

УДК 658.512.4:681.31:519.6

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

С.В. КУХТА, И.П. СУРГАНОВ,
д-р техн. наук, проф. М.Л. ХЕЙФЕЦ
(Полоцкий государственный университет)

Предложена концепция информационной системы метрологического обеспечения технологической подготовки производства. Разработаны математическая модель и алгоритм выбора средств контроля геометрических параметров детали.

Введение. Современное производство характеризуется повышением сложности продукции и ростом требований к ее качеству. При этом расширяется номенклатура и сокращаются сроки обновления выпускаемых изделий. Рациональная организация работы предприятия требует создания и развития интегрированных систем автоматизированного проектирования и производства [1, 2, 3]. Эффективное направление сокращения времени выпуска продукции - создание интегрированной системы автоматизации (ИСА) производственной деятельности предприятия.

Разработка и внедрение ИСА проектирования и управления производством является в настоящее время одним из основных направлений интенсификации промышленного производства. Основной целью, определяющей необходимость создания ИСА, является реализация активного управления ресурсами предприятия, для оперативного и эффективного решения информационных и организационных задач, что обеспечит сокращение сроков проектирования и производства за счет автоматизации и информатизации всех этапов жизненного цикла изделия [4].

Базовыми элементами ИСА являются специализированные автоматизированные рабочие места (САРМ). Реализация этих элементов может быть различна, в зависимости от условий и потребностей конкретного производства.

Специализированное программное обеспечение САРМ предназначено для автоматизированного или автоматического выполнения одного этапа проектирования. Специализированная система применима к ограниченному кругу задач или классу объектов, следовательно, возможна детальная проработка задачи и высокая степень автоматизации. Основным фактором, усложняющим создание специализированных систем, являются затраты на их разработку, поскольку инженерные знания, заложенные в такую систему, являются нетиражируемыми.

Интегрированная система проектирования содержит множество специализированных подсистем, выполняющих совокупность проектных задач. Распределение задач между ними осуществляется в соответствии с организацией процесса проектирования, специализацией САРМ, структурой подразделений и интеллектуальным инженерным багажом сотрудников предприятия. Специализация таких рабочих мест осуществляется по функциональному принципу: на САРМ должен выполняться завершённый этап проектирования изделия, узла, технологического процесса и контрольных операций.

Представив САРМ таким образом, можно сказать, что интеграция есть согласование функционирования нескольких САРМ по обмену информацией (т.е. данными и связями между ними) в рамках прохождения задания на проектирование.

Неотъемлемой частью производственного процесса является система технического контроля (ТК) (объекты контроля, контрольные операции и их последовательность, техническое оснащение, режимы, методы, средства механизации и автоматизации контрольных операций).

Быстрое развитие науки и техники, рост требований к качеству и надежности продукции повлекли за собой значительный рост затрат на ТК (затраты на контроль в некоторых отраслях превышают 50 % от себестоимости продукции), так в металлообрабатывающей промышленности затраты на контроль составляют 8 - 15 % затрат производства, причем 90 - 95 % этих затрат относятся к контролю линейных размеров [5]. Значительны затраты времени на проектирование технологии контроля и, непосредственно, на контроль детали, а также затраты на оформление документов контроля.

Потери при проектировании и проведении операций контроля обуславливаются различными причинами [5]: неправильным назначением средств контроля (СК) по погрешности измерения, отсутствием методов экономического обоснования и оптимизации ТК на этапе технологического проектирования, низким уровнем автоматизации решения задач при проектировании ТК и др. Поэтому проблема снижения затрат на ТК посредством информатизации метрологического обеспечения является весьма своевременной. Такая информационная система метрологического обеспечения должна быть реализована как САРМ: организационно, методически и информационно интегрированная в ИСА предприятия.

В настоящее время на смену традиционной технологической подготовке контроля с ее эмпиризмом и слабым привлечением теоретических положений, приводящих к увеличению трудоемкости и длительности разработок процессов контроля, приходит подготовка контроля в рамках системы менеджмента качества предприятия.

1. Взаимосвязь систем автоматизации производственной деятельности. Эффективность, т.е. соотношение между прибылью и затратами предприятия, в последнее время заметно возросла во всех областях производства. Причиной этого является использование современных производственных процессов, прогресс в области вычислительной техники и, как следствие этого, развитие производств, опирающихся на применение компьютеров (computer aided manufacturing - CAM). Но рост производственных мощностей уже ограничен, так как потенциалы рационализации в значительной степени исчерпаны.

К неценовым мерам, с помощью которых предприятие может укрепить своё положение на рынке и уменьшить давление конкуренции, можно отнести наряду с промышленной инновацией также и обеспечение качества. Не обладая достаточно высоким уровнем качества, изделия не смогут утвердиться на рынке, по крайней мере, на рынке со средними и высокими ценами. Основой успеха японской промышленной продукции на европейских рынках было, например, сочетание новейшей техники (технических инноваций) с высоким качеством при сравнительно низких ценах. Итак, обеспечение качества продукции - важный инструмент в поддержании и укреплении конкурентоспособности.

Стремление к улучшению качества и стремление к повышению эффективности не исключают друг друга, а, наоборот, при эффективно проводимых мерах по обеспечению качества могут обуславливать друг друга. Разумеется, эффективное обеспечение качества значительно затрудняется в условиях современного динамичного развития технологии и связанной с этим малой продолжительностью жизни многих изделий и процессов.

В результате для повышения эффективности и более чуткого реагирования на запросы клиентов автоматизируются многие рабочие процессы. Последовательное применение информационной техники приводит к созданию систем САх. СА означает «Computer aided» - «дополненное компьютером», а «х» - соответствующее поле деятельности. Здесь следует назвать:

CAD: компьютеризированное проектирование и конструирование (D = design), например, создание и манипулирование 3-мерными объектами на экране;

CAM: компьютеризированное управление транспортным, складским и производственным оборудованием (M = manufacturing), например, управление гибкими производственными системами;

CAE: компьютеризированная инженерная деятельность, особенно при проектировании изделий (E = engineering), например, выполнение анализа схем с использованием специальных пакетов программ;

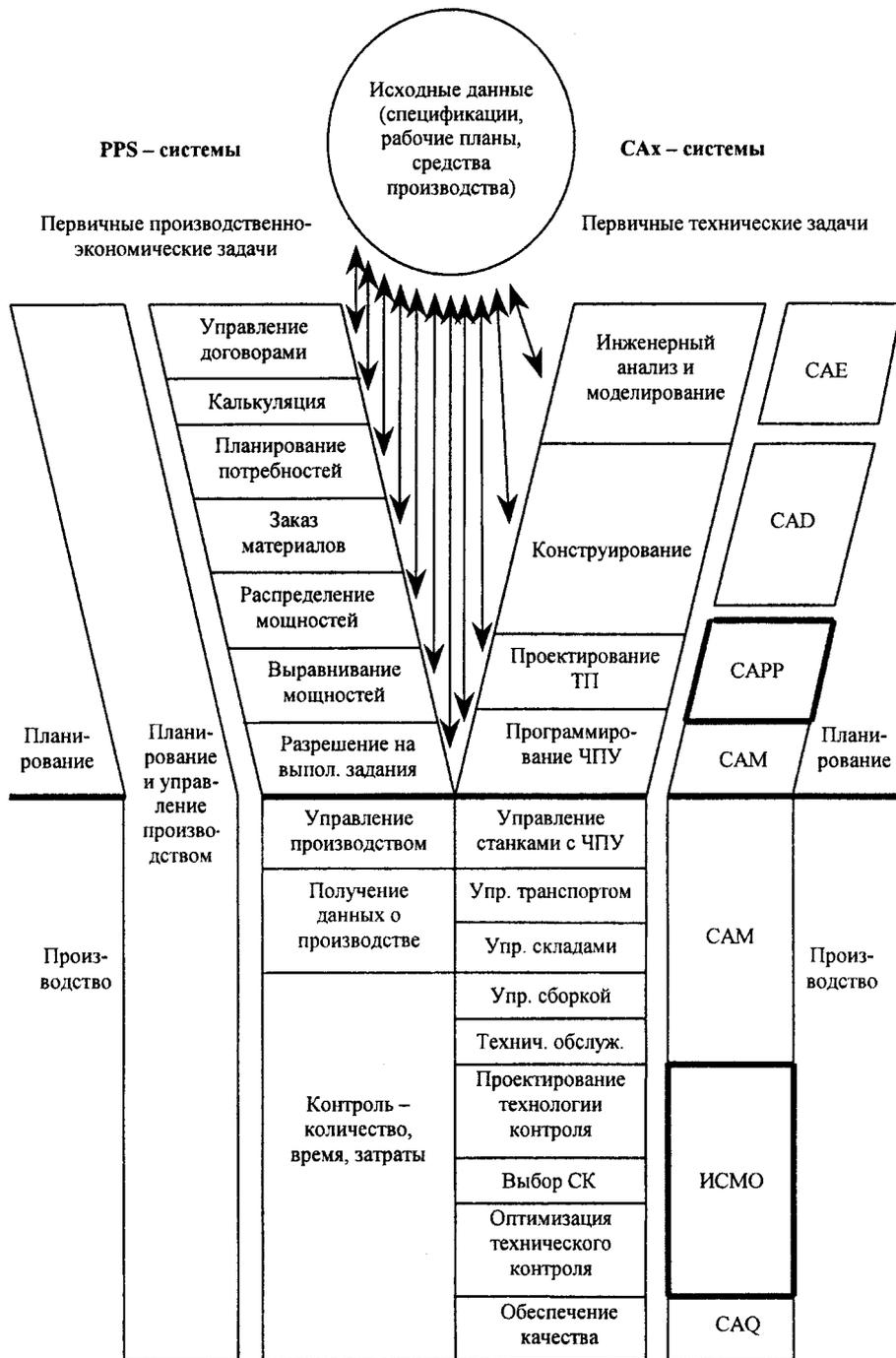
CAPP: компьютеризированное планирование (P = planning) например, разработка технологических процессов, программ для станков с ЧПУ;

CAQ: компьютеризированное обеспечение качества (Q = quality assurance), например, автоматизированный контроль при серийном производстве изделий, включая и обработку результатов.

Наряду с техническими заданиями на предприятии могут выполняться с помощью компьютеров и планово-экономические задачи. Для этих целей применяются системы PPS - программные системы производственного планирования и управления. На рисунке схематично изображены слева - стандартные функции систем PPS, справа - специфические функции различных систем САх [4].

Производители аппаратных и программных средств пропагандируют интеграцию всех этих систем, т.е. объединение отдельных компонентов PPS, CAD, CAM и т.д., в единую систему CIM (Computer integrated manufacturing) [4]. Целью CIM является соединение на основе использования возможностей информационной технологии всех производственных процессов, начиная с проектирования изделия и до его изготовления и сбыта (интеграция потока данных и производственных потоков).

Организационная структура сквозных информационных потоков для автоматизированного производства, объединяет все сферы деятельности предприятия (от разработки изделия до его отгрузки заказчиком). Эта структура предполагает унифицированную интегрированную обработку геометрических, производственно-технических, логических и административно-хозяйственных данных. Концепция CIM - компьютерного интегрированного производства на базе ЭВМ - требует ориентации на весь процесс в целом, а современная организационная форма в значительной мере ориентирована на исполнение отдельных функций (технологические цепочки систем CAD/CAM, логические цепочки системы управления). Концепция CIM предполагает отступление от принципа разделения труда, организацию многофункциональных рабочих мест в отделах и обрабатывающих центрах в цехах предприятия [3, 4].



Состав задач, решаемых ИСА

В настоящее время совершенствование производства направлено не на ускорение выполнения рабочей операции, а на минимизацию общего времени прохождения заказа и его быстрое выполнение. Это в равной мере относится как к производственным процессам в цехах, так и к работе отделов.

Реализация концепции СИМ является в большей мере организационной, нежели технической проблемой, поэтому для внедрения систем СИМ требуется обновление действующей организационной структуры.

На практике многие потенциальные пользователи систем СИМ считают, что изготовители предлагают якобы «готовые» для внедрения системы СИМ и что пользователям остается только приобрести технические средства и средства математического обеспечения. Однако изготовители не могут решить все проблемы реализации систем СИМ. Необходимо учитывать, что внедрение частичных CAD/CAM/PPS-технических и информационных систем происходит в существующей производственной структуре предприятия, а эта структура в большинстве случаев не систематизирована и не имеет стандартизированных

коммуникационных устройств. На такой основе нельзя эффективно использовать автоматизированные системы проектирования и производства.

Система СИМ является организационной моделью, которая должна выполняться индивидуально на каждом предприятии. Организация производства на принципах СИМ требует больших затрат не только на технические средства и средства математического обеспечения, но и на проектирование, приспособление систем СИМ к условиям производства и обучение персонала для работы в новых условиях, которое является длительным процессом.

Организационная структура СИМ и стратегия информатики требуют отхода от принципа централизации и перехода к координированной децентрализации (при наличии центральной координирующей инстанции). Решающими условиями внедрения организационных структур, ориентированных на системы СИМ, являются [6]:

- значительное сокращение общего времени прохождения заказа за счет снижения времени передачи с одного участка на другой и снижения времени простоя при выполнении заказа, а также за счет перехода от последовательной обработки к одновременной обработке;
- повышение производительности при устранении или существенном ограничении повторяемых ручных операций подготовки и передачи данных (например, машинное отображение геометрических данных можно использовать во всех отделах, связанных с конструированием изделий);
- использование общего банка данных.

Необходимо учитывать, что значительный потенциал сокращения общего времени прохождения заказа имеется в сферах конструирования, сбыта и подготовки производства.

В настоящее время в связи с созданием многочисленных программ для ЭВМ требует решения проблема обмена данными между различными компонентами математического обеспечения и вычислительной техники. Решение проблемы возможно за счет автономного взаимодействия компонентов для обеспечения сквозного информационного потока.

Получение, обработка и эффективное использование данных информационного потока в производстве требуют использования унифицированных интерфейсов ко всему оборудованию, подключенному к единой вычислительной сети. Только таким способом можно обеспечить интеграцию технических и организационных сфер производства (планирования, конструирования, подготовки и проведения процесса производства).

В настоящее время разработчики от создания отдельных замкнутых подсистем, например подсистемы САД для выполнения чертежей или подсистемы программирования ЧПУ, переходят к созданию единого информационного банка для обслуживания всех созданных на предприятиях систем (например, объединение подсистем САД/САМ или САД/САРР).

Однако создание унифицированных интерфейсов для обеспечения автономного взаимодействия различных компонентов всех сфер производства является недостаточным. Необходимо также объединить следующие сферы производства [4]:

- автоматизированное управление и планирование производства (подсистема PPS) в качестве верхнего уровня для принятия решения по исполнению и контролю за заказами предприятия;
- автоматизированное конструирование (подсистема САД) - выдает данные объекта в банк данных, и эти данные могут использоваться другими подразделениями предприятия;
- автоматизированное планирование и подготовка технической документации (подсистема САРР) - использует данные подсистемы САД;
- автоматизированное управление производственным процессом (подсистема САМ) - взаимодействует с подсистемой PPS и своевременно подготавливает указания по управлению, выдаваемые от подсистемы САРР, и координирует процесс производства;
- автоматизированное управление качеством (подсистема САК) - использует данные подсистемы САД и данные технологических карт подсистемы САРР, устанавливает отклонения от допустимых показателей на основе программ контроля, выдаваемых подсистемой САМ.

В связи с функциональной необходимостью вышеуказанные сферы производства должны быть объединены в информационной структуре. При этом информационный поток описывает пути передачи необходимых для производства данных от поступления заказа до отгрузки изделий заказчику, а информационная структура - иерархию и состояние отдельных подсистем (на производственном уровне дополняется структурой управления).

На уровне планирования подсистема PPS через общую базу данных передает подсистеме САД заказ, последняя учитывает его в «журнале заказов». Подсистема PPS поручает подсистеме САРР разработку отдельных рабочих операций и указывает на их последовательность; при этом используются общие данные подсистем САД/PPS. Для отдельных рабочих операций готовятся необходимые программы ЧПУ с помощью этих данных.

Информационная система метрологического обеспечения (ИСМО) позволяет выбрать рациональный комплект мерительных инструментов для контрольной операции по критериям экономической эффективности и достоверности контроля и в соответствии с техническими требованиями сконструированного САД-системой изделия, с видом технологической операции, применяемым оборудованием.

Подсистема САQ осуществляет контроль на основе разработанных программ с использованием данных подсистемы САD. Техническая документация подсистемы САD служит подсистеме PPS основой для составления общего заказа на базе требуемого количества, срока изготовления и производственных мощностей.

В заключение подсистема PPS проверяет полноту производственной документации, и если его требование выполнено, то подсистема САM имеет доступ ко всей информации, необходимой для производства и находящейся в «общей базе данных».

На уровне управления производством система САM осуществляет организацию процесса производства, при этом объединяются своевременная подготовка операторов управления и программ ЧПУ и получение и обработка дополнительной информации (например, операторов для переналадки при смене заказов, для подачи транспортных средств и т.п.). В сложных системах эти задачи выполняются несколькими центральными и локальными ЭВМ. Передача информационного потока к устройствам управления производится с помощью специальных передающих модулей.

На уровне процесса производства и устройств управления автоматизированного производства информационный поток обеспечивается за счет передачи сигналов или также с помощью передающих модулей для информации, не критической во времени. Однако в настоящее время на практике информационный поток реализуется через общую базу данных только в специальных случаях. В основном же соединяемые подсистемы (например, САD/САPP) связаны через запоминающие устройства, и для них с обеих сторон используются передающие модули, а при этом, как правило, не выполняется требование совместности данных.

Конструкции изделий следует обрабатывать на технологичность и оптимальность эксплуатационных показателей. При этом важное значение имеют унификация и стандартизация изделий, благодаря чему упрощается производство даже небольших серий изделий, повышаются производительность труда и экономичность.

Для снижения времени на проектирование операций контроля и обеспечения их экономической эффективности целесообразно применение автоматизированных систем метрологического обеспечения технологической подготовки производства (ТПП).

2. Алгоритм выбора средств контроля. Выбор СК основывается на обеспечении заданных показателей процесса ТК и анализе затрат на реализацию процесса контроля. При выборе средств измерений руководствуются следующими принципиальными соображениями: обеспечивая заданную точность, в целях нахождения размеров детали в установленных допусках граница выбранное средство должно обладать высокой производительностью, простотой и не вызывать значительного удорожания продукции, т.е. обеспечивать экономическую целесообразность его применения.

Выбор СК геометрических параметров деталей зависит от характеристик объектов и средств ТК, а также требований, предъявляемых к технологическому процессу изготовления.

Алгоритм выбора СК составлен так, что технолог или метролог при последовательной разработке технологии контроля выбирает для каждого конкретного параметра необходимые СК или обосновывает необходимость проектирования новых СК.

Алгоритм ограничивает номенклатуру выбора СК от процедуры к процедуре. Выбор СК завершается нахождением одного конкретного СК для каждого контролируемого параметра в тех случаях, когда оптимизацию процесса ТК не проводят, или нескольких СК для каждого контролируемого параметра при проведении оптимизации процесса ТК. Окончательное решение об одном СК для каждого контролируемого параметра принимается после комплексного технико-экономического обоснования процесса ТК.

Алгоритм выбора СК составлен из блоков (этапов). Процедуры, отнесенные к одному блоку, выполняются по определенным правилам.

Выбор СК по конфигурации и габаритам детали представляет собой сложную многовариантную задачу. При этом необходимость решения данной задачи возникает на различных этапах ТПП, в том числе и при метрологическом обеспечении производства. Способ выполнения данной работы определяется видом изделия.

Выбор оптимального СК по конфигурации изделия должен проводиться по комплексным оценкам, которые учитывают затраты и трудоемкость выполнения операций на этапах ТПП.

При выборе СК формируется комплект измерительных приборов. Расчет экономически целесообразного варианта СК подразумевает выбор оптимального комплекта измерительных приборов, для кото-

рого стоимость измерительной аппаратуры минимальна и суммарная достоверность контроля не превосходит заданной величины Q .

Контроль работоспособности системы производится путём проверки n параметров. Для проверки этих параметров могут быть использованы m измерительных приборов. Задана стоимость i -того измерительного прибора $c_i (i = 1, \dots, m)$ и матрица $\|x_{ij}\|$ ($x_{ij} = 1$, если возможен контроль j -того параметра i -тым измерительным прибором, $x_{ij} = 0$ в противном случае). Для оценки достоверности контроля j -того параметра i -тым прибором используется величина $q_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}$ (α_{ij} – вероятность ложного забракования; β_{ij} – вероятность ложного пропуска).

Данная задача может быть сформулирована математически следующим образом [7]. Требуется определить

$$C = \min \sum_{i=1}^m c_i y_i \tag{1}$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n, \tag{2}$$

$$z_{ij} \leq x_{ij} y_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n, \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_{ij} z_{ij} \leq Q, \quad y_i \in \{0; 1\}, \quad i = 1, \dots, m. \tag{4}$$

Здесь

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если возможен контроль } j \text{-того параметра } i \text{-тым прибором,} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{5}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{-тый прибор включён в комплект,} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{6}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{-тый параметр контролируется } i \text{-тым прибором,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \tag{7}$$

Вероятность ложного забракования α_{ij} (число деталей от общего количества, имеющих размеры, не превышающие предельные, но забракованных) и вероятность ложного пропуска β_{ij} (число деталей от общего количества, имеющих размеры, превышающие предельные, и принятых в числе годных) определяют по таблице [9] в зависимости от качества точности и значения $A_{мет}(\sigma)$:

$$A_{мет}(\sigma) = \frac{\sigma}{IT} \cdot 100, \tag{8}$$

где σ – среднее квадратичное отклонение погрешности измерения; IT – допуск контролируемого размера.

Определение характеристик α_{ij} , β_{ij} в зависимости от качества точности и $A_{мет}(\sigma)$

Квалитет точности	$A_{мет}(\sigma)$, %	α_{ij} , %	β_{ij} , %
2 – 7	16	7,8 – 8,25	5,0 – 5,4
8, 9	12	5,4 – 5,8	3,75 – 4,1
10 – 17	10	4,5 – 4,75	3,1 – 3,5

Рассмотрим алгоритм решения задачи (1) – (4). Предварительно введём следующие обозначения: U – множество всех измерительных приборов; S – множество приборов, не включённых в комплект; E_s – множество приборов, входящих в комплект, исключение которых из комплекта приведёт к нарушению условия (4); $G_s = U \setminus (S \cup E_s)$ – множество приборов, входящих в комплект, для которых воз-

можно их исключение из комплекта. С учётом введённых обозначений выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$C = \min \left(\sum_{i=1}^m c_i - \sum_{i=1}^m c_i \bar{y}_i \right) = \sum_{i=1}^m c_i - \max \sum_{i=1}^m c_i \bar{y}_i, \quad \bar{y}_i = 1 - y_i, \quad i = 1, \dots, m.$$

Данный алгоритм позволяет найти множество приборов S , которому соответствует максимальная стоимость и при котором обеспечивается выполнение ограничений (2) – (4). Обозначим

$$q_{kj} = \min_{i \in U \setminus S} q_{ij}, \quad q_{ij} = \min_{i \in U \setminus S} q_{ij}, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\Delta q_{kj} = q_{ij} - q_{kj}, \quad q_k = \sum_{j=1}^n q_{kj}, \quad \Delta q_k = \sum_{j=1}^n \Delta q_{kj}, \quad k = 1, \dots, m,$$

$$Q_s = \sum_{k=1}^m q_k, \quad \Delta Q_s = Q - Q_s.$$

Допустим, что множество S сформировано таким образом, что выполняется условие $Q_s < Q$. Определим верхнюю границу стоимости приборов, вошедших в множество S :

$$C_s = C_s^0 + C_s', \quad (9)$$

где

$$C_s^0 = \sum_{i \in S} c_i, \quad C_s' = \max_{k \in G_s} \sum c_k \bar{y}_k \quad (10)$$

при условии

$$\sum_{k \in G_s} \Delta q_k \bar{y}_k \leq \Delta Q_s, \quad \bar{y}_k \in \{0; 1\}, \quad k = 1, \dots, m. \quad (11)$$

Процесс формирования множества S начинается с $S = \emptyset$, т.е. в исходный комплект включаются все возможные приборы. В множество E_s включаются приборы, для которых выполняется неравенство $\Delta q_k > \Delta Q_s$ ($k = 1, \dots, m$). Сформировав E_s , определяем $G_s = U \setminus (S \cup E_s)$ и выбираем r -тый прибор для включения в множество S с помощью условия:

$$h_r = \max_{k \in G_s} h_k, \quad h_k = c_k / \Delta q_k. \quad (12)$$

Вводим r -тый прибор в множество S и перерасчитываем величины Δq_k , $k \in U \setminus S$ и Q_s . Вновь сформировав множества E_s и G_s , выбираем с помощью условия (12) прибор для включения в множество S . Аналогичным образом формируется множество S на всех последующих этапах.

Процесс формирования множества S заканчивается при условии $G_s = \emptyset$, т.е. когда нет ни одного прибора, который можно было бы исключить из комплекта без нарушения ограничения (4). В этом случае значение $C_s = C_s^0$ принимаем в качестве первого допустимого решения C^0 . Исключаем из множества S r -тый прибор, включённый на последнем шаге ($y_r = 0$). Решая задачу (10), (11), рассчитываем верхнюю границу целевой функции (9) и проверяем неравенство

$$C_s > C^0. \quad (13)$$

Если неравенство не выполняется, то выводим из множества S очередной прибор, включаем его в множество E_s и вновь проверяем условие (13). Если неравенство (13) выполняется, то с помощью условия (12) выбираем новый прибор для включения в множество S , вводим его в множество S , рассчитываем верхнюю границу целевой функции (9) и вновь проверяем неравенство (13). Если в процессе решения окажется, что неравенство (13) выполняется и $G_s = \emptyset$, то полученное значение C_s принимается в качестве нового значения допустимого решения C^0 . Аналогичным образом вычислительный процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполняться неравенство (13) при $S = \emptyset$. В этом случае послед-

нее приближённое решение S^0 и соответствующее ему множество S^0 обеспечивают оптимальное решение задачи.

В результате разрабатывается маршрут контроля и его объем, содержание и описание операций и СК на основе первичных сведений об объекте контроля, условиях производства и характеристиках технологических операций обработки.

Выбор СК зависит от характеристик объектов и средств ТК, а также требований, предъявляемых к технологическому процессу изготовления; основывается на обеспечении заданных показателей процесса ТК и анализе затрат на реализацию процесса контроля. При выборе СК обеспечивается требуемая точность и экономичность производства, при которой предпочтение отдается более дешевым средствам.

Заключение. Разработка «ИСМО ТПП» проведена в инструментальной системе программирования Delphi 6.0, располагающей широкими возможностями по созданию интегрированных прикладных систем, работающих под управлением операционной системы Windows, генерации удобных пользовательских и функциональных интерфейсов и приложений баз данных.

Информационная система метрологического обеспечения технологической подготовки производства и проектирования контрольных операций «ИСМО ТПП» может быть использована в различных системах автоматизированного проектирования в качестве внедренного OLE-объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойков В.П., Махнач В.И. Системы автоматизированного проектирования - реальность и задачи // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства (CAD/CAM-98). - Мн.: ИТК НАНБ, 1999. - С. 4 - 14.
2. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения / Под ред. А.Г. Раковича. - Мн.: ИТК НАН РБ, 1997. - 276 с.
3. Горнев В.Ф. Проблемы и технологии комплексной автоматизации // Автоматизация проектирования. 1999. - № 1. - С. 12-18.
4. Hannam R. Computer Integrated Manufacturing: from concepts to realisation. - Manchester: UMIST, 1997. - 258 p.
5. Технический контроль в машиностроении: Справочник проектировщика / Под общ. ред. В.Н. Чупырина, А.Д. Никифорова. - М.: Машиностроение, 1987. - 512 с.
6. Integration of technical preparation of multi-nomenclature production on the basis of virtual bureau conception / S.V. Koukhata, B.P. Chemisov, M.L. Kheifetz, S.V. Peshkoun // Processing of the 10th DAAAM International Symposium. - Vienna: DAAAM, 1999. - P. 263-264.
7. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. - М.: Наука, 1987. - 248 с.
8. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / И.И. Балонкина, А.К. Кутай, Б.М. Сорочкин, Б.А. Тайц; Под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. - Л.: Машиностроение, 1983. - 368 с.