

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Г.Б. БУРДО, д-р техн. наук, А.Н. БОЛОТОВ, д-р техн. наук

Тверской государственной технической университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gbtms@yandex.ru

© Бурдо Г.Б., Болотов А.Н., 2022

В статье показано, что управление в производственных системах должно осуществляться по параметру качества при одновременном выполнении мероприятий, связанных с сокращением временных и материальных затрат. Предложено в качестве методологической основы для анализа процессов деятельности использовать теорию жизненного цикла изделия. Одним из главных факторов, определяющих эффективность работы автоматизированных производств, является временной интервал от начала проектирования изделия до его выпуска. Рассмотрены мероприятия, позволяющие сократить время выпуска образца нового изделия. Определены основные мероприятия по внедрению процессного подхода к управлению автоматизированными производственными системами. Выявлены требования к технологическим подразделениям производственной системы, к кадрам и кадровой политике в организации.

Ключевые слова: машиностроение, организационно-технологические производственные системы, управление качеством, управление процессами организации, поддержка принятия решений.

DOI: 10.46573/2658-5030-2022-1-76-88

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что машиностроение и приборостроение относятся к высокотехнологичной сфере производства и обладают рядом особенностей, обусловленных причинами:

- а) особыми (температурой, давлением, агрессивными и абразивными средами, работой на глубине) и изменяющимися условиями эксплуатации приборов;
- б) сложностью конструкции изделий вследствие их ограниченных габаритов;
- в) сложностью элементной базы электронной части изделия;
- г) не вполне формализованными критериями качества изделия и отсутствием детального технического задания (ТЗ);
- д) желанием заказчиков иметь продукцию определенных свойств;
- е) сжатыми сроками разработки и изготовления;
- ж) выполнением исследовательских работ;
- и) необходимостью внедрения прогрессивных технологических решений при изготовлении конструкций;
- к) невысокой серийностью производства.

Указанные моменты функционирования автоматизированных производственных систем определяют значительные затраты при создании новых образцов изделия или при реинжиниринге выпускавшихся ранее изделий, что приводит к уменьшению их конкурентоспособности.

Таким образом, можно констатировать, что разработка и исследование методологии создания современных автоматизированных производственных систем крайне востребованы в промышленности.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Иерархическая организация автоматизированных производственных систем

Необходимо дать некоторые пояснения относительно термина «автоматизированная производственная система» (ПС). Наиболее часто в технической литературе под ним подразумевают производственные участки (цеха) машиностроительных или приборостроительных предприятий или их совокупность. На наш взгляд, такой подход не вполне приемлем для рассматриваемых предприятий, относящихся к многоменклатурному производству, поскольку цикл проекта по созданию изделия искусственно разрывается. В связи с этим подход, включающий в ПС конструкторские и технологические службы, производственные мощности, испытательные, научные, а также управляющие (в том числе и самой ПС) подразделения, представляется более продуктивным.

Автоматизированная ПС означает, что большой объем выполняемых в ней процессов реализуется в рамках автоматизированных систем проектирования и управления.

Исследование иерархии автоматизированных ПС дает возможность осознать смысл функционирования самой ПС и ее подсистем – подразделений организации, а также понять процессы, выполняемые в ПС.

На наш взгляд, целесообразно процессную деятельность организации представлять в виде совокупности уровней.

Первый – высший, т.е. уровень управления организацией в целом. Он реализуется автоматизированными системами управления организацией (АСУ). Автоматизированная система управления организацией собирает воедино все процессы деятельности. В ее рамках формируется генеральная цель (стратегия) деятельности производственной организации.

Второй уровень – это уровень управления производством. Он реализуется автоматизированными системами управления производством (АСУП). Здесь определяются процессы, связанные непосредственно с производственной деятельностью организации, и сопровождающие их обслуживающие процессы (транспортирование изделий, закупки, договорная деятельность, продажи и т.д.).

Для того чтобы обеспечить временную увязку процессов и структурировать используемую информацию, на первом подуровне АСУП реализуется методология жизненного цикла изделия (ЖЦИ), определяющая основные этапы ПС, т.е. задействуются автоматизированные системы управления данными об изделии (CALS). Кроме того, на данном подуровне конкретизируется критерий производственной деятельности организации. На наш взгляд, таким основным критерием обязано быть обеспечение качества изделий, поэтому вторым подуровнем АСУП должны выступать процессы обеспечения качества изделия в рамках АСУ качеством продукции (КП). Модули АСУ КП привязываются к этапам жизненного цикла в рамках CALS-систем [1].

С помощью АСУ КП задаются критерии качества продукции на этапах ее жизненного цикла.

Третьим подуровнем АСУП являются процессы технической подготовки производства, изготовления и испытания изделия (ТППиИ), реализуемые в соответствующих автоматизированных системах. Данные процессы также привязываются к этапам ЖЦИ. Полученные в рамках ТППиИ решения анализируются с помощью АСУ КП.

Четвертым подуровнем АСУП являются АСУ технологическими процессами (ТП), задающие алгоритмы работы технологических подразделений.

Расширенная трактовка автоматизированных производственных систем

Из трактовки понятия ПС, изложенной выше, можно получить основные преимущества:

а) более оперативное реагирование на изменение внешней ситуации – меньшая инерционность;

б) возможность принятия согласованных решений в рамках одного процесса представителями различных служб предприятия;

в) реализацию ПС как организационно-технологической;

г) осуществление основных функций предприятия (выпуска продукции) в рамках данной организационно-технологической системы.

Определим главные установки, которым должна соответствовать ПС. Как ни странно, можно заметить, что в настоящее время основные показатели эффективного функционирования производства смещены в сторону чисто денежных критериев (а техническими аспектами пренебрегают). Таким образом, цель работы ПС заключается в получении максимальной прибыли. Опыт показывает, что предприятия с подобным подходом имеют небольшой срок жизни.

Если говорить о цели работы современных развивающихся ПС применительно к нашей проблематике, то такой целью является выпуск конкурентоспособных изделий. Конкурентоспособность достигается обеспечением требуемого (заказчиком, тенденцией развития отрасли) качества изделий (именно требуемого, а не максимально возможного), их выпуском в заданные сроки и при заданном уровне производственных затрат (временных и денежных). В таком ракурсе управление качеством становится не довеском к какой-либо системе управления организацией, а основополагающим процессом организации. Весьма эффективным инструментарием подобного управления могут быть автоматизированные системы.

Выявление временной структуры производств на основе жизненного цикла изделия

Анализ ЖЦИ составляет методологическую основу [2, 3] анализа процессов деятельности организации, так как представляет собой инструмент управления сведениями об изделии, его состоянии во времени, уровне качества.

Зачастую в наукоемком машиностроении предприятия являются одновременно и разработчиками, и изготовителями своих приборов, а этапы эксплуатации, ремонта и утилизации выполняются потребителями изделий. В связи с этим для нашего исследования наиболее важны этапы проектирования и конструирования, изготовления и испытания. При этом последующие этапы также интересны с точки зрения получения в виде обратной связи информации об эксплуатации изделий. Наукоемкая продукция имеет некоторую специфичность жизненного цикла. В первую очередь это обязательное наличие стадии научно-исследовательских работ (НИР) на этапе конструирования и проектирования, а также большого числа итерационных процедур поиска технического решения, значительного объема испытаний. При этом от последующих этапов к предыдущим реализуются обратные связи.

Дальнейшим шагом может стать определение процессов, использующихся в проектах по созданию изделий. Главный вопрос, на который требуется найти ответ: чем мы будем управлять. Ранее было сказано, что для современных автоматизированных организационно-технологических систем главное – это управление качеством продукции на этапах ЖЦИ. Таким образом, реализуя с помощью функциональных систем проектирования и управления этапы ЖЦИ, мы должны оценивать результаты с точки зрения заданного качества изделия.

Учет процессов обеспечения качества

При рассмотрении подуровня обеспечения качества (рис. 1) нужно сделать ряд оговорок. Исключим из рассмотрения процессов деятельности организации уровень АСУ, так как он не имеет прямого отношения к процессам в ПС, а на уровне АСУП опустим подуровень управления жизненным циклом, расставив сразу же процессы при ТППиИ в соответствии с этапами и стадиями ЖЦИ.

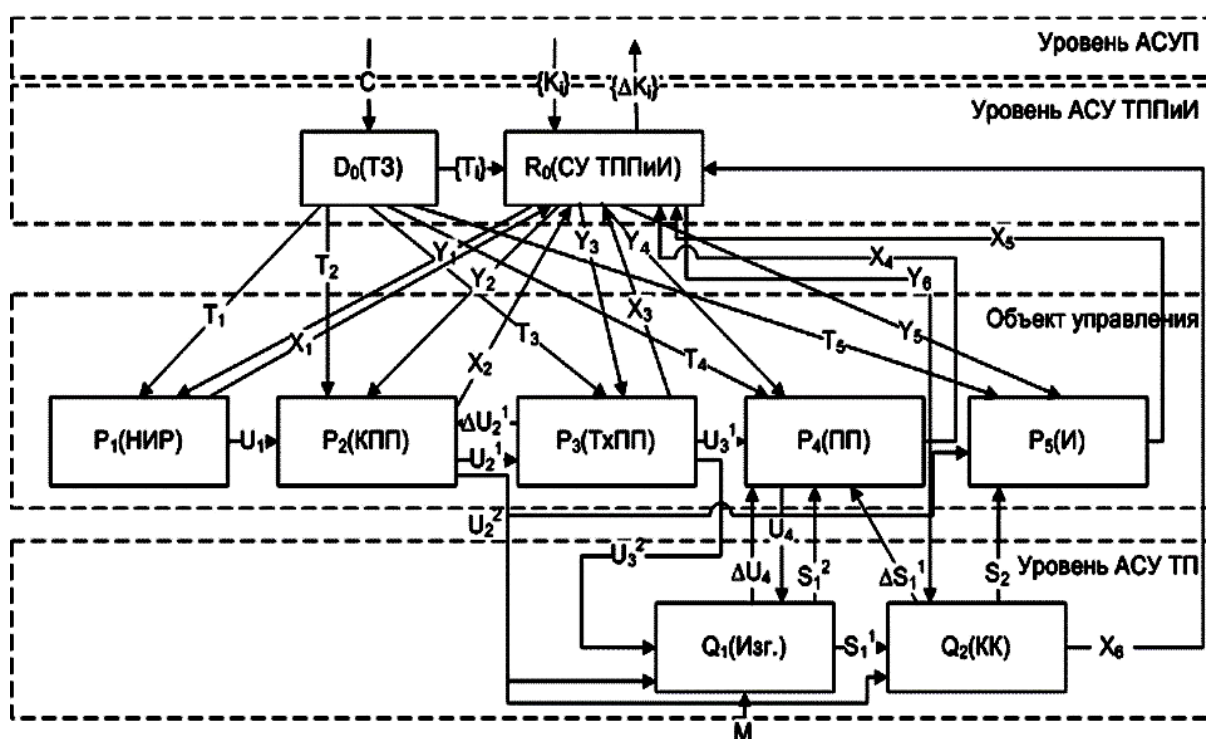


Рис. 1. Структурно-функциональная модель автоматизированных процессов обеспечения качества

На рис. 1 использованы следующие обозначения: АСУП – автоматизированная система управления организацией (предприятием); АСУ ТППиИ – автоматизированная система управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (т.е. на этапах ЖЦИ); С – директивы от АСУП на проведение работ; $\{K_i\}$ – множество показателей качества изделия и (или) качества выполнения работ на этапах ЖЦИ, $\{\Delta K_i\}$ – расхождение фактических показателей качества с заданными; D_0 – блок ТЗ, формирует множество ТЗ; T_1 – ТЗ на проведение НИОКР; T_2 – ТЗ на проведение конструкторской подготовки производства (КПП); T_3 – ТЗ на проведение технологической подготовки производства (ТхПП); T_4 – ТЗ на проведение планирования производства (ПП) для реализации технологических процессов в ПС; T_5 – ТЗ на проведение испытаний изделия; R_0 – оператор, управляет работой на всех

этапах создания образца наукоемкой продукции; Y_1 – управление оператором P_1 (НИОКР); Y_2 – управление оператором P_2 (КПП); Y_3 – управление оператором P_3 (ТхПП); Y_4 – управление оператором P_4 (ПП); Y_5 – управление оператором P_5 (испытания изделия (И)); Y_6 – управление работой оператора Q_2 (контроль качества работ (КК)); X_1 – множество параметров, характеризующих выполнение на этапе НИР (НИОКР) работ, предусмотренных ТЗ T_1 ; X_2 – множество параметров, характеризующих выполнение на этапе КПП работ, предусмотренных ТЗ T_2 ; X_3 – множество параметров, характеризующих выполнение на этапе ТхПП работ, предусмотренных ТЗ T_3 ; X_4 – множество параметров, характеризующих выполнение на этапе ПП работ, предусмотренных ТЗ T_4 ; X_5 – множество параметров, характеризующих выполнение на этапе И работ, предусмотренных ТЗ T_5 ; U_1 – множество параметров, содержащихся в отчетной документации по НИОКР и необходимых для проведения КПП; U_2^1 – множество параметров, содержащихся в конструкторской документации и необходимых для ТхПП; ΔU_2^1 – множество параметров, определяющих требования оператора P_4 по повышению уровня технологичности изделия; U_2^2 – множество параметров, содержащихся в конструкторской документации и необходимых для изготовления изделий в технологической системе, контроля и испытаний; U_3^1 – множество параметров технологических процессов по трудо- и станкозатратам; оператор Q_1 – изготовление; U_3^2 – множество параметров, определяющих реализацию технологических процессов на рабочих местах (технологические процессы, инструкции, управляющие программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ)); S_1^2 – множество параметров, характеризующих состояние производственной системы (загрузке рабочих мест, заказы в исполнении, ход выполнения планов и т.д.); U_4 – множество параметров, характеризующих планы различных уровней по выпуску образца продукции; ΔS_1^1 – множество параметров (сведения об изделиях, не прошедших контроль и нуждающихся в доработке (переделке)); ΔU_4 – множество параметров, характеризующих диспетчирование работ по данному изделию; S_2 – материальная связь – изделие (образец продукции); M – материалы и покупные изделия; S_1^1 – изготовленные образцы продукции и сведения об их готовности; оператор Q_2 – контроль деталей, узлов и изделий целиком.

Рассмотрим, какими функциональными автоматизированными системами осуществляются проектные процедуры на этапах ЖЦИ. Конструкторская подготовка производства реализуется автоматизированными системами конструирования и проектирования (САЕ, САD); ТхПП – системами проектирования технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ (САМ); ПП – АСУ ТП.

Выявление и описание процессов в производственных системах

Модель является инструментарием, позволяющим описать функциональные процессы. Изучим описание процессов для приведенной выше модели (см. рис. 1) на примере процессов управления качеством. Сделаем это следующим образом. Определим, какие действия, выполняемые на стадиях ЖЦИ в рассматриваемой ПС, определяют качество изделия (пусть это будут основные действия). На рис. 1 были показаны этапы жизненного цикла: НИР; конструкторская подготовка производства; технологическая подготовка производства; изготовление (с планированием) и испытания. Это базовый подуровень АСУП. Понятно, что этими процессами следует управлять в соответствии с критериями качества, поэтому в АСУП появляются два высших подуровня – управления ЖЦИ и управления качеством

продукции. Управление технологическими процессами идет в производственных подразделениях, поэтому имеется нижний подуровень АСУП – АСУ ТП.

Таким образом, мы можем сказать, что основные процессы (действия) реализуются на 4 подуровнях. Эти процессы являются главными для предприятия.

Основные действия не могут быть осуществлены сами по себе, поэтому нужно дополнить их вспомогательными, не влияющими непосредственно на качество изделия. Это могут быть, к примеру, транспортные работы, документооборот, управление финансами, заключение договоров и контрактов и т.д.

Рассуждая подобным образом, можно получить всю совокупность процессов, реализуемых в рамках предприятия.

Далее следует осуществить декомпозицию процессов, разбив их на операции. Каждая операция должна иметь законченный функциональный смысл, включать выполнение одной функции в рамках процесса.

На следующем этапе необходимо применить методологию ЖЦИ, которая обеспечивает определение контрольных мест в процессе (по окончании этапов (или стадий) ЖЦИ, на которых определяется качество решений).

Временные соотношения в основных процессах первого типа определяет методология ЖЦИ. Дополнительные процессы привязываются к главным на основе требуемого запаса времени для реализации последних.

Важным моментом является определение ответственного за тот или иной процесс. Трудность здесь заключается в том, что в процессе участвуют работники различных подразделений, имеющих свою административную подчиненность, в то время как сами процессы имеют функциональную направленность. На наш взгляд, руководителем процесса должен быть наиболее ответственный работник.

Выявление критериев оценки качества решений

Контроль качества проектных решений осуществляется в определенных точках процесса. Чтобы были понятны действия при оценке решений, следует сопоставить операции функционального процесса с этапами ЖЦИ, которые обуславливают общепринятый смысл решений (НИР, КПП, ТхПП, изготовление (включая управление технологическими процессами), испытания).

Единственным «эталоном», служащим для оценки решений с позиций качества изделия, является ТЗ на изготовление прибора. Следовательно, оно должно быть структурированным, конкретным, не только определять общие требования к техническому уровню изделия, но и отражать этот уровень в виде точного значения параметров (или их интервалов), а также устанавливать требования к ремонтным циклам и условиям эксплуатации, эргономики, безопасности, хранения и т.д. Другими словами, в ТЗ должна быть показана модель качества изделия.

Естественно, вышеуказанные требования относятся к готовому изделию, а на ряде этапов ЖЦИ, по сути, будет осуществляться прогнозная оценка соответствия качества изделия ТЗ.

Критерии качества любого функционального процесса деятельности организации могут не только определяться моделью системы управления качеством, но и дополняться критериями качества самого процесса.

Так, процессы КПП зачастую имеют непосредственную связь с параметрами качества изделия (например, производительностью, мощностью, коэффициентом унификации и т.д.). При этом процессы ТхПП, например, влияют на них опосредованно. Они должны обеспечить разработку технологических процессов, требующихся для создания изделия в соответствии с конструкторской документацией. Если учитывать, что многие оценки будут носить неявный вид, то большое значение

имеет подбор экспертов из числа работников организации. Более подробно требования к системе критериев приведены в источниках [4, 5].

Модели принятия решений в функциональных подсистемах производственной системы на основе интеграции искусственного и естественного интеллектов

Эффективность работы любой производственной системы определяется во многом временными затратами на выполнение этапов ЖЦИ. Перечисленные ниже мероприятия позволяют сократить эти временные затраты:

1. Автоматизация процедур управления функциональными процессами.
2. Реализация информационной интегрированности программных средств для обеспечения оперативной корректировки решений [6].
3. Параллельное выполнение работ, включенных в разные этапы ЖЦИ (или в разные стадии одного этапа), с помощью автоматизированных систем. Способ реализации данного мероприятия достаточно прост. Необходимо на основе методологии ЖЦИ сделать временную увязку процессов, входящих в разные этапы ЖЦИ (или в разные стадии одного этапа).
4. Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений при реализации процессов [7].
5. Создание предпосылок для эффективного принятия решений на последующих этапах и стадиях ЖЦИ.

В качестве примера можно привести такие две последовательно решаемые задачи, как разработка технологических процессов и управление производством. Понимая, какой способ будет в последующем реализован при управлении, можно соответствующим образом проектировать технологии (на принципах концентрации или дифференциации).

6. Построение всех процессов деятельности организации в соответствии с идеологией бережливого производства, что предполагает сокращение денежных, временных и материальных затрат [8–11].

Функциональные подсистемы 2...4-го уровней (АСУ КП; САЕ и САД; САМ; АСУ ТП) являются теми системами, в которых имеются реальные возможности для интеграции естественного и искусственного интеллектов. Этого можно достичь за счет того, что автоматизированными системами на основе анализа текущей ситуации в производстве будут предлагаться возможные решения, а экспертами по определенной методике на основе нечеткого управления будут взвешенно оцениваться возможные решения.

Результаты работ, охватывающие разработку интеллектуальных систем проектирования технологических процессов механической обработки и управления технологическими процессами, уже применяются на предприятии геофизического приборостроения, выпускающем наукоемкие изделия малыми сериями [12–16].

Система автоматизированного проектирования технологических процессов построена по принципу декомпозиции на 4 уровнях (уровень принципиальной схемы технологического процесса; маршрутной технологии; операционной технологии; управляющих программ для станков с ЧПУ). Решения, синтезированные на верхних уровнях, предварительно оцениваются эвристическими критериями, а после обсуждения экспертами для продолжения детализации выбираются лучшие из них. Модели синтеза технологических решений на каждом уровне декомпозиции строятся на основе продукционных моделей. В качестве подусловий в моделях могут присутствовать логические и аналитические зависимости.

Автоматизированная система управления технологическим процессом осуществляет проектирование на 3 уровнях (уровень объемного планирования; календарного планирования; диспетчирования). На каждом из 2 уровней планирования (объемное, календарное) проектные планы строятся также с помощью производственных моделей. После завершения предварительного составления плана каждого уровня автоматизированной системой на основе анализа ситуации вырабатываются возможные управленческие действия. Далее экспертами выбирается единственное.

На уровне диспетчирования технологических процессов автоматизированной системой вырабатываются возможные корректирующие воздействия, а экспертами выбирается наиболее целесообразное.

Процедура получения согласованного решения может выполняться следующим образом. Подбирается группа экспертов, состоящая из работников подразделения-проектировщика и смежных подразделений. Лицом, принимающим решение (ЛПР), является руководитель процесса. Рекомендуемое число экспертов – до 4...6 человек, увеличение этого количества не даст принципиального повышения точности оценки.

Методика работы экспертов под руководством ЛПР:

1. Экспертам присваиваются веса (их сумма равна 1) с учетом степени ответственности за принимаемое решение и квалификации.

2. Определяется допустимая нижняя граница уровня общей уверенности экспертов в эффективности решения (рекомендуется $\geq 0,7$). Диапазон этой величины по результатам работы системы – от 0 до 1.

3. Изучение возможных решений, разработанных автоматизированной системой и предложенных экспертами.

4. Переход к первому решению, его обсуждение.

5. Оценка степени уверенности каждого эксперта в достижении нужного результата путем реализации рассматриваемого решения в числовой форме (от 0 до 1, где 1 – 100%-й уровень уверенности).

6. Получение взвешенной оценки общей уверенности экспертов в достижении результата путем реализации рассматриваемого решения.

7. Переход к следующему решению, повторение пп. 5 и 6. Принятие ЛПР окончательного решения.

База знаний для определения взвешенной оценки строится следующим образом. Сначала нужно установить, как рассчитывается общая уверенность всех экспертов, с помощью производственной базы знаний [17, 18] и экспертных оценок на основе нечетких множеств [19]. Правила имеют вид:

*(ЕСЛИ степень уверенности эксперта 1 с весом P_1 равна A_1) И
(ЕСЛИ степень уверенности эксперта 2 с весом P_2 равна A_2) И...
(ЕСЛИ степень уверенности эксперта n с весом P_n равна A_n) ТО
(взвешенная уверенность экспертов в результате равна B_i).*

Лингвистическая переменная A_i имеет 3 терма (достаточная лингвистическая переменная, средняя, недостаточная) (рис. 2). Лингвистическая переменная B_i имеет 5 термов (весьма надежная лингвистическая переменная, надежная, сомнительная, ненадежная, весьма ненадежная) (рис. 3).

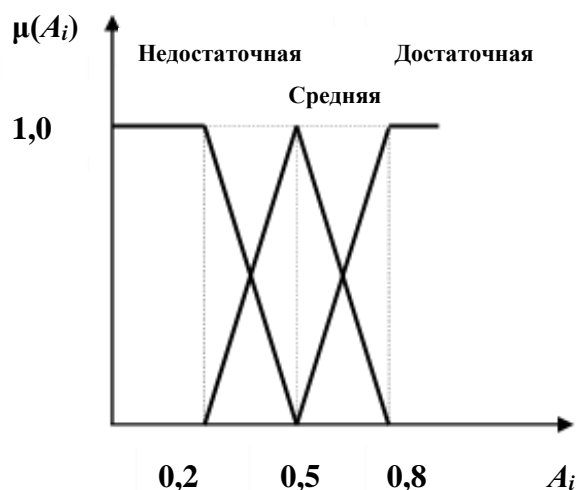


Рис. 2. Функции принадлежности лингвистической переменной A_i

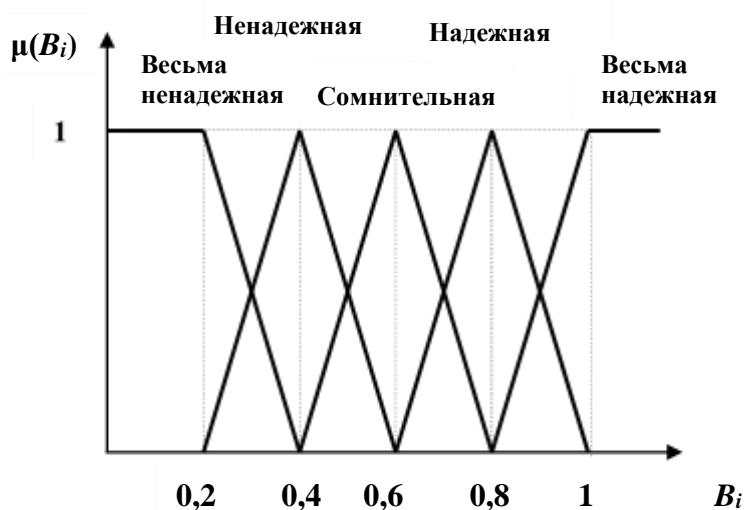


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистической переменной B_i

Предложены следующие правила создания моделей:

1. Веса экспертов P_i принимаются из ряда чисел, кратных k_i раз (k_i – целое число, равное или большее 1) минимальному из них, $P_{min} \cdot P_{\min\{P_1, P_{2i}, \dots, P_i, \dots, P_n\}_{min}}$.
2. Базовым является подусловие для экспертов с минимальным значением веса P_{min} .
3. Осуществляется преобразование подусловий. Одно подусловие для ВЭ с весом, большим P_{min} , заменяется k_i подусловиями, соединенными оператором «И», т.е. исходное одно подусловие представляется k_i -м числом подусловий.
4. Записываются с учетом п. 2 нечеткие продукционные правила определения взвешенной уверенности экспертов.
5. В продукционном правиле исключаются подусловия, содержащие противоположные значения лингвистической переменной A_i (достаточная \Leftrightarrow недостаточная).

Исходное правило: (ЕСЛИ уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 1 – недостаточная И уверенность эксперта 2 – недостаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная ИТО...). Преобразованное продукционное правило: (ЕСЛИ уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И ТО.).

Получаем продукционные правила, содержащие только смежные значения лингвистической переменной A_i .

С помощью экспертных оценок сформированы нечеткие продукционные правила, определяющие значение лингвистической переменной B_i . Например:

1. ЕСЛИ все подусловия содержат значение лингвистической переменной A_i – достаточная ТО значение лингвистической переменной B_i – весьма надежная.

2. ЕСЛИ все подусловия содержат значение лингвистической переменной A_i – недостаточная ТО значение лингвистической переменной B_i – весьма ненадежная, и т.д.

Фаззи-логическая конъюнкция подусловий выполняется по правилу минимума, а нахождение функций совместной принадлежности – по правилу нечеткой импликации Мамдани. Дефаззификация взвешенной оценки уверенности экспертов (результат) выполняется по центроидному методу. Реализация осуществлена в среде MATLAB [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель исследования заключалась в осмыслении опыта и формирования принципов и общих подходов, в соответствии с которыми должны функционировать и развиваться современные системы проектирования и управления в машиностроении [1, 10–15]. Специфичность условий современного машиностроения и приборостроения, в первую очередь определяемых их многономенклатурностью, обуславливает и особенности реализации автоматизированных систем.

Осуществление подходов к интеллектуализации инженерного труда в автоматизированных системах целесообразно начинать с функциональных систем, так как их эксплуатация возможна самостоятельно, что показал весьма положительный опыт в производстве в системах классов ERP, MRP-II и Scada.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников В.Л., Микин М.Л., Кочергинский Е.Б., Бурдо Г.Б. Основные принципы создания автоматизированных производственных систем геофизического приборостроения газовой отрасли // *Нефть. Газ. Новации*. 2019. № 2. С. 80–86.
2. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис. 2002. 303 с.
3. Никифоров А.Д., Бакиев А.В. Процессы жизненного цикла продукции в машиностроении: учебное пособие. М.: Высшая школа: Абрис. 2011. 687 с.
4. Бурдо Г.Б., Сорокин А.Ю. Автоматизация процессов управления качеством при создании наукоемких геофизических изделий // *Каротажник*. 2016. № 9. С. 185–199.
5. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции. М.: РИА «Стандарты и качество». 2001. 424 с.
6. Бурдо Г.Б., Стоянова О.В. Автоматизированная система управления процессами создания наукоемких машиностроительных изделий // *Программные продукты и системы*. 2014. № 2 (106). С. 164–170.

7. Болотов А.Н., Бурдо Г.Б. Оценка качества решений при проектировании операций механической обработки // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 4 (8). С. 68–76.

8. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург. 2003. 608 с.

9. Смирнова Н.В. Как не наступить на грабли при переходе на процессное управление // *Управление производством*. 2009. № 3. С. 26–32.

10. Проектирование автоматизированных участков и цехов: учебник / В.П. Вороненко, А.В. Егорова, М.Г. Косов [и др.]; под. ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высшая школа. 2000. 272 с.

11. Бурдо Г.Б. Совершенствование технологической подготовки машиностроительного производства // *СТИН*. 2016. № 7. С. 2–8.

12. Вумек Д., Джонс Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер. 2013. 470 с.

13. Womack J.P., Jones D.T. Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation // *Journal of the Operational Research Society*. 1997. V. 48. № 11. P. 1148.

14. Womack J.P., Jones D.T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press. 2003. 396 p.

15. Shingo Sh. Kaizen and the art of creative thinking. Bellingham: Enna Product Corp. 2007. 256 p.

16. Евгеньев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования: учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 410 p.

17. Бурдо Г.Б. Алгоритмы диспетчирования работы производственных подразделений // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 3 (7). С. 88–95.

18. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика: Инфра-М. 2010. 432 с.

19. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие. СПб.: Питер. 2000. 384 с.

20. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир. 1976. 165 с.

21. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. СПб.: Питер. 2001. 475 с.

Для цитирования: Бурдо Г.Б., Болотов А.Н. Подходы к созданию автоматизированных производственных систем в машиностроении и приборостроении // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 1 (13). С. 76–88.

APPROACHES TO CREATION OF AUTOMATED PRODUCTION SYSTEMS IN MACHINERY AND INSTRUMENT MAKING

G.B. BURDO, Dr. Sc., A.N. BOLOTOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: gbtms@yandex.ru

It is shown that control in these production systems should be performed according to the quality parameter while simultaneously taking measures to reduce time and material costs. It is proposed to use the theory of the product life cycle as a methodological basis for the analysis of activity processes. One of the main factors that determine the efficiency of automated production is the time interval from the beginning of product design to its release. Measures are considered, allowing to reduce the time of release of a sample of a new product. The main measures for the implementation of a process approach to the management of automated production systems have been determined. The requirements for technological divisions of the production system, and for personnel and personnel policy in the organization have been identified.

Keywords: mechanical engineering, organizational and technological production systems, quality management, management of organizational processes, decision support.

REFERENCES

1. Plotnikov V.L., Mikin M.L., Kocherginsky E.B., Burdo G.B. Basic principles of creating automated production systems for geophysical instrumentation in the gas industry *Neft. Gaz. Novatsii*. 2019. No. 2, pp. 80–86. (In Russian).
2. Kolchin A.F., Ovsiyannikov M.V., Strekalov A.F., Sumarokov S.V. Upravleniye zhiznennym tsiklom produktsii [Product lifecycle management]. Moscow: Anacharsis. 2002. 303 p.
3. Nikiforov A.D., Bakiev A.V. Protsessy zhiznennogo tsikla produktsii v mashinostroyenii: uchebnoye posobiye [Processes of the life cycle of products in mechanical engineering: a tutorial]. Moscow: Vysshaya shkola: Abris. 2011. 687 p.
4. Burdo G.B., Sorokin A.Yu. Automation of quality management processes in the creation of high-tech geophysical products. *Karotazhnik*. 2016. No. 9, pp. 185–199.
5. Glichev A.V. Osnovy upravleniya kachestvom produktsii [Fundamentals of product quality management]. Moscow: RIA «Standarty i kachestvo». 2001. 424 p.
6. Burdo G.B., Stoyanova O.V. Automated control system for the processes of creating high-tech machine-building products. *Programmnyye produkty i sistemy*. 2014. No. 2 (106), pp. 164–170. (In Russian).
7. Bolotov A.N., Burdo G.B. Assessment of the quality of solutions in the design of machining operations. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»*. 2020. No. 4 (8), pp. 68–76. (In Russian).
8. Chastikov A.P., Gavrilova T.A., Belov D.L. Razrabotka ekspertnykh sistem. Sreda CLIPS [Development of expert systems. CLIPS environment]. Sankt Peterburg: BKHV-Peterburg. 2003. 608 p.
9. Smirnova N.V. How not to step on a rake when switching to process control. *Upravlenie proizvodstvom*. 2009. No. 3, pp. 26–32. (In Russian).

10. Projektirovaniye avtomatizirovannykh uchastkov i tsekhov: uchebnik [Designing of automated sections and workshops: textbook]. V.P. Voronenko, A.V. Egorova, M.G. Kosov [et al]; under. ed. Yu.M. Solomentsev. Moscow: Vysshaya shkola. 2000. 272 p.
11. Burdo G.B. Improvement of technological preparation of machine-building production. *STIN*. 2016. No. 7, pp. 2–8. (In Russian).
12. Wumek J., Jones D. Berezhlyvoye proizvodstvo: kak izbavitsya ot poter i dobitya protsvetaniya vashey kompanii [Lean manufacturing: How to get rid of waste and make your company prosper]. Moscow: Alpina Publisher. 2013. 470 p.
13. Womack J.P., Jones D.T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*. 1997. V. 48. No. 11, pp. 1148.
14. Womack J.P., Jones D.T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press. 2003. 396 p.
15. Shingo Sh. Kaizen and the art of creative thinking. Bellingham: Enna Product Corp. 2007. 256 p.
16. Evgenev G.B. Intellektualnyye sistemy proyektirovaniya: uchebnoye posobiye [Intelligent design systems: a tutorial]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 2012. 410 p.
17. Burdo G.B. Algorithms for dispatching the work of production units. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»*. 2020. No. 3 (7), pp. 88–95. (In Russian).
18. Rybina G.V. Osnovy postroyeniya intellektualnykh sistem: uchebnoye posobiye [Fundamentals of building intelligent systems: a tutorial]. Moscow: Finansy i statistika: Infra-M. 2010. 432 p.
19. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Bazy znaniy intellektualnykh sistem: uchebnoye posobiye [Knowledge base of intelligent systems: a tutorial]. Sankt Peterburg: Piter. 2000. 384 p.
20. Zade L.A. Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yeye primeneniye k ponyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to the concept of approximate solutions]. Moscow: Mir. 1976. 165 p.
21. Dyakonov V.P., Kruglov V.V. Matematicheskiye pakety rasshireniya MATLAB. Spetsyalnyi spravochnik [MATLAB Math Extension Packs: Special directory]. Sankt Peterburg: Piter. 2001. 475 p.

Поступила в редакцию/received: 30.12.2021; после рецензирования/revised: 24.01.2022;
принята/accepted: 31.01.2022