного / резонансного (голографического) информационного взаимодействия в системах различной природы, рассмотренные в работе [48]. Корневой методологической ошибкой, допускаемой сегодня (как и 20 лет назад – в 1990-х гг.) разработчиками компьютерно интегрированных производственных систем, является то, что при организации и создании системы управления промышленными предприятиями часто пытаются отобразить их, используя теорию автоматического регулирования, которая разрабатывалась на основе модели централизованного управления и аппарата классической математики (линейных и нелинейных дифференциальных исчислений) для закрытых, технических систем и не учитывает интеллектуальный потенциал активных элементов производственной системы – условно-автономных машин и людей. В свою очередь, коллективное мышление / поведение активных элементов сложной системы в групповой динамике представляет мощный инструмент распознавания образов сложных экономических явлений и ситуаций, и решения на их основе трудноформализуемых и не формализуемых задач управления в условиях динамичного окружения и реального времени.

Предлагаемая ниже методика анализа и формализованного описания системной динамики процесса машиностроительного производства / бизнес-процесса с использованием разработанной концепции, инструментов моделирования и интеллектуальной поддержки принятия решений/управления, создают предпосылки для полной автоматизации управления на основе использования распределенного ИИ в качестве активного решателя задач управления комплексами автоматических систем машин и технологическими процессами (в том числе в безлюдном производстве). Научные исследования и развитие автоматизации в этом направлении позволит в будущем организовать, на основе автономных (андроидных) программно-аппаратных средств, эффективный процесс коммуникации между активными элементами производственной системы, обеспечивая тем самым их высокую степень координации (слаженность взаимодействия) и, как следствие этого, высокую результативность предметной деятельности в целом [46].

МЕТОДИКА АНАЛИЗА И ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

На современном этапе развития общества и его производительных сил происходит постепенный переход от массового производства и потребления к дальнейшему экономическому росту за счет разработки новых более эффективных технологий изготовления продук-

ции. Постепенное вытеснение неквалифицированной рабочей силы из товарного производства посредством усовершенствования и автоматизации / роботизации технологических процессов обуславливает главенствующее значение процесса накопления знаний персоналом предприятий, а также генерируемых на его основе новаций как источника материального существования и развития общества. Решающее значение в деле совершенствования деятельности организаций отводится нематериальным факторам, в том числе новым методам и технологиям управления, основанным на системной / групповой динамике и гармонизации функционирования различных элементов сложного процесса производственной деятельности.

В этой связи предприятия должны рассматриваться как сложные самоорганизующиеся социотехнические системы, которые должны быть способны изменять свое поведение и организационную структуру в процессе функционирования для достижения заданной цели в постоянно меняющихся условиях экономической среды. Взаимодействие технической и социальной составляющих в таких системах носит сложный неравновесный (квазистационарный) характер, который обусловлен сложностью настройки социальной подсистемы, обладающей большими степенями свободы по сравнению с технической компонентой. Рост степеней свободы усиливает гибкость (эффективность) социотехнической системы, но в тоже время увеличивает неопределенность достижения результата ее функционирования (неустойчивость). Неустойчивость социотехнической системы эффективно преодолевается внутренним процессом самоорганизации в отличие от нормативного подхода, основанного на организации и директивном управлении. В реальных условиях это осуществляется посредством целенаправленного процесса согласования (гармонизации) целей, параметров и ритмов функционирования активных элементов системы между собой и с внешней средой, который в практическом плане реализуется на основе непрерывной циркуляции информационных потоков (управляемого информационного взаимодействия) на всех иерархических уровнях управления производством. Главной отличительной особенностью концепции социотехнических систем будущего, в отличие от существующих организационно-технических систем, является наличие (в дополнение к управленческой функции) и преобладание целенаправленного процесса самоорганизации, характер и скорость которого обусловлены состоянием среды. Данный методологический подход к классификации производственно-экономических систем открывает новые возможности перед организационным проектированием предприятий (организационной системотехникой), поскольку позволяет в будущем перейти от директивного проектирования организаций к самоорганизации производственно-экономических систем посредством управляемого информационного взаимодействия в процессе ауто- и мультидиалога субъектов, решающих задачи управления в группе. Этим достигается синхронизированная выработка управляющих (проектных) решений в режиме реального времени, в основе которой лежит опережающее видение результата (по П.К. Анохину). Различия между социотехническими и организационно-техническими системами будут отчетливо проявляться в условиях перехода от массового товарного производства к постиндустриальной экономике, в которой преоб-

ладающую роль играют интеллектуальные способности и знания персонала организаций, принадлежащие ему «на правах собственности», т.е. являющиеся неотделимыми от людей нематериальными факторами (средствами) производства. При этом важность материальных факторов производства в успехе организаций будет неуклонно снижаться, сводя к минимуму значение функции (директивного) управления как таковой. С другой стороны, значение процесса самоорганизации субъектов как носителей интеллектуальных способностей и знаний будет неуклонно возрастать [56].

В случае представления производственного процесса и/или предприятия в виде адаптивной самоорганизующейся (живой) системы задачи организации и управления настолько усложняются, что для их постановки и решения не может быть сразу определен подходящий аппарат анализа / формализации и возникает необходимость в разработке методики содержащей специальные подходы, приемы и методы. Обусловлено это тем, что в адаптивных производственных системах с активными элементами цели, способы и средства их достижения формируются внутри уровней иерархии управления, самостоятельно (автоматически) исходя из состояния факторов внутренней и внешней среды. Это позволяет самоорганизующимся системам быстро адаптировать свою структуру к меняющимся условиям внешнего окружения без прекращения функционирования и потери целостности, формировать возможные варианты поведения и выбирать из них оптимальный, что делает их поведение целенаправленным, но плохо предсказуемым. Этим объясняются известные трудности описания поведения адаптивных систем, которое может быть выполнено с помощью представленных выше ассоциативных математических моделей нелинейной динамики (синергетики) в виде прогноза эволюции их поведения [44]. Такой прогноз представляет собой математический объект, адекватно отражающий множество состояний реальной системы (объекта/процесса), образующих фазовое пространство ее динамики, эволюция которой однозначно определяется начальным состоянием / историей поведения активных элементов системы. Исследовательская задача состоит в нахождении базовых математических моделей (генетических кодов-программ развития системы), которые исходят из наиболее типичных предположений о свойствах отдельных элементов, составляющих систему, и законах взаимодействия между ними. Как правило, законы, позволяющие связать перманентно формирующуюся цель функционирования сложной адаптивной производственной системы с располагаемыми ею средствами, неизвестны; их невозможно определить на основе статистических исследований или исходя из наиболее часто встречающихся на практике организационно-экономических / функциональных зависимостей, на основе которых можно сформулировать прикладную теорию исследуемого вопроса и применить ситуационный поход к управлению. В этих случаях выдвигается научно-техническая гипотеза, позволяющая разработать концепцию системы, и на ее основе создать в распределенной вычислительной среде ЭВМ многоуровневую / многослойную динамическую имитационную модель, с помощью которой исследуются закономерности функционирования изучаемой системы и возможные варианты решения задач автоматизации управления. При этом могут периодически варьироваться не только

элементы системы (из множества располагаемых компонентов), как средства достижения цели, но и критерии, отражающие требования и ограничения, а также сами цели, если их первоначальная формулировка не привела к желаемому результату или принципиально невозможна на начальном этапе исследовательских работ. Такая методика анализа применяется в тех случаях, когда у разработчиков системы на начальном этапе работ нет достаточных сведений о системе или возникшей в ней проблемной ситуации, позволяющих выбрать качественные и количественные методы анализа и формализованного представления системы и процесса ее функционирования, сформировать их адекватные (математические, алгоритмические, аналоговые и др.) модели. Процесс исследования / проектирования системы осуществляется в несколько последовательно осуществляемых этапов:

- выявление проблем и постановки задач / целей исследования;
- разработки вариантов и моделей принятия решений;
- оценка альтернатив и поиск решений, их реализация;
- оценка эффективности решений и последствий их реализации;
- проектирование организационных систем для достижения поставленных целей.

Более полная реализация данного подхода требует создания средств / систем автоматизации проектирования решений (САПР) в виде специализированных диалоговых процедур, и / или прикладных программ, реализующих разработанные решения / алгоритмы.

Следует иметь в виду важную особенность моделирования адаптивных организационных систем с активными элементами: пытаюсь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали, что, начиная с некоторого уровня сложности, системе легче изготовить и ввести в действие (например, в виде физической или цифровой аналоговой модели), преобразовать и изменить, чем отобразить формальной математической моделью (Ф.Е. Темников, 1971; В.Н. Волкова, 1999). По мере накопления опыта исследования, разработки или преобразования (реконструкции, реструктуризации) таких систем это наблюдение подтверждалось, и была осознана его основная особенность – принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем. Учет этой особенности при моделировании систем заключается в необходимости сочетания формальных количественных методов и интеллектуальных методов качественного анализа, которая положена в основу большинства моделей и методик анализа и формализованного представления сложных многофакторных систем. При формировании таких моделей меняется привычное о них представление, характерное для математического моделирования и прикладной математики; изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей. При возникновении реальных ситуаций, в которых полностью формализованная постановка задачи затруднена, а состав элементов, основные / структурные связи и характер / законы взаимодействия между ними не могут быть количественно измерены, осуществляется постепенная формализация модели, сущность которой заключается в попеременном использовании интуиции и опыта специалистов и методов формализованного представления систем в режиме машинного эксперимента. Данный подход к машинному моделированию

сложных многофакторных систем используется в условиях большой начальной неопределенности при исследовании, разработке и функционировании систем управления сложными техническими комплексами и социально-экономическими объектами. Первоначально он был предложен Волковой В.Н. (1999) на базе концепции структурно-лингвистического моделирования Ф.Е. Темникова, но в последующем стал развиваться как самостоятельное направление [22, 23, 24, 25]. Данные представления начинают использоваться в когнитивных моделях зарубежных авторов, в виде понятия «повторного ввода» (англ. re-entry), близкое понятию «обратная связь», но подчеркивающее значение самоорганизации нейронных систем живого, частично осознающего себя организма (например, Edelman, 1985).

Постепенная формализация представляет собой своего рода методику системного анализа, которая сочетает неформальные методы, удобные для восприятия информации сознанием человека, и формальные, знаковые представления, позволяющие привлекать достижения математических теорий и применять ЭВМ. Принципиальной особенностью методики постепенной формализации является то, что она ориентирована на развитие представлений исследователя об объекте или процессе принятия решения, на постепенное «выращивание» решения задачи управления. Поэтому предусматривается не одноразовый выбор методов моделирования, а смена методов по мере развития у лиц, принимающих решения (разработчиков системы), представлений об объекте и проблемной ситуации в направлении все большей формализации модели принятия решений. В целом при выборе методов моделирования для постановки и решения принципиально новых задач с большой начальной неопределенностью рекомендуется учитывать разработанную в теории систем и системном анализе классификацию систем по степени организованности и методов их формализованного представления. В частности, если предварительный анализ исследуемого объекта (процесса или проблемной ситуации) показывает, что он может быть представлен в виде хорошо организованной системы, то можно применять методы моделирования из класса аналитических и графических; если системный аналитик приходит к выводу о том, что изучаемый объект относится к плохо организованным (диффузным) системам, то следует обратиться к методам статистического моделирования и специальных методам прикладных областей знания (экономики, социологии и т.д.); в случае представления объекта классом самоорганизующихся систем следует применять методы дискретной математики (в основном графические и теоретико-множественные представления с элементами математической логики), разрабатывая на их основе языки моделирования и средства автоматизации проектирования. Ошибки в выборе методов моделирования на начальных этапах постановки задачи исследования могут существенно повлиять на ход работы или привести в тупик, когда решение вообще не будет получено. Поскольку методы современной математики не может достаточно глубоко знать ни один специалист, в процесс исследования и проектирования объекта необходимо вовлекать, помимо проектировщиков и управленческих работников предприятий, – системных аналитиков (системотехников) и математиков, которые помогут классифицировать изучаемый объект / проблемную ситуацию и пояснить принципиальные теоретические

возможности выбираемого для его исследования математического аппарата.

В качестве первого шага процедуры анализа и формализованного представления системы принимается «отграничение» системы от среды путем перечисления ее предполагаемых компонентов (в виде некоторого теоретико-множественного представления) при исследовании пространства состояний системы; исследование их «меры близости» для придания смыслового содержания (семантики) их связям и объединения в группы / подсистемы (подмножества) при отображении структуры и процесса функционирования системы. При этом не ставится задача полного «перечисления» элементов и связей системы; известные на данный момент компоненты и связи между ними фиксируются с помощью выбранного языка (знаковой системы) и методов моделирования. На этом этапе возможности теоретико-множественных представлений исчерпываются, что требует применения функционально-графических (логико-смысловых) способов отображения проектируемой системы, с помощью которых в творческий/когнитивный процесс принятия инженерных решений включаются интуиция и опыт разработчиков.

На втором шаге моделирования системы, в поисках приемлемых вариантов решения исследовательской задачи (в нашем случае, при организации управления комплексом автоматических систем машин, – оптимальных маршрутов прохождения предметов труда между условно-автономными обрабатывающими центрами / ячейками, объединенными в однородную технологическую матрицу), выполняется комбинирование элементов системы и их связей, отображаемых в виде элементарных аналитических зависимостей. Путем преобразования полученного отображения, с помощью установленных (принятых) правил структуризации – декомпозиции, композиции, поиска мер близости на пространстве состояний и т.п., – получают / фиксируют новые, не известные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги по корректировке описания системы. В этом случае графоаналитическая визуализация (развертка) наблюдаемых переменных изучаемого объекта отображает их функционально-структурную / системную взаимосвязь, реализуемую во времени – $Fs(t)$, на основе которой выявляются фундаментальные принципы построения, закономерности поведения / управления и развития исследуемого динамического объекта / процесса. Попеременное использование методов качественного (наглядно-образного, логико-смыслового) и количественного (формального) анализа и отображения исследуемого объекта, позволяет преодолеть недостатки аналитического подхода на основе пространственно-временного сопоставления основных элементов и связей проектируемого объекта в активной машинной среде с последующим вводом шкал измерений для получения формальной динамической имитационной модели проектируемой системы и количественной оценки оптимальности ее функционирования.

Имитационные модели применяют в этом случае ввиду сложности объекта моделирования и, соответственно, трудности или невозможности описания его поведения аналитическим способом (математическими уравнениями), так как при описании частей сложного объекта требуется применение различных математических

методов с различными нестыкующимися критериями или направлениями оптимизации с точки зрения математической теории. Имитационные модели позволяют использовать многокритериальные (непротиворечивые) подходы в условиях заданного компромисса. Благодаря этим свойствам имитационное моделирование успешно применяется при решении многокритериальных задач управления для проверки различных альтернатив развития проблемной ситуации. Задавая различные альтернативы поведения динамической модели, меняя ее структуру и связи, можно получить область возможных состояний моделируемой системы, характеризующих ее поведение и последствия тех или иных управленческих решений. Применение машинной имитации в качестве основы информационных систем управления (ИСУ) позволяет при определенных условиях создать автоматизированную систему поддержки решений для оперативного управления производством, которая по запросу оператора способна автоматически формировать управленческие решения по ситуациям и отбирать наиболее оптимальные из них [85]. Имитационная модель реализуется в виде специального программного комплекса, имитирующего деятельность реального объекта. Он запускает в ЭВМ параллельно взаимодействующие вычислительные процессы, которые по своим пространственно-временным параметрам являются аналогами реальных процессов, протекающих в моделируемом объекте. Имитация может выполняться и с помощью совокупности обычных расчетных программ, простейшим примером которой является табличный процессор [54].

Процедура машинной формализации итеративно повторяется до тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное решение, путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей. Машинная среда эксперимента позволяет накапливать информацию об исследуемом объекте и получать отображения последовательных состояний развивающейся динамической системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта, процесса или явления. В результате можно получить набор логически связанных алгоритмов, формально отражающих взаимосвязь между компонентами (ресурсами) и целями проектируемой системы, которые можно реализовать в электронной среде / памяти ЭВМ, а затем на их основе простым кибернетическим способом сформировать многоуровневую пространственно-временную динамическую (цифровую аналоговую) модель системы. В этом случае имеет место формальное аналитическое отображение исследуемой / проектируемой системы, но не в виде традиционных (привычных для технической кибернетики) формул и/или уравнений, а в форме многомерной виртуальной цепочки алгоритмов, связанных памятью ЭВМ в единую цифровую аналоговую модель; исследователь получает инструмент, обеспечивающий возможность автоматизации и, соответственно, повторяемость, и наглядность процессов формирования структуры и функционирования системы при перманентном изменении первичных целей, состава и связей компонентов системы в ответ на постоянно меняющиеся условия окружающей среды. Исследовательская задача построения данной системы алгоритмов (например, автоматического определения/выбора системой машин оптимальных маршрутов

движения материальных потоков по распределенной технологической матрице) заключается в постепенном ограничении области допустимых решений: в начале требуется исключить все варианты, не удовлетворяющие граничным значениям принятых критериев эффективности / оптимальности, затем необходимо рассмотреть оставшиеся варианты, которые позволяют предметно исследовать область допустимых решений и выбрать из них наиболее предпочтительное (альтернативу). Критериями оценки качества и эффективности организации и управления в этом случае служат гармоничность пространственно-временных отношений элементов системы и синхронность их функционирования, соответственно.

На завершающем этапе процедуры формализации решается задача построения информационной среды моделирования исследуемого объекта / процесса, которая в практическом плане реализуется с использованием представленного выше инструментария распределенных вычислений и когнитивной компьютерной графики, адекватно отражающей знания экспертов об исследуемом (проектируемом) объекте в естественной форме, то есть, так как они сформированы в сознании мыслящего субъекта (специалиста-предметника) в виде концептуальной семантической схемы-образа. Когнитивная графика формируется в виде произвольного графа или аналоговой функционально-графической пространственно-временной развертки реального объекта или процесса [5, 29, 30, 54, 72, 73, 74, 102], и должна вызывать резонансную активацию когерентных семантических образов-схем (нейронных ансамблей) в памяти операторов человеко-машинной системы (САПР). Необходимость создания такой информационной технологии интеллектуальной поддержки обусловлена, прежде всего, тем, что принятие решений в системах управления предприятиями промышленности часто связано с дефицитом времени: лучше принять не самое хорошее решение, но в требуемый срок, так как в противном случае лучшее решение может уже и не понадобиться. Поэтому решение часто приходится принимать в условиях неполной информации (ее неопределенности или даже дефицита), и нужно обеспечить возможность в максимально сжатые сроки определить наиболее значимые для принятия решений сведения и наиболее объективные предпочтения, лежащие в основе этой операции. Для того чтобы помочь в более сжатые сроки поставить задачу, проанализировать цели, определить возможные средства, отобрать требуемую информацию (характеризующую условия принятия решения и влияющую на выбор критериев и ограничений), а в идеале получить выражение, связывающее цель со средствами, применяют системные представления, машинную имитацию и когнитивное моделирование [70, 71]. В дополнение к этому с помощью этих средств можно обеспечить взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знания, участвующими в постановке и решении задач организации и управления современным высокотехнологичным производством, в котором требуется учитывать все большее число факторов разнообразной природы, являющихся предметом исследования различных областей знаний. В этих условиях один человек не может принять решение о выборе факторов, влияющих на достижение цели, не может определить существенные взаимосвязи между целями и средствами. Поэтому в этом должен

участвовать весь коллектив исследователей, а также персонал предприятия, состоящий из специалистов различных областей знаний, между которыми нужно организовать взаимодействие и взаимопонимание, а проблема принятия решений становится проблемой коллективного выбора целей, критериев, средств и вариантов достижения цели, т.е. проблемой коллективного принятия решения (В.Н. Волкова, 2006).

Предложенная методика анализа и формализованного описания динамических систем с использованием разработанных методов и инструментов наглядного графоаналитического отображения сложных объектов и процессов позволяет проникать в глубинную сущность сложных экономических явлений, как правило, скрытых и неявно выраженных, и переводить субъективные подсознательные (интуитивные) суждения на строгий формализованный язык объективных методов исследования и количественных измерений. В частности, данная методика и представленный выше аппарат клеточных автоматов могут успешно применяться для имитационного моделирования структурно-компоновочных преобразований, самоорганизации и эффективного функционирования комплекса автоматических систем машин путем генерирования вариантов пространственно-временной организации их активных элементов, и отбора на этой основе оптимальных технических и организационно-технологических решений с учетом принятых ограничений.

Постановка математической задачи организации управления комплексом автоматических систем машин в условиях модельного эксперимента на ЭВМ заключается в непрерывном выделении некоторого подмножества на ограниченном множестве элементов комплекса систем машин и их пространственно-временном объединении в производственно-технологический процесс обработки различных изделий с наименьшими затратами времени. Пространственно-временная декомпозиция производственно-технологического процесса обработки изделия с применением комплекса систем машин (Process) – $P(t)$ описывается на фазовом пространстве его состояний набором:

- элементарных процессов / операций обработки изделия – $R(t) = \{r_i(t)\}$;
- элементарных процессов функционирования автоматических систем машин – $A(t) = \{a_i(t)\}$;
- необходимых для их реализации элементарных функций – $F(t) = \{f_i(t)\}$.



Рис. 3. Моделирование структуры процесса обработки изделия

Точки, отображенные выделенными фишками в фазовом пространстве как дискреты времени Δt являются эле-

ментарными технологическими операциями обработки изделия – t_n , которые в процессе поиска оптимального варианта композиции систем машин объединяются в элементарные технологические процессы посредством вариантного моделирования структурно-функциональных / параметрических связей, количественной оценки их оптимальности и ранжирования по критерию наименьшей длительности технологического процесса – $T_u \rightarrow \min$ (рис. 3).

Выбор варианта композиции элементарных технологических процессов / операций обработки изделия в составе производственно-технологического процесса осуществляется исходя из следующих условий:

1. Общая ресурсоемкость / продолжительность технологического процесса обработки изделия с применением комплекса систем машин – $P(t)$ или:

$$RAF(t) = \{ra_i f_i(t), \Delta t\},$$

включающая суммарную длительность множества элементарных процессов, связанных с обработкой изделия агрегатами:

$$R(t) = \{r_i(t), \Delta t\},$$

множества элементарных процессов транспортировки изделий между агрегатами по выбранному маршрутам транспортирования изделий определенной протяженности (Length of a route):

$$L(t) = \{l_i(t), \Delta t\}$$

и множества межоперационных ожиданий (Interoperational Expectations):

$$E_x(t) = \{e_{x_i}(t), \Delta t\}$$

должна стремиться к минимальному значению, а именно:

$$P(t) = \sum (R(t) + L(t) + E_x(t)) \rightarrow \min$$

Ресурсоемкость/длительность элементарного процесса обработки изделия агрегатом – $R(t)$, включающая длительность выполнения набора элементарных технологических операций обработки изделия – $\{r_i(t), \Delta t\}$ с учетом времени установки / снятия изделия (Installation time and product removals – t_{is}/t_{rm}) и переналадки / реконфигурации агрегата (t_j), – должна стремиться к минимальному значению, а именно:

$$R(t) = \sum r_i(t) \rightarrow \min$$

2. Ресурсоемкость / длительность элементарного процесса перемещения / транспортировки изделия между агрегатами, обусловленная протяженностью выбранных маршрутов транспортирования изделий:

$$L(t) = \{l_i(t), \Delta t\}$$

и включающая длительность выполнения / транспортное плечо набора элементарных операций транспортировки – $\{l_i(t), \Delta t\}$ с учетом времени погрузки / выгрузки изделия на транспортер / робокар (Product loading / unloading – t/t_{ui}), – должна стремиться к минимальному значению, а именно:

$$L(t) = \sum l_i(t) \rightarrow \min.$$

Совокупные потери ресурсов и эффективного рабочего времени (снижение производительности) RMS из-за межоперационных ожиданий:

$$E_x(t) = \{e_{x_i}(t), \Delta t\}$$

должны стремиться к минимальному значению, а именно:

$$E_x(t) = \sum e_x(t) \rightarrow \min.$$

3. Реализация данной процедуры осуществляется элементарным процессом функционирования системы машин / агрегата до окончания выполнения набора

элементарных операций обработки изделия посредством режима кругового сканирования модулей / блоков (block) информационной модели технологической матрицы – B_n и образования обособленного информационного канала межэлементной связи – r_f в межмодульном пространстве (информационной модели маршрута движения детали – a movement route), посредством которой задается парное (бинарное) отношение между первоначальным/текущим (t_n) и последующим (t_{n+1}) набором операций, который может быть выполнен этим же агрегатом после его перекомпоновки / переналадки или другим агрегатом, компоновка которого соответствует набору операций (t_{n+1}) и не требует изменения (рис. 4).

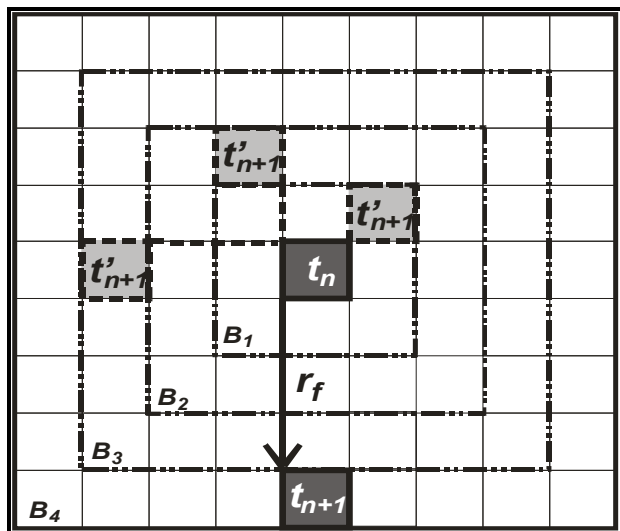


Рис. 4. Выбор последовательности элементарных процессов / операций

В процессе информационного обмена и обработки параметрических данных каждым элементарным процессом функционирования системы машин / агрегатом, а также отображающим его модулем информационной модели технологической матрицы, – соответствующий ему единичный вектор связи – r_f принимает ориентированное положение и замыкает бинарное звено многомерной цепочки структурных образований. Завершение шага композиции сопровождается получением, преобразованием и передачей информации об элементарных технологических процессах и агрегатах для выполнения последующих шагов композиции.

С целью временного упорядочения параллельных и параллельно-последовательных операций обработки при одновременном изготовлении нескольких изделий (например, А, В, С и т.д.), осуществляется квантование процесса преобразования (декомпозиции и синтеза) совокупности непрерывно изменяющейся во времени и пространстве многомерной цепочки элементарных технологических процессов и их последующая синхронизация в дискретной форме. В качестве параметра синхронизации элементарных процессов принимается общесистемная дискрета времени – Δt_n , которая именуется системоквантом или тактом работы комплекса автоматических систем машин, в соответствии с которым совокупный объем работ по обработке изделий / материала расчленяется на множество элементарных операций с одинаковой или кратной длительностью / трудоемкостью (рис. 5).

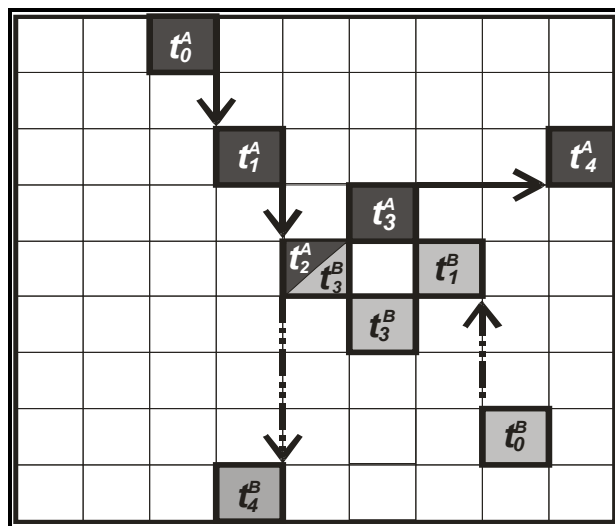


Рис. 5. Циклограмма динамики функционирования системы машин

Соблюдая условия пространственно-временного упорядочения множества элементарных процессов обработки различных изделий, получаем информационную модель динамики (ИМД) синхронного функционирования агрегатов, адекватно отображающей в наглядной графической форме межэлементные связи, в том числе бинарные отношения между смежными процессами / операциями обработки изделий. Формирование ИМД, непрерывно отражающих последовательность выполнения множества элементарных технологических процессов подразумевает многовариантное задание их пространственных сочетаний, и выполнения во времени, с автоматизированным выбором оптимального варианта пространственно-временной организации сложного дискретного процесса многопредметного производства. Композиционное моделирование работы комплекса автоматических систем машин является процессом многошагового формирования ИМД на уровне элементов и межэлементных связей элементарных технологических процессов и генерирования на их основе многомерных компоновочных образований ассоциативного / сетевого типа в распределенной информационной среде ЭВМ. Представленная ранее на рис. 2 двумерная форма компонования подразумевает использование матричной координатной плоскости с горизонтальным расположением технологических и транспортных путей движения материальных потоков переменной конфигурации. Наивысший уровень развития компьютерно интегрированного производства предполагает многоуровневое расположение систем машин, которое покрывает / заполняет все трехмерное производственное пространство и выполнено в виде многоэтажных секций с вертикальными ветвями компонования, обеспечивающих межуровневое перемещение / перераспределение материальных потоков для оптимизации динамики процесса производства продукции.

В процессе создания многомерной распределенной машинной среды композиционного моделирования, элементарные процессы обработки изделия и функционирования системы машин / агрегатов должны быть сформированы как условно-автономные самоуправляемые динамические / математические объекты или интеллектуальные информационные агенты с реактивной / проактивной моделью поведения (в терминологии

мультиагентных систем) [85], которые представляют собой элементарные локальные динамические звенья определенной системы управления, самостоятельно определяющие / выбирающие алгоритм управления смежными элементарными процессами / агрегатами путем задания бинарных структурных образований, описанных выше (рис. 6).

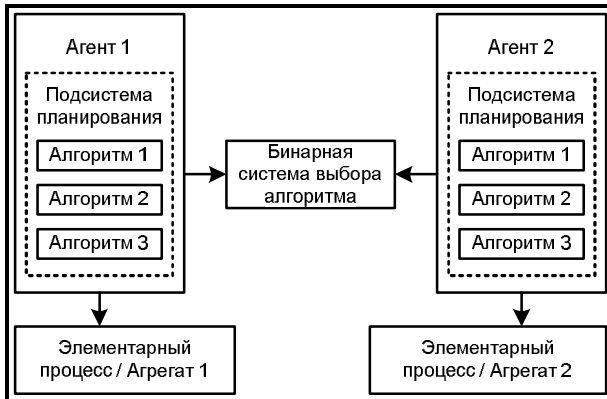


Рис. 6. Много / мультиагентная система управления ассоциативного типа

В результате объединения / синтеза в процессе композиции двух элементарных процессов $i - 1=1, i = 2$ путем формирования межэлементных прямых и обратных связей посредством специально разработанной системы информационных коммуникаций образуется подсистема (многополюсник) управления бинарным структурным образованием, функциональная схема которого показана на рис. 7.

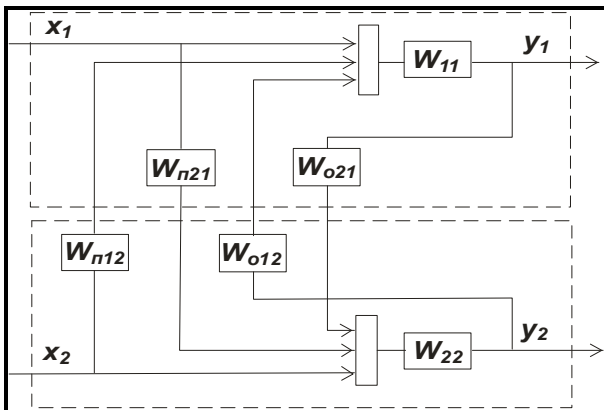


Рис. 7. Структурная схема управления бинарным композиционным образованием

В представленной на рис. 7 схеме:

W_i является передаточной функцией или алгоритмом управления i -го элементарного процесса – $w_{afi}(t)$;

$W_{ni(i-1)}$ алгоритмом прямой связи или воздействия на i -й элементарный процесс;

$W_{oi(i-1)}$ алгоритмом обратной связи или воздействия на i -й элементарный процесс;

x_i – входными параметрами (входным воздействием) i -го процесса;

y_i – выходные параметры i -го процесса.

Процедура формализованного описания непрерывного процесса синтеза элементарных процессов в многомерные ассоциативные бинарные образования требует разработки агентно-ориентированного языка програм-

мирования (структурно-логической композиции / СЛК), который должен обеспечить полноту и точность описания многоуровневого состава элементов, межэлементных связей и общих закономерности функционирования системы машин, а также циклов обработки изделий. В конечном итоге, множеству процессов функционирования системы машин и выполнения технологических процессов должно соответствовать множество неориентированных активных информационных модулей матричного пространства моделирования, реализованного в распределенной информационной среде ЭВМ (САПР), на котором непрерывно, в автоматизированном режиме, формируется подмножество ориентированных модулей, генерирующих варианты инженерно-технических решений (Царев А.М., 1997). Качество и эффективность полученных результатов / решений может оцениваться на каждом шаге оптимизационного синтеза, вплоть до уровня бинарных межэлементных отношений, исходя из принципов / критериев целостности и гармонизации процесса функционирования интегрированной производственной системы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУМЕРНОЙ / ПЛОСКОСТНОЙ АДАПТИВНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Перекомпонованная производственная система реконфигурируемого производства (RMS) в наиболее простом варианте исполнения подразумевает матричное расположение на плоскости обрабатывающих единиц, технологических и транспортных путей. При этом движение по транспортным путям плоскости оказывается переменным, зависящим от текущего состояния системы и критериев оптимизации управления всей RMS.

Для разработки математической модели двумерной (плоскостной) интегрированной адаптивной производственной системы используются различные подходы, определяемые критериями, по которым оптимизируется работа. Одним из основных методов является моделирование с помощью конечных автоматов, сетей Петри (Petri net) или раскрашенных сетей Петри, или с помощью временных раскрашенных сетей Петри [103].

В задачах, где одновременно учитываются производственные критерии и рыночные показатели успешно применяется метод анализа иерархий (analytical hierarchical process / AHP) [104].

Для исследования поведения RMS как сложной динамической системы можно воспользоваться дискретно-событийной имитационной моделью. Сначала можно рассмотреть эту систему как детерминированную, то есть все временные параметры переналадок, транспортировок и обработок будут считаться заданными и определенными. В построенную детерминированную модель можно вводить факторы неопределенности, заменяя детерминированные параметры на вероятностные распределения.

Рассмотрим RMS на плоскости в виде матричной схемы показанной на рис. 8 (пример). Каждая обрабатывающая станция $S_{ij}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, способна выполнять определенные операции r_k за время $t_k, k = \overline{1, K}$, причем для перехода на выполнение новой операции r_p после операции r_q требуется переналадка, занимающая время tr_{pq} . Обработка детали может быть

продолжена на любой другой обрабатывающей станции, для чего новая станция должна быть настроена на требующуюся операцию r_m (возможно, что она уже настроена именно на эту операцию, и переналадка не требуется).

S_{11}		S_{12}	S_{13}
S_{21}		S_{22}	S_{23}
S_{31}		S_{32}	S_{33}
S_{41}		S_{42}	S_{43}

Рис. 8. Матричная схема плоскостной RMS ($N = 4, M = 3$).

Время перемещения детали от станции S_{ij} до станции S_{uv} пропорционально расстоянию по прямоугольным путям транспортировки, то есть

$$T_{(ij)(uv)} = a * (|i - u| + |j - v|)$$

$$i, u = \overline{1, N}, j, v = \overline{1, M}.$$

Временные затраты на обработку каждой детали с момента входа ее на участок обработки до завершения и выхода из RMS складываются из отрезков времени, требующихся на транспортировку к первой свободной станции S_{ij} , переналадку станции на первую операцию r_k , выполнение операции t_k , выбор станции S_{uv} для выполнения следующей операции r_m (возможно, это будет та же станция), перемещение детали на станцию S_{uv} за время:

$$T_{(ij)(uv)} = a * (|i - u| + |j - v|),$$

переналадки станции S_{uv} на выполнение операции r_m за время переналадки tr_{km} . Станция S_{uv} выбирается с учетом времени переналадки и транспортировки. Не обязательно критерием будет минимальная сумма на момент выбора, так как во временном интервале, в котором рассматривается процесс производства RMS, могут оказаться оптимальные «маршруты» не обеспечиваемые «жадными» алгоритмами, то есть выбирающими каждое перемещение оптимальным.

Отметим, что по координатное кодирование обрабатывающих станций требовалось только для того, чтобы проиллюстрировать расстояние между станциями, представляемое хемминговой метрикой. В дальнейшем перейдем к традиционному для сетевых моделей обозначению матричному представлению сети. Вершинами сети RMS будут обрабатывающие станции $S_i, i = \overline{1, N}$. Тогда транспортная матрица будет иметь вид матрицы TT размера $(N \times N)$:

$$TT = \begin{pmatrix} 0 & tt_{12} & L & tt_{1N} \\ tt_{21} & 0 & L & tt_{2N} \\ M & M & O & M \\ tt_{N1} & tt_{N2} & L & 0 \end{pmatrix}$$

где tt_{ij} – время транспортировки от станции S_i до станции S_j .

Аналогично, с помощью матрицы TR переналадки для каждой станции зададим временные интервалы переналадки с одной операции на другую.

$$TR = \begin{pmatrix} 0 & tr_{12} & L & tr_{1K} \\ tr_{21} & 0 & L & tr_{2K} \\ M & M & O & M \\ tr_{K1} & tr_{K2} & L & 0 \end{pmatrix}$$

где tr_{ij} – время переналадки станции с операции r_i на операцию r_j .

Время выполнения операций задается матрицей SR размера $(N \times K)$

$$SR = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & L & t_{1K} \\ t_{21} & t_{22} & L & t_{2K} \\ M & M & O & M \\ t_{N1} & t_{N2} & L & t_{NK} \end{pmatrix}$$

где t_{ij} – время выполнения операции r_i на станции S_i . Для простоты сначала будем считать, что времена переналадки на всех станциях одинаковы, то есть матрица TR является общей для всех S_i .

Такое же предположение можно сделать и о временах выполнения операций на различных станциях, что сводит модель к модели RMS, состоящей из одинаковых обрабатывающих единиц. Тогда матрица SR обратится в вектор:

$$SR = (t_1, t_2, \dots, t_k).$$

Сетевая модель RMS

Сетевая модель представляет собой полный неориентированный граф, вершинами которого являются станции S_i .

Транспортная сеть RMS может быть описана как:

$$NT = \langle S, E, TT \rangle,$$

где

S – множество станций,

E – множество ребер полного графа,

TT – веса ребер, задаваемые соответствующим временем транспортировки.

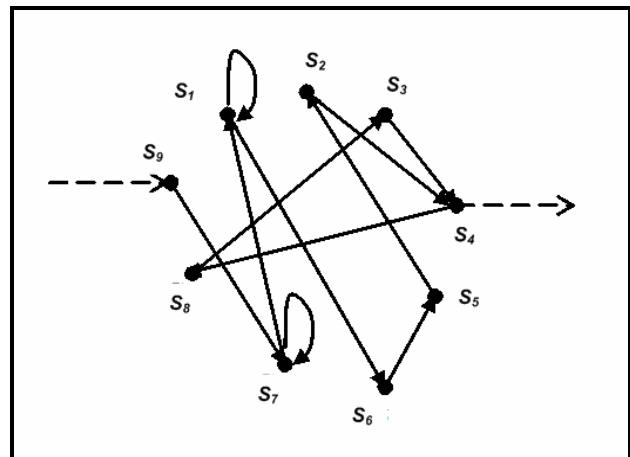


Рис. 9. Модель транспортной сети RMS

Но задача состоит не только в поиске «кратчайшего пути по сети» известном в теории графов. Методы решения задачи о максимизации потока через сеть в традиционном виде не подходят к описываемой системе, ввиду того, что в сети RMS маршруты детали могут включать петли (выполнение операций на одной и той же станции, т.е. переход с нулевым временем транспортировки, но с ненулевым временем переналадки),

каждая вершина может проходиться несколько раз, т.е. допускаются циклы. Более того, один и тот же маршрут при прохождении его в различных последовательностях (это возможно благодаря наличию циклов) будет давать различные временные затраты (рис. 9). При этом количество операций K и количество станций N , в общем случае, являются независимыми.

Представленный на рис. 9 маршрут моделирует следующую последовательность операций (табл. 1).

Таблица 1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ ЗАГОТОВКИ

Маршрут	Последовательные позиции и операции										
Операции	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}
Станции	S_9	S_7	S_7	S_1	S_1	S_6	S_5	S_2	S_4	S_8	S_3

Имитационная модель RMS

Транзакты моделируют детали проходящие через RMS. Очереди или буферы, моделирующие межоперационный запас, вводятся в модель только для того, чтобы определить интенсивность входного потока заготовок, при котором RMS перестанет справляться с обработкой.

Алгоритм выбора следующей станции

Состояние станции на момент t описывается следующим кортежем:

$$S_j : \langle k_j, f_j, w_j \rangle,$$

где

k_j – номер операции, на которую настроена данная станция, $K \geq k_j \geq 1$;

f_j – признак направления на данную станцию детали с другой станции, (0/1);

w_j – время до окончания операции;

q_j – признак состояния ожидания свободной станции или переналадки, (0/1).

Выбор следующей станции производится на основе информации о состоянии всех остальных станций.

Алгоритм прохода детали по RMS состоит из следующих шагов.

Шаг 1.

Деталь, вошедшая в RMS, попадает на станцию S_{i_1} ;

$f_{i_1} := 0$ (станция не заказана на следующую операцию);

$p := 0$ (количество пройденных операций).

Состояние станции $S_{i_1} = \langle 1, 0, t_1 \rangle$.

Шаг 2.

Обрабатывается в течение времени t_1 . $p := p + 1$. (возможно, в этом промежутке времени на другие станции также поступали детали).

Состояние станции $S_{i_1} = \langle 1, 0, 0 \rangle$.

Шаг 3.

Выбор следующей станции.

Сравниваются все «не заказанные» станции. ($f_j = 0$)

В момент t_i станция S_j считается потенциально подходящей, если время транспортировки до данной станции превосходит время до завершения операции на этой станции плюс время переналадки на требуемую операцию).

$$S_j : tt_{i_0,j} > w_j + tr_{k_j,2}, f_j = 0 \tag{1}$$

Из всех станций, удовлетворяющих данным условиям, выбирается станция с наименьшим временем транспортировки до нее.

$$S_{j_0} : \min_j tt_{i_1,j}.$$

Если при всех j условие (1) не выполняется, то есть:

$$"j = 1, N \quad tt_{i_0,j} < w_j + tr_{k_j,2},$$

то минимальное опережение

$$\min_j (w_j + tr_{k_j,2} - tt_{i_0,j})$$

сравнивается с собственным временем переналадки выбирающей станции S_{i_1} :

$$\text{если } tr_{12} < \min_j (w_j + tr_{k_j,2} - tt_{i_0,j}),$$

то выбирается переналадка без переноса детали, иначе выбирается станция, обеспечивающая минимальное время ожидания:

$$S_{j_0} : \min_j (w_j + tr_{k_j,2} - tt_{i_1,j})$$

В течение времени:

$$tw = w_{j_0} + tr_{k_{j_0},2} - tt_{i_1,j_0}$$

деталь остается на исходной станции. Станция S_{i_1} в этот промежуток времени недоступна «для заказа», то есть $f_{i_1} = 1$.

$$S_{i_1} = \langle p+1, 1, t_{p+1} \rangle$$

В случае выбора станции-цели S_{j_0} , ее параметру f_{j_0} придается значение 1, чтобы другие станции уже не направляли на неё свои детали.

$$S_{j_0} = \langle p+1, 1, t_{p+1} \rangle.$$

Шаг 4.

Проверка завершения обработки

Если ($p < K$), то переход на шаг 2, иначе FIN.

Отметим, что стратегия выбора следующей станции на шаге 3 может быть построена иначе. Например, можно усложнить процедуру просчетом на несколько ходов вперед, а в идеале на все K операций. Такой подход приводит к использованию принципов динамического программирования и будет исследован в дальнейшем.

В каждый момент времени система описывается состояниями всех K станций $S_j = \langle k_j, 1, t_{k_j} \rangle, K \geq i \geq 1$.

Время нахождения детали в системе, прошедшей обработку на последовательности станций i_1, i_2, \dots, i_K составит

$$T = \sum_{r=1}^K (t_r + d_r + tt_{i_r, i_{r+1}}),$$

где

t_r – время выполнения r -й операции,

d_r – время вынужденной задержки (величина tw , вычисляемая при выборе следующей станции),

$tt_{i_r, i_{r+1}}$ – время транспортировки от i_r -й станции i_{r+1} -й станции.

При выполнении обработки входного потока деталей часть процессов выполняется параллельно, что не позволяет аналитически выразить время обработки M деталей, даже если интервалы времени между поступлением деталей на участок точно заданы.

Требуется построить имитационную модель, построенную на принципах работы мультиагентной системы, в которой одинаковые агенты взаимодействуют с общей целью – минимизировать время обработки поступивших деталей.

Описание процесса для имитационного моделирования

M заготовок поступает на участок RMS, включающий N станций, ($M \gg N$). Заданы транспортная матрица TT , матрица переналадки TR , и длительности операций. Каждая станция самостоятельно выбирает следующую станцию для своей детали на основании информации о состоянии системы в целом. (Реализация транспортной системы пока не рассматривается и ограничения на пропускную способность не устанавливаются.)

Построенная имитационная модель позволит определить поведение системы в зависимости от задаваемых параметров, установить взаимосвязь между параметрами не связанными явно в математической модели и в алгоритме выбора станции.

Варианты обобщения модели.

1. Введение различных типов обрабатывающих станций.
2. Введение неопределенности в отношении времени выполнения операций ($t_i \pm \Delta t_i$), времени транспортировки ($tt_{ij} \pm \Delta tt_{ij}$). Это усложнит алгоритм выбора ввиду неоднозначности сравнения временных величин, заданных вероятностными распределениями, но общая структура модели останется той же.
3. Ограничение транспортной системы, то есть рассмотрение сети с подграфом полного графа. Для этого достаточно запретить некоторые связи, задав бесконечное время транспортировки.
4. Ввести возможные выходы деталей из системы до завершения полной обработки, что моделирует выход бракованной детали.
5. Ввести ограничения пропускной способности транспортной системы:
 - ограничить количество транспортных единиц;
 - запретить движение по встречным ребрам маршрута и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методология и научный инструментарий системных исследований, представленные в настоящей статье и составляющие основу экспериментального/машинного моделирования динамики сложных объектов и процессов, предоставляют возможность организации эффективного управления высокотехнологичным интегрированным производством, посредством автоматизации проектирования структурно-компоновочных преобразований адаптивной производственной системы и параметрического синтеза базовых компонентов бизнес-процессов, реализуемых на ее гибкой технологической платформе.

Представленные в статье принципы интеллектуализации и алгоритмы управления роботизированным/безлюдным производством могут оказаться полезными для совершенствования теории и методологии управления основной деятельностью на предприятиях, использующих традиционные типы и методы поточного, серийного и единичного производства; при разработке новых подходов к организации движения / реконфигурации материальных потоков в логистических сетях / системах промышленных предприятий и интегрированных цепочках поставщиков комплекующих в соответствии с производственным планом; алгоритмов управления реконфигурацией микропроцессорных вычислительных систем на основе нечеткой информации и т.п.

В определенном смысле материал статьи является продолжением исследований в области повышения надежности и адаптивности искусственных (информационно-управляющих / операционных) систем, инициированных в 1980-х гг. АН СССР, на основе дискретно-событийного подхода к принятию решений по реконфигурации вычислительной системы в условиях неопределенности исходной информации с использованием нечетко-логического описания/представления знаний [8, 31, 34, 99, 100, 101].

Литература

1. Абдикеев Н.М. Автоматизированные информационные системы в производстве, маркетинге и финансах [Текст] / Н.М. Абдикеев. – М. : КОС-ИНФ, Рос. Экон. Акад., 2003. – 183 с.
2. Абчук В.А. Управление в гибком производстве [Текст] / В.А. Абчук, Ю.С. Карпенко. – М. : Радио и связь, 1990. – 128 с.
3. Аверьянов О.И. и др. Перспективы и концепция создания автоматизированных заводов [Текст] / О.И. Аверьянов, Б.И. Черпаков, В.Н. Ефимов // Станки и инструмент. – 1991. – №3. – С. 2-4.
4. Адамов Е.О. Основные принципы построения автоматизированного машиностроительного производства [Текст] / Е.О. Адамов, С.М. Дукарский. – М. : ИАЭ-4111/16, 1985.
5. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения [Текст] / Ж. Адамар. – М. : Сов. радио, 1977. – 152 с.
6. Адамецки К. «О науке организации» [Текст] / К. Адамецки ; пер. с польск. А.Н. Сухорученко. – М. : Экономика, 1972. – 191 с.
7. Альперович Т.А. и др. Компьютеризированные интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении [Текст] / Т.А. Альперович, В.В. Барабанов, А.Н. Давыдов, С.Н. Сергеев, Е.В. Судов, Б.И. Черпаков. – М. : ВИМИ, 1999. – 512 с.
8. Алексенко А.Г. и др. Управление восстановлением работоспособности резервированных микропроцессорных систем [Текст] / А.Г. Алексенко, А.С. Бжезинский, М.С. Куприянов, О.Н. Ярыгин // Микроэлектроника. – Т. 15; Вып. 3. – 1986. – С. 203-208.
9. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем [Текст] / П.К. Анохин. – М. : АН СССР, 1971. – 57 с.
10. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса [Текст] / П.К. Анохин. – М. : Медицина, 1968. – 548 с.
11. Антонов А.Н. Основы современной организации производства [Текст] / А.Н. Антонов, Л.С. Морозова. – М. : Дело и слово, 2004. – 432 с.
12. Афанасьев А.П. Проблемы вычислений в распределенной среде: распределенные приложения, коммуникационные системы, математические модели и оптимизация [Текст] / А.П. Афанасьев // Тр. Ин-та системного анализа РАН. – 2006. – Т. 25.
13. Берг А.И. Философские вопросы кибернетики [Текст] / А.И. Берг, Б.В. Бирюков // Энциклопедия кибернетики. – Т. 2. – Киев, 1975.
14. Богданов А.А. Тектология: всеобщая организационная наука [Текст]: в 2 кн. / А.А. Богданов. – М. : Экономика, 1989. – 304 с., 351 с.
15. Бударов А.Ю. Методология управления развитием научно-производственных комплексов на основе системно-синергетического подхода [Текст] : монография / А.Ю. Бударов. – М. : МИЭТ, 2010. – 248 с. : ил.
16. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов [Текст] / Н.П. Бусленко. – М. : Наука, 1964. – 352 с.
17. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 339 с.
18. Васильев В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении [Текст] / В.Н. Васильев. – М. : Машиностроение, 1986. – 312 с. : ил.
19. Величковский Б.М. Функциональная структура познавательных процессов [Текст] : дисс. д-ра психол. наук / Б.М. Величковский. – М. : МГУ, 1986.
20. Величковский Б.М. Когнитивная наука: основы психологии познания [Текст] : в 2 т. / Б.М. Величковский. – М. : Академия, 2006. – 448 с., 432 с.
21. Винер Н. Кибернетика: или управление и связь в животном и машине [Текст] / Н. Винер. – М. : Наука, 1983. – 344 с.
22. Волкова В.Н. К методике проектирования автоматизированных информационных систем [Текст] / В.Н. Волкова // Автоматическое управление и вычислительная техника. Вып. 11. – 1975. – С. 289-300.
23. Волкова В.Н. и др. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи [Текст] / В.Н. Волкова,

- В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
24. Волкова В.Н. Искусство формализации [Текст] / В.Н. Волкова. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 1999. – С. 88-89.
 25. Волкова В.Н. Постепенная формализация моделей принятия решений [Текст] / В.Н. Волкова. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2006. – 120 с.
 26. Гиндин Д.Е. и др. Опыт реализации полигона автоматизированного завода «Красный пролетарий» [Текст] / Д.Е. Гиндин, Е.В. Судов, А.Я. Шапиро // Развитие современного металлообрабатывающего оборудования в России и Китае : сб. науч. тр. ЭНИМС. – М., 1993. – С. 50-61.
 27. Гнеденко В.Г. и др. Обобщенная концепция компьютеризированных интегрированных производств машиностроения [Текст] / В.Г. Гнеденко, С.М. Дукарский, В.И. Дмитриев, Е.В. Судов ; под общ. ред. В.Н. Петриченко. – М. : Препринт центра «Совинстандарт» РСПП, 1993.
 28. Горнев В.Ф. и др. Оперативное управление в ГПС [Текст] / В.Ф. Горнев, В.В. Емельянов, М.В. Овсянников. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
 29. Горелова Г.В. Региональная система образования: методология комплексных исследований [Текст] / Г.В. Горелова., Н.Х. Джаримов. – Майкоп, 2002. – 360 с.
 30. Горелова Г.В. Моделирование и выбор сценариев социально-экономических систем [Текст] / Г.В. Горелова // Сб. : Менеджмент, экономика и финансы: региональное управление. – Таганрог : Изд-во ТИУиЭ, 2003.
 31. Денисова Т.М. и др. Моделирование процессов управления реконfigurацией вычислительных систем с резервированием [Текст] / Т.М. Денисова, М.С. Куприянов, О.Н. Ярыгин // Электронное моделирование. – 1987. – №3. – С. 27-32.
 32. Единая концепция создания автоматизированных заводов в машиностроении [Текст] : в 2 кн. – М. : ВНИИТЭМР, 1988. Кн. 1. – 99 с.
 33. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем [Текст] / А.Г. Ивахненко. – Киев : Наукова думка, 1982. – 360 с.
 34. Игнатъев М.Б. и др. Адаптивные алгоритмы управления резервированными системами [Текст] / М.Б. Игнатъев, М.С. Куприянов, Т.М. Денисова, О.Н. Ярыгин // Кибернетика. – 1988. – №5. – С. 50-54.
 35. Интегрированная АСУ автоматизированных производств [Текст] / под ред. Б.И. Черпакова. – М. : ЭНИМС, 1992. – 304 с. : ил.
 36. Кохонен Т. Ассоциативные запоминающие устройства [Текст] / Т. Кохонен ; пер. с англ. – М. : Мир. 1982. – 384 с.
 37. Лайкер Д. Дао Тоюта: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира [Текст] / Джеффри Лайкер ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 402 с.
 38. Лоскутов А.Ю. Синергетика и нелинейная динамика: новые подходы к старым проблемам [Текст] / А.Ю. Лоскутов. – М. : МГУ, 2002.
 39. Лурия А.Р. Об историческом развитии познавательных процессов [Текст] / А.Р. Лурия. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1974.
 40. Лурия А.Р. Объективное исследование динамики семантических систем [Текст] / А.Р. Лурия, О.С. Виноградова // Семантическая структура слова. – М. : Наука, 1971. – С. 27-63.
 41. Лурия А.Р. Естественнонаучные основы психологии [Текст] / А.Р. Лурия. – М. : Педагогика, 1978. – С. 7-23.
 42. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании [Текст] / Ю.Г. Марков. – Новосибирск : Наука, 1982. – 255 с.
 43. Мессарович М. Общая теория систем: математические основы [Текст] / М. Мессарович, Я. Такахака. – М. : Мир, 1978. – 311 с.
 44. Милованов В.П. Синергетика и самоорганизация: Экономика. Биофизика [Текст] / В.П. Милованов. – М. : КомКнига, 2005. – 168 с.
 45. Мизюн В.А. Экономическая кибернетика. Экономика региона: социальный и производственный аспект [Текст] / В.А. Мизюн, Е.М. Шевлякова // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Тольятти : ТГУ, 2006. – С. 183-196.
 46. Мизюн В.А. Использование интеллектуальных систем человека в управлении экономикой / В.А. Мизюн // Экономика и управление. – 2007. – №4.
 47. Мизюн В.А. Организация гармоничного производства [Текст] / В.А. Мизюн, Е.М. Шевлякова // Экономика и управление. – 2008. – №5. – С. 106-112.
 48. Мизюн В.А. Интеллектуальные методы управления предприятием [Текст] / В.А. Мизюн. – СПб. : Академия управления и экономики, 2008. – 288 с.
 49. Мизюн В.А. Модель конкурентоспособного производства [Текст] / В.А. Мизюн // Аудит и финансовый анализ. – 2009. – №5. – С. 314-344.
 50. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив [Текст] : учеб. пособие / С.В. Микони. – СПб. : Лань, 2009. – 272 с. : ил.
 51. Мыльник В.В. и др. Исследование систем управления [Текст] / В.В. Мыльник, Б.П. Титаренко, В.А. Волочиенко. – 4-е изд. – М. : Академический проект, 2006. – 352 с.
 52. Найссер У. Познание и реальность [Текст] / У. Найссер. – М., 1981. – 232 с.
 53. Непейвода Н.Н. Прикладная логика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н.Н. Непейвода. – 2-е изд. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 2000. – 521 с.
 54. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем [Текст] / Т. Нейлор. – М. : Мир, 1975. – 500 с.
 55. Николас Г. Самоорганизация в неравновесных системах [Текст] / Г. Николас, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
 56. Нордстрем К.А. и др. Бизнес в стиле фанк [Текст] : книги Стокгольмской школы экономики в Санкт-Петербурге / Кьелл А. Нордстрем, Йонас Риддерстрале. – 3-изд., доп. – СПб. : BookHause Publishing, Stockholm, 2002.
 57. Научно-технические аспекты разработки и реализации программы создания автоматизированных заводов [Текст] / под ред. Б.И. Черпакова. – М. : ЭНИМС, 1991. – 212 с. : ил.
 58. Научно-методические основы разработки и создания автоматизированных заводов [Текст] / под ред. О.И. Аверьянова и Б.И. Черпакова. – М. : ЭНИМС, 1989. – 196 с. : ил.
 59. Организация производства [Текст] / под ред. О.Г. Туровца. – М. : Экономика и финансы, 2002. – 452 с.
 60. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии [Текст] / Г.С. Поспелов. – М. : Наука, 1988. – 280 с. : ил.
 61. Потехин И.П. Логистика и компьютеризированные интегрированные производства [Текст] / И.П. Потехин // Автоматизация и современные технологии. – 1995. – №2. – С. 34-36.
 62. Прангишвили И.В. и др. Однородные микроэлектронные ассоциативные процессоры [Текст] / И.В. Прангишвили, Г.М. Попова, О.Г. Смородинова, А.А. Чудин ; под ред. И.В. Прангишвили. – М. : Сов. радио, 1973. – 280 с.
 63. Производственный менеджмент [Текст] : учеб. для вузов / под ред. В.А. Козловского. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 547 с.
 64. Принципы самоорганизации [Текст] / пер. с англ. ; под ред. и с предисл. А.Я. Лернера. – М. : Мир, 1966. – 303 с.
 65. Рахман И.А. Корпоративное управление как фактор конкуренции [Текст] / И.А. Рахман, А.Р. Терентьев // Экономика строительства. – 2006. – №1. – С. 2-13.
 66. Рахман И.А. Корпоративное управление как фактор конкуренции [Текст] / И.А. Рахман, А.Р. Терентьев // Экономика строительства. – 2006. – №2. – С. 2-9.
 67. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами [Текст] / Л.А. Растринин. – М. : Радио и связь, 1980. – 230 с.
 68. Радченко А.Н. Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров [Текст] / А.Н. Радченко. – СПб. : Наука. 1998. – 261 с.
 69. Руденко А.П. Самоорганизация и синергетика [Текст] / А.П. Руденко // Сб. трудов семинара «Синергетика». Вып. 3. – 2000. – С. 61-99.
 70. Смирнов И.В. Компьютерный психосемантический анализ и психокоррекция на неосознаваемом уровне [Текст] / И.В. Смирнов [и др.] – М. : Прогресс, 1995. – 416 с.

71. Смирнов И.В. Психозеология [Текст] / И.В. Смирнов. – 1-е изд. – М. : Холодильное дело ; Спецмонтажстрой-СТ, 2003. – 336 с.
72. Солсо Р. Когнитивная психология [Текст] / Р. Солсо. – М. : Мир, 1996.
73. Станкевич Л.А. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Интеллектуальные системы [Текст] / Л.А. Станкевич. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2000.
74. Станкевич Л.А. Когнитивные системы [Текст] / Л.А. Станкевич // Информационные технологии в моделировании и управлении : мат-лы междунар. НТК. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2000.
75. Системокванты физиологических процессов [Текст] / под ред. К.В. Судакова. – М. : Международный гуманитарный фонд, 1997. – 152 с.
76. Судаков К.В. Информационные грани жизнедеятельности [Текст] / К.В. Судаков // Вестник РАМН. – 2002. – №6. – С. 8-13.
77. Судаков К.В. Эволюционный изоморфизм в построении устойчивых сообществ [Текст] / К.В. Судаков // Устойчивое развитие. Наука и практика. – 2003. – №2. – С. 59-87.
78. Судов Е.В. и др. Реализация системы связи АСУ производственного участка с локальными системами управления оборудованием и рабочими местами [Текст] / Е.В. Судов, М.А. Михайловский, В.А. Мыльников // Интегрированная АСУ автоматизированных производств : сб. науч. трудов ЭНИМС. – 1992. – С. 228-232.
79. Системный анализ и принятие решений [Текст] : словарь-справочник : учеб. пособие для вузов [Текст] / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М. : Высшая школа, 2004. – 616 с. : ил.
80. Самоорганизующиеся системы [Текст] / пер. с англ. – М. : Мир, 1964.
81. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям [Текст] / В.Б. Тарасов. – М. : КомКнига, 2002. – 352 с. – (Науки об искусственном).
82. Темников Ф.Е. Высокоорганизованные системы [Текст] / Ф.Е. Темников // Большие системы: теория, методология, моделирование. – М. : Наука, 1971. – С. 85-94.
83. Трубецков Д.И. и др. Введение в теорию самоорганизации открытых систем [Текст] / Д.И. Трубецков, Е.С. Мчедлова, Л.В. Красичков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2005. – 212 с.
84. Теоретические основы создания перекомпоуемых систем машин переменной структуры и их реализации [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.И. Царев. – М., 1997. – 32 с. : ил.
85. Теория систем и системный анализ в управлении организациями [Текст] : справочник : учеб. пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 848 с. : ил.
86. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника, теория и практика [Текст] / Ф. Уоссермен ; под ред. А.И. Галушкина. – М. : Мир, 1992. – 238 с.
87. Уэно Х. Представление и использование знаний [Текст] / Х. Уэно и [и др.] ; пер. с япон. / под ред. Х. Уэно. – М. : Мир, 1989. – 220 с. : ил.
88. Хакен Г. Информация и самоорганизация [Текст] / Г. Хакен. – М. : Мир, 1991. – 240 с.
89. Хартли Дж. ГПС в действии [Текст] / пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с. : ил.
90. Царев А.М. Перекомпоуемые производственные системы реконфигурируемого производства. Обеспечение жесткости автоматически сменных узлов призматической формы [Текст] : монография / А.М. Царев, Д.Г. Левашкин. – М. : Спутник+, 2007. – 304 с.
91. Царев А.М. Перекомпоуемые производственные системы – перспективное направление развития машиностроения [Текст] : монография / А.М. Царев. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 156 с.
92. Чейз Р.Б. и др. Производственный и оперативный менеджмент [Текст] / Р.Б. Чейз, Н.Дж. Эквилайн, Р.Ф. Якобс ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2007. – 950 с.
93. Черняк Ю.И. Закономерности целеобразования в экономических системах [Текст] / Ю.И. Черняк // Информация и модели структур управления. – М. : Наука, 1972. – С. 13-30.
94. Черпаков Б.И. Интегрированная система управления автоматизированным заводом [Текст] / Б.И. Черпаков, Е.В. Судов // СТИН. – 1994. – №6. – С. 5-9.
95. Шамис А.Л. Пути моделирования мышления. Активные синергетические нейронные сети, мышление, творчество, формальные модели поведения и «распознавания с пониманием» [Текст] / А.Л. Шамис. – М. : КомКнига, 2006. – 336 с.
96. Шевелев И.А. Волновые процессы в коре головного мозга и зрительное восприятие [Текст] / И.А. Шевелев // Природа. – 2001. – №12. – С. 28-35.
97. Шевелев И.А. Психофизиологическое исследование опознания неполных изображений [Текст] / И.А. Шевелев [и др.] // Сенсорные системы. – 2003. – Т. 17. – №12. – С. 340-348.
98. Шрейдер Ю.А. ЭВМ как средство представления знаний [Текст] / Ю.А. Шрейдер // Природа. – 1986. – №10.
99. Ярыгин О.Н. Алгоритм управления реконфигурацией резервированной системы на основе нечеткой информации [Текст] / О.Н. Ярыгин // Деп. ВИНТИ, № 5555 – В86, 1986, 36 с.
100. Ярыгин О.Н. Алгоритм управления реконфигурацией резервированной системы на основе нечеткой информации [Текст] : дополнительные исследования / О.Н. Ярыгин // Деп. ВИНТИ, № 9081 – В86, 1986, 14 с.
101. Ярыгин О.Н. Реконфигурация цепей поставок в логистических сетях на основе частотного показателя качества [Текст] / О.Н. Ярыгин // Известия ЦНЦ РАН. Технологии управления организацией. Качество продукции и услуг. Вып. 9. – Самара, 2008.
102. Modeling of the Wood Reconfigurable Manufacturing System Based on TCPN and IDEF0 [Electronic resource] // The 6th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009). URL: <http://www.icita.org/papers/30-cn-Zhao-075.pdf>
103. Neisser, U. (1967). Cognitive psychology [Text]. NY: Appleton-Century-Crofts.
104. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories [Text] / Anatoli I. Dashchenko (Ed). – Berlin / New York : Springer, 2006. 759 p.

Мизюн Владимир Анатольевич

Султанов Ахмед Гаджимагомедович

Ярыгин Олег Николаевич

Ключевые слова

Системная динамика; синергетика; самоорганизация бизнес-структуры; визуализация; реконфигурируемые системы; высокопроизводительные вычисления; человеко-машинный интеллект; принятие решений; calc-технологии; nbic-конвергенция.

РЕЦЕНЗИЯ

Применение в современном высокотехнологичном производстве систем машин нового поколения с автоматически изменяемой / реконфигурируемой структурой позволяет широко использовать параллельную организацию работ на различных этапах и стадиях производства, что предполагает существенное повышение эффективности работы машиностроительного предприятия, но требует точной координации / синхронизации взаимодействия различных элементов производственной системы. В этой связи возникает объективная необходимость пересмотра подходов к организации и управления предприятиями и отраслями машиностроительного комплекса, поскольку возникает противоречие между меняющимся содержанием хозяйственной деятельности и отстающими по темпам совершенствования методами и инструментами менеджмента организаций. Особенно важной становится задача формирования принципиально новой теоретической и технологической базы производственного менеджмента, совершенствования существующих и разработки инновационных методов и технологий моделирования системной динамики, проектирования и эффективного / оптимального регулирования бизнес-процессов, позволяющих повысить качество организации и эффективность работы предприятий, определяющих в конечном итоге результаты экономических реформ.

В настоящее время существует многообразие теоретических и методологических подходов к обеспечению эффективности и конкурентоспособности промышленного производства. Большинство исследований в этой области посвящены решению отдельных проблем организации эффективного / оптимального управления интегрированными бизнес-структурами и процессами их функционирования с использованием модели централизованного / директивного управления и ограниченного аппарата прагматики (теории автоматического управления, формальной логики и математического программирования) для отображения сложного процесса функционирования современного адаптивного машиностроительного производства. Разработанные на их основе методы и средства моделирования дают неполное представление о потенциальных возможностях гибких технологий и производственных систем по причине отсутствия адекватного аппарата машинной имитации динамических (пространственно-временных) свойств их составных частей и элементов.

Альтернативным направлением исследований являются подходы, опирающиеся на активное начало/самодвижение и интеллект компонентов интегрированных бизнес-структур, обеспечивающих их самоорганизацию и эффективное / оптимальное функционирование на основе всеобъемлющего информационного взаимодействия их составных частей посредством использования ассоциативных / интеллектуальных форм организации, методов и инструментов управления. Это перспективное направление развития теории и практики организации управления сложными экономическими системами требует изучения и формализованного описания синергетического взаимодействия элементов самоорганизующейся структуры; исследования процесса системогенеза, разработки способов и средств его стимулирования.

Рассмотренный в статье интеллектуальный подход к организации управления производственно-хозяйственной деятельностью характеризует результаты изысканий, обладающие определенной новизной и связанные с разработкой методологических положений, методики и инструментального обеспечения исследований пространственно-временной динамики совместного функционирования бизнес-единиц в рамках интегрированной бизнес-структуры.

Исходя из изложенного, рекомендую статью к публикации

Анискин Ю.П., д.э.н., профессор, зав. кафедрой экономики и менеджмента Московского государственного института электронной техники – Национального исследовательского университета, заслуженный работник высшего образования, лауреат премии Правительства РФ

3.12. METHODOLOGY OF ANALYSIS OF BUSINESS PROCESS SYSTEM DYNAMICS BASED ON SMART INFORMATION TECHNOLOGIES

V.A. Mizyun, Candidate of Technical Science
O.N. Yarygin, Candidate of Pedagogical Science;
A.G. Sultanov, Lecturer

Togliatti State University

The paper presents methodological problems of system dynamics formalized description and self organization business process CAM simulation problems in integrated productive-economic structures.

Represented Informational Technologies give support to the cognitive and decision-making process focused on the synchronization of reconfigurable automatic machines and organizations' personnel systems when creating and manufacturing high technology products. The technologies as above make us possible to upgrade labour quality and productivity as well as the efficiency and innovative production level.

The research findings presented in the paper are oriented on creation of effective industrial management systems.

Literature

1. N.M. Abdikeyev. Automated information systems in manufacturing, marketing and finance [Text] / N.M. Abdikeyev. – M.: COS-IFN, Ros. Econ. Acad., 2003. – 183 p.
2. V.A. Abchuk. Management in flexible manufacturing [Text] / V.A. Abchuk, Y.S. Karpenko. – M.: Radio and Communications, 1990. – 128 p.
3. O.I. Averyanov. Prospects and the concept of automated plants [Text] / O.I. Averyanov, B.I. Cherpakov, V.N. Efimov // Machines and tools. – 1991. – №3. – P. 2-4.
4. E.O. Adamov. Basic principles of automated machinery production [Text] / E.O. Adamov, S.M. Dukarsky. – M.: IAE-4111/16, 1985.
5. J. Hadamard. Psychology Research process of the invention. – M.: Sov. Radio, 1977.
6. K. Adametski. «On the science of the organization» [Text] / K. Adametski; translated from Polish A.N. Sukhoruchenko. – M.: Economics, 1972. – 191 p.
7. T.A. Alperovich. Computer-integrated manufacturing and CALS-technologies in engineering [Text] / T.A. Alperovich, V.V. Barabanov, A.N. Davydov, S.N. Sergeev, E.V. Sudov, B.I. Cherpakov. – M.: VIMI, 1999. – 512 p.
8. A.G. Aleksenko. Restoration control of working capacity of redundant microprocessor systems [Text] / A.G. Aleksenko, A.S. Bzhezinsky, M.S. Kuprijanov, O.N. Yarygin // Microelectronics. T.15. Release 3. 1986. P. 203-208.
9. P.K. Anohin. The Principal questions of the general theory of functional systems [Text] / P.K. Anohin. – M.: AN USSR, 1971. – 57 p.
10. P.K. Anokhin. Unconditioned reflex Biology and Neurophysiology [Text] / P.K. Anohin. – M.: Medicine, 1968. – 548 p.
11. A.N. Antonov. Bases of the modern organization of production [Text] / A.N. Antonov, L.S. Morozova. – M.: Publishing house «Business and word», 2004. – 432 p.
12. A.P. Afanasyev. The problems of computing in distributed environment: distributed application, communication systems, mathematical models and optimization [Text] / A.P. Afanas'ev // The collection of works of Systems Analysis Institute RAS. – M., 2006. – T. 25.
13. A.I. Berg. Philosophical Problems of Cybernetics [Text] / A.I. Berg, B.V. Biryukov // Encyclopedia of Cybernetics. v. 2. Kiev, 1975.
14. A.A. Bogdanov. Tectology: the General organizational science. T. 1-2 [Text] / A.A. Bogdanov. – M.: Economy, 1989. – 304 p, 351 p.
15. A.U. Budarov. Methodology of management of research-and-production complexes development on a basis of the system-sinergetics approach [Text]: the monography / A.U. Budarov. – M: MIET, 2010.- 248 p.: with illustrations.
16. N.P. Buslenko. Mathematical modeling of manufacturing processes [Text] / N.P. Buslenko. – M.: Nauka, 1964. – 352 p.
17. N.P. Buslenko. Simulation of complex systems [Text] / N.P. Buslenko. – M.: Nauka, 1978. – 339 p.
18. V.N. Vasiliev. Organization, management and economics of flexible integrated manufacturing in mechanical engineering [Text] / V.N. Vasiliev. – M.: Engineering, 1986. – 312 p.: with illustrations.
19. B.M. Velichkovsky. Functional structure of cognitive processes: Doctor of Sichology Diss. Moscow: Moscow State University, 1986.
20. B.M. Velichkovskij. Kognitivnaya a science: bases of psychology of knowledge: in 2 v. [Text] / B.M. Velichkovskij – M.: Academy, 2006. – 448 p., 432 p.
21. N. Viner. Cybernetics: or management and communication in an animal and the machine [Text] / N.Viner. – M.: Nauka, 1983. – 344 p.
22. V.N. Volkova. Automated information systems design methods [Text] / V.N. Volkova // Automatic Control and Computer Engineering. Number. 11. – Moscow: Engineering, 1975. – P. 289-300.
23. V.N. Volkova. Systems theory and system analysis methods in management and communications [Text] / V.N. Volkova, V.A. Voronkov, A.A. Denisov, and others – M.: Radio and Communications, 1983. – 248 p.

24. V.N. Volkova. Art of formalization [Text] / V.N. Volkova. – St.Petersburg : Polytechnic Univ. Press, 1999. – P. 88-89.
25. Volkova, V.N. Progressive formalization of decision-making models [Text] / V.N. Volkova. – St.Petersburg: Polytechnic Univ. Press, 2006. – 120 p.
26. D.A.Gindin. Landfill automated factory implementation experience «Red Proletarian» [Text] / D.A. Gindin, E.V. Sudov, A.J. Shapiro // The development of modern metalworking equipment in Russia and China, Collection of Scientific Papers ENIMS, M., 1993, P. 50-61.
27. V.G. Gnedenko. The generalized concept of computer-integrated engineering [Text] / V.G. Gnedenko, S.M. Dukarsky, V.I. Dmitriev, E.V. Sudov ; Under the general Editorship V.N. Petrichenko. – M. : Preprint Center Sovinstandart RSP, 1993.
28. V.F. Gornev. Operative management of FMS [Text] / V.F. Gornev, V.V. Emel'yanov, M.V. Ovsyannikov. – M. : Engineering, 1990. – 256 p.
29. G.V. Gorelova. Regional Education System: comprehensive research methodology [Text] / G.V. Gorelova., N.H. Dzhari-mov. – Maikop. 2002. – 360 p.
30. G.V. Gorelova. Modeling and selection scenarios of socio-economic systems [Text] / G.V. Gorelova / Collection: Management, Economics and Finance : Regional Management. – Taganrog, Univ. Press, 2003.
31. T.M. Denisova. Modeling of controlling processes of reconfiguration of computing systems with reservation [Text] / T.M. Denisova, M.S. Kupriyanov, O.N. Yarygin // Electronic modeling. 1987. №3. P.27-32.
32. Unified concept of automated factories in mechanical engineering [Text]: In the 2 books. – M.: VNIITEMR, 1988. Book 1. – 99 p.
33. Ivakhnenko A.G. Inductive method of self-organizing models of complex systems [Text] / A.G. Ivakhnenko. – Kiev: Naukova Dumka, 1982. – 360 p.
34. Ignatyev M.B. Adaptive algorithms of management of redundant systems [Text] / M.B. Ignatyev, M.S. Kupriyanov, T.M. Denisov, O.N. Yarygin // Cybernetics. 1988, №5, P. 50-54.
35. Integrated process control automated production [Text] / Ed. B.I. Tcherpakov – M.: ENIMS, 1992. – 304 p.: with illustrations.
36. T.Kohonen. Associative memory devices [Text] / T. Kohonen; trans. from English. – M.: Mir. 1982. – 384 p.
37. D. Lajker. Dao Toyota: 14 principles of management of the conducting company of the world [Text] / D. Lajker; Translation from the English language the second edition. – M. : Alpina Business Books, 2006.- 402 p.
38. A.Y. Loskutov. Synergetics and nonlinear dynamics: new approaches to old problems [Text] / A.Y. Loskutov. – M., Moscow State University, 2002.
39. A.R. Luria. The historical development of cognitive processes [Text] / A.R. Luria. – M. : Moscow State University, 1974.
40. A.R. Luria. Objective study of the dynamics of semantic systems, Semantic structure of the word [Text] / A.R. Luria, O.S. Vinogradova. – M. : Nauka, 1971, P. 27-63.
41. A.R. Luria. Applied and Basic Psychology [Text] / A.R. Luria. – M. : Pedagogy, 1978, P.7-23.
42. J.G. Markov. A functional approach to modern scientific knowledge [Text] / J.G. Markov. – Novosibirsk : Nauka, 1982. – 255 p.
43. M. Messarovich. General Systems Theory: mathematical foundations [Text] / M. Messarovich, Y. Takahara. – M. : Mir, 1978. – 311 p.
44. V.P. Milovanov. Synergetics and self-organization: Economics. Biophysic [Text] / V.P. Milovanov. – M.: KomKniga, 2005. – 168 p.
- V.A. Mizun. Economic cybernetics [Text] / V.A. Mizun, E.M. Shevlyakova // Economy of region: social and industrial aspect: the Collection of works of the International scientific – practical conference. – Togliatti: TSU, 2006. – 390 p.
46. V.A. Mizyun. The use of intelligent human systems in economic management [Text] / V.A. Mizyun // Economics and Management. – St. Petersburg Publishing house of economy and management Academy, 2007. – №4. – P. 193 – 199.
47. V.A. Mizyun. The organization of harmonious production [Text] / V.A. Mizun, E.M. Shevlyakova // Economy and management. – St.Petersburg : Publishing house of Academy of economy and management, 2008. – №5. – P. 106 -112.
48. V.A. Mizyun. Intellectual methods of operation of business [Text] / V.A. Mizun. St.Petersburg : Publishing house of Academy of economy and management, 2008. – 288 p.
49. V.A. Mizyun. Model of competitive production [Text] / V.A.Mizyun // Audit and financial analysis.-M., 2009.- N5. – P.314 -344.
50. S.V. Miconi Multi-criteria selection of alternatives [Text] : Textbook / S.V. Miconi. – St.Petersburg : Lan, 2009. – 272 p.: with illustrations.
51. V.V. Mylnikov The study of control systems [Text] / V.V. Mylnikov, B.P. Titarenko, V.A. Volochienko; 4 th ed. – M. : Academic Project, 2006. – 352 p.
52. U. Neisser. Cognition and reality [Text] / U. Neisser. – M., 1981. – 232 p.
53. N.N. Nepejvoda. Applied Logic [Text] / N.N. Nepejvoda; 2nd ed. – Novosibirsk: Publishing House NGU, 2000. – 521 p.
54. T. Naylor. Machine simulation experiments with models of economic systems [Text] / T. Naylor. – M. : Mir, 1975. – 500 p.
55. G. Nicholas. Self-organization in nonequilibrium systems [Text] / G. Nicholas, I. Prigogine. – M. : Mir, 1979. 512 p.
56. Nordstrom Kjell A. Funky Business. Stockholm Economics School Books St. Petersburg [Text] / Kjell A. Nordstrom, Jonas Ridderstrale. – 3rd-ed. Sup. – St. : Publishing Book-Hause, Stockholm, 2002.
57. Scientific and technical aspects of developing and implementing automated factories programme [Text] / Ed. B.I. Tcherpacov. – M.: ENIMS, 1991. – 212 p.: with illustrations.
58. Scientific and methodological foundations of development and creation of automated factories [Text] / Ed. O.I. Averyanova and B.I. Tcherpacov – M. : ENIMS, 1989. –196 p.: with illustrations.
59. The organization of production [Text] / Under O.G.Turovtsa's edition // Economy and the finance, 2002. – 452 p.
60. G.S. Pospelov. Artificial Intelligence – a basis of new information technology [Text] / G.S.Pospelov – M. : Nauka, 1988. – 280 p.: with illustrations.
61. I.P. Potekhin. Logistics and computer-integrated manufacturing / automation and modern technology [Text] / I.P. Potekhin. – 1995. – №2. – P. 34-36.
62. I.V. Prangishvili. Homogeneous microelectronic associative processors [Text] / I.V. Prangishvili, G.M. Popova, O.G. Smorodina, A.A. Chudinov; ed. I.V. Prangishvili. – M. : Sov. Radio. 1973. – 280 p.
63. Production Management [Text]: Textbook / Ed. V.A. Kozlovsky. – M. : INFRA-M, 2005. – 547 p.
64. The principle of self-organization / trans. from English; ed. A.Y. Lerner. – M. : Mir, 1966. – 303 p.
65. I.A. Rahman. Corporate governance as a factor in competition [Text] / I.A. Rahman, A.R Terentyev // Construction Economics. – 2006. – №1 (564). – P. 2-13.
66. I.A. Rahman. Corporate governance as a factor in competition [Text] / I.A. Rahman A.R. Terentyev // Construction Economics. – 2006. – №2 (565). – P. 2-9.
67. L.A. Rastrigin. Modern principles of management of complex objects [Text] / L.A. Rastrigin. – M. : Radio and Communications, 1980. – 230 p.
68. A.N. Radchenko. Associative memory. Neural networks. Optimization neuroprocessors. [Text] / A.N. Radchenko – St.Petersburg : Nauka. 1998. – 261 p.
69. A.P. Rudenko. Self-Organization and Synergetics [Text] / A.P. Rudenko // Coll. proceedings of the seminar: Synergetics. Issue.3. – M.: MSU, 2000. – P. 61-99.
70. I.V. Smirnov. Computer psychosemantic analysis and psycho-correction on the unconscious level [Text] / I.V. Smirnov [and others] – M. : Publishing Group «Progress», 1995. –416 p.
71. I.V. Smirnov. Psihoekologiya [Text] / I.V. Smirnov; first edition – M.: OOO Publishing House «Refrigeration business» with the technical assistance LLC SpetsMontazhStroy-ST, 2003. –336 p.
72. R. Salto. Cognitive psychology [Text] / R. Salto. – M. : Mir, 1996.

73. L.A. Stankevich. Intelligent technology and knowledge representation. Intelligent Systems [Text] / L.A. Stankevich. – St. Petersburg : Polytechnic Univ. Press, 2000.
74. L.A. Stankevich. Kognitive system [Text] / L.A. Stankevich // Information technologies in modeling and management: Proceedings of Int. STC. St. Petersburg.: Polytechnic Univ. Press, 2000.
75. Quantum of system of physiological processes [Text] / Ed K.V. Sudakov. – M. : The International humanitarian fund. 1997. – 152 p.
76. K.V. Sudakov. Information of a side of ability to live [Text] / of K.V. Sudakov // the Bulletin of Russian Academy of Medical Science. – M.: Medicine, 2002. – №6. – P. 8-13.
77. K.V. Sudakov. Evolutionary isomorphism in construction of steady communities [Text] / K.V. Sudakov // Steady development. A science and practice. – M., 2003. – №2. – P. 59-87.
78. E.V. Sudov. The implementation of the communication system ACS manufacturing site with the local management systems and equipment, and jobs [Text] / E.V. Sudov, M.A. Michaelovsky, V.A. Myl'nikov // ACS integrated automated production: proceedings of the ENIMS, M., 1992, P. 228-232.
79. Systems analysis and decision making [Text]: Dictionary Directory: Teaching aid for high schools / Ed. V.N. Volkova, V.N. Kozlov. – M. : Higher school, 2004 – 616 p.: with illustrations.
80. Self-organizing systems [Text] / translate from English. – Mir, 1964.
81. V.B. Tarasov. From multi-agent systems to intelligent organizations. Artificial Sciences [Text] / VB Tarasov. – M.: KomKniga, 2002. – 352 p. – (Sciences about the artificial).
82. F.E. Temnikov. Highly organized system [Text] / F.E. Temnikov // In book: Large Systems: Theory, methodology, modeling. – M. : Nauka, 1971. – P. 85-94.
83. D.I. Trubetskov. Introduction to the theory of self-organization of open systems [Text] / D.I. Trubetskov, E.S. Mchedlova, L.V. Krasichkov; 2nd ed., revised. and add. – M. : Publishing House of Physical-Mathematical Literature, 2005. – 212 p.
84. The theoretical basis for the creation relinked machine systems with variable structure and their implementation: the dissertation Doctor of Engineering Science: 05.13.07 / A.I. Tsarev. – M., 1997. – 32 p.: with illustrations.
85. Theory and systems analysis in the organizations management [Text]: Directory: textbook / Ed. V.N. Volkova and A.A. Emelyanova. – M. : Finance and Statistics, 2006. – 848 p.: with illustrations.
86. F. Uossermen. Neuro Technology. Theory and Practice [Text] / Uossermen F; ed. A.I. Galushkina. – M. : Mir, 1992. – 238 p.
87. H. Ueno. Introduction and use of knowledge [Text] / H. Ueno, and [etc.]; trans. from Japan; ed. H. Ueno. – M. : Mir, 1989. – 220 p.: with illustrations.
88. H. Haken. Information and self-organizing function [Text] / H. Haken. – M. : Mir, 1991. – 240 c.
89. J. Hartley. GPS in action [Text] / J. Hartley; trans from English. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 328 p.: with illustrations.
90. A.M. Tsarev. The recustomized manufacturing systems of reconfigurable production. Providing rigidity of automatically interchangeable prismatic units [Text]: Monograph / A.M. Tsarev, D.G. Levashkin. – M. : Sputnik +, 2007. – 304 p.
91. A.M. Tsarev. The recustomized manufacturing systems – promising direction of engineering development / A.M. Tsarev. – Togliatti : TSU, 2007 – 156 p.
92. R.B. Chejz. Industrial and operative management: Translation from English [Text] / R.B. Chejz, N.J. Ekvilajn, R.F. Jakobs. – M. : Williams, 2007. – 950 p.
93. Y.I. Chernyak. Regularities target formation at economic systems [Text] / Y. Cherniak // In book: Information and models of governance structures. – M. : Nauka, 1972. – P. 13-30.
94. B.I. Cherpakov. The integrated control system automated plant [Text] / B.I. Chernyak, E.V. Sudov // STIN, 1994. – N6. – P. 5-9.
95. A.L. Shamis. Ways of modeling thinking. Active synergetic neural network, thinking, creativity, formal models of behavior and recognition with the understanding [Text] / A.L. Shamis. – M. : KomKniga, 2006. – 336 p.
96. I.A. Shevelev. Wave processes in the cerebral cortex and visual perception [Text] / I.A. Shevelev // Nature. – M., 2001. – №12. – P 28-35.
97. I.A. Shevelev. Psychophysiological study recognition of incomplete images [Text] / I.A. Shevelev [and others] // Sensor Systems. – M., 2003. – T. 17. – №12. – P. 340-348.
98. J.A. Schrader. Computer as a tool for knowledge representation [Text] / Y.A. Schrader // Nature. – M., 1986. – №10.
99. O.N. Yarygin. Reconfiguration control algorithm of redundant system on the basis of the indistinct information [Text] / O.N. Yarygin // Dep. VINITI, №5555 – B86, 1986, 36 p.
100. O.N. Yarygin. Reconfiguration control algorithm of redundant system on the basis of the indistinct information [Text]: additional researches / O.N. Yarygin // Dep. VINITI , №9081 – B86, 1986, 14 p.
101. O.N. Yarygin. Reconfiguration of deliveries chains in logistical networks on the basis of a frequency indicator qualities [Text] / O.N. Yarygin // News of SSC of the Russian Academy of Sciences. Technologies of management of the organization. Quality of production and services. Release 9 – Samara, 2008.
102. Neisser, U. (1967). Cognitive psychology [Text]. NY: Appleton-Century-Crofts.
103. Modeling of the Wood Reconfigurable Manufacturing System Based on TCPN and IDEF0 [Electronic resource] // The 6th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009). URL: <http://www.icita.org/papers/30-cn-Zhao-075.pdf>
104. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories [Text] / Anatoli I. Dashchenko (Ed). – Berlin ; New York : Springer, 2006.- 759 p.

Keywords

System dynamics; synergetic; business structure self organization; visualization; reconfigurable systems; High-Performance Computing (HPC); human-computer intelligence; decision making; cals-technologies; nbic- convergence.