

## ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### КОНЦЕПЦИЯ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ: ИНТЕГРАЦИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ STEP

В. Л. Сосонкин, д-р техн. наук;  
Г. М. Мартинов, д-р техн. наук

*Стандарт STEP (Standard for the Exchange of Product model data) используют для создания информационной модели изделия, работающей на всех этапах его жизненного цикла. Этап перехода от системы автоматизированного программирования САМ к системе ЧПУ называют STEP-NC, и от окончательного международного согласования этого этапа ожидают перехода к кардинально более совершенной системе программирования ЧПУ и изменений в самой архитектуре систем ЧПУ. Предложен анализ этой проблемы.*

Среди возможных видов интеграции в автоматизированных производствах в последнее время привлекают внимание те, которые построены на единой информационной модели изделия в рамках его жизненного цикла: от компьютерного проектирования (САД) и компьютерного планирования (САПП) к автоматизированной подготовке управляющих программ (САМ) и изготовлению на станках с ЧПУ (НС). Подобная модель определена в рамках комплекса стандартов STEP [1, 2]). Слабым звеном в последовательных переходах по этапам жизненного цикла является переход САМ-НС, уверенного представления о котором не сложилось до сих пор. В дальнейшем сделан акцент именно на этом переходе, что потребовало, однако, введения общих представлений о комплексе стандартов STEP.

**Обзор комплекса производственных стандартов STEP.** Речь идет о той части стандартов STEP, которая определена для области обработки резанием на станках с ЧПУ. В жизненном цикле изделия предусмотрены фазы: STEP-проектирования (САД, Computer-Aided Design), макропланирования технологического процесса (САПП, Computer-Aided Process Planning), а, кроме того, и те способы микропланирования (САМ, Computer-Aided Manufacturing) и изготовления (НС, Numerical Control), которые существуют сегодня вне STEP. Функции STEP-ориентированного микропланирования и STEP-ориентированного изготовления станут доступными в ближайшем будущем.

Фаза проектирования предполагает генерацию и сохранение STEP-данных для последующего производства изделий. В рамках фазы разработано несколько вариантов прикладных протоколов (АР, Application protocol), определенных в качестве международных стандартов, наилучшим из которых является протокол AP224. На уровне этой фазы формируется некоторый полный набор информации для планирования технологических маршрутов в очередной фазе. Полнота информации означает определение данных не только в терминах 3D-геометрии (прямые, дуги и т. д.), но и в таких технологических терминах, как "карманы", "канавки", "отверстия", "скругления" и др. Полнота информации предполагает также определение размеров и допусков, ассоциированных с 3D-образом, генерацию такой существенной информации, как материал, шероховатость, специальные технические требования (например, скругление острых кромок). Все спецификации представляют собой не просто текст в виде примечаний, но являются частью модели, причем под протоколом AP224 понимают и модель, и транслятор, генерирующий производственные данные для отдельных деталей и сборок в формате AP224. В составе транслятора имеется СУБД. В фазе проектирования создают проект, выполненный в САД-системе, или используют уже существующий проект, транслированный в AP224.

В следующей фазе макропроектирования используют производственные данные конструкторского проекта и обрабатывают их соответ-

венно новым задачам. Представление данных в формате AP224 существенно повышает эффективность планирования; окончательный же результат макропроектирования будет представлен в формате AP213 в форме технологического маршрута для станков с ЧПУ. Формат AP213 принадлежит комплексу STEP, но пока еще не является международным стандартом, хотя и существует мощная международная поддержка. Пока же по большей части STEP служит только входом в систему макропланирования, в то время как выход организован в формате используемой CAPP-системы. Один из существующих вариантов CAPP-системы разработан в виде машины знаний как интеллектуальное приложение для CAD-системы. Информация об изделии, цеховых ресурсах, специфические сведения о построении технологических маршрутов и практический опыт объединены вместе с целью построения планов обработки, используемых для самого широкого спектра деталей. План обработки представляет собой схему маршрутизации (распределение шагов маршрута по станкам), спецификацию материалов, обобщающую маршрутную информацию, требования к инструментальному обеспечению, нормы времени для каждого шага, инструкции оператору. Приспособления и инструменты выбираются, заказываются или изготавливаются. В процессе макропланирования оценивают стоимость обработки. Система принимает информацию в форматах: STEP AP224 (оптимальный вариант), STEP AP203 (более ранний вариант прикладного протокола проектирования), IGES (Initial Graphics Exchange), информация чертежа. Модель цеховых ресурсов включает наличные материалы и инструменты, описания станков, оценки времени обработки, технологические возможности. Пользователю доступна твердотельная модель обрабатываемого изделия. В его распоряжении множество экранов с информацией об изделии, цеховых ресурсах и плане обработки.

Стратегия очередной фазы микропланирования состоит в том, чтобы принять информацию

в формате AP213 на основе формата AP224, но это станет возможным, когда формат AP213 будет завершен и выстроен в качестве стабильной модели и стандартного входа в САМ-системы. САМ-система выполнит микропланирование в AP238 формате на основе стандарта STEP-NC для каждого станка из тех, которые определены маршрутом операций.

В любом случае выход STEP-ориентированного макроплана используют в качестве входа в систему микропланирования. Микроплан ориентирован на шаги операций, поддерживаемые числовым программным управлением; он содержит чертежи установок и управляющие программы для станков с ЧПУ. САМ-системы проектируют траектории инструментов и постпроцессируют их, чтобы обеспечить совместимость с конкретной системой ЧПУ. Кроме того, разрабатываются схемы установок и коррекции инструментов, а также подробные инструкции оператору. Фаза изготовления деталей станет гораздо более совершенной после завершения и внедрения стандарта AP238 (STEP-NC). Однако для прямого использования инструкций STEP AP238 должны быть разработаны системы ЧПУ очередного поколения, такие, которые понимают STEP-NC формат вместо языка ISO-7bit (ISO 6983, DIN 66025).

**STEP-NC.** Программирование современных систем ЧПУ подчиняется стандарту ISO 6983 (DIN 66025), которому уже более 50 лет и который явно тормозит развитие ЧПУ-технологии (рис. 1). Стандарт поддерживает простые команды для элементарных перемещений и логических операций, а не сложные геометрию и логику. Управляющие программы в стандарте ISO 6983 содержат небольшое подмножество информации, полученной на уровне CAD-САМ-систем. Однако более серьезным является невозможность двустороннего обмена информацией с этими системами; это означает, что любые изменения в управляющей программе не могут быть отображены в восходящем информационном потоке к системам CAD-CAM.

Становочно-ориентированная управляющая программа с перемещениями, генерируемыми постпроцессором

Нестандартные расширения конечного пользователя

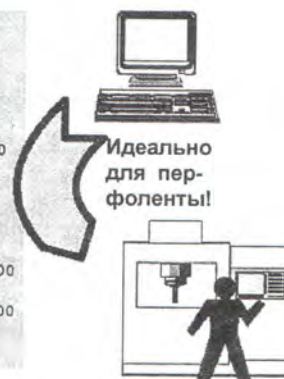
Только примитивные перемещения и переключения

Отсутствует стандартный формат для сплайнов и сложной технологии ЧПУ

```

N05 G54
N10 G00 Z10.000
N15 G91 G0 Z200
N20 T5 D1 MM
N30 G90 M5
N35 G00 X0.000 Y-150.000
N40 G00 Z5.000
N45 M08
N50 S3183.000
N55 M03
N60 F1477.000
N65 G00 X60.000 Y-150.000
N70 G00 Z5.000
N75 G00 X60.000 Y-150.000
N80 G01 Z-0.500
...

```



STEP-NC заменяет все это на интегрированную модель широкого спектра данных

Рис. 1. Существующая схема программирования станков с ЧПУ и ее недостатки

В отличие от существующего, стандарт STEP-NC предлагает модель того, "что" нужно сделать, но не подробности того, "как" осуществлять траекторные перемещения и выполнять команды логических переключений. Эта модель отвечает новому стандарту ISO 14649, согласно которому изделие получают из заготовки путем удаления типовых форм (features); путем условного или безусловного выполнения ассоциированных с типовыми формами переходов (workingsteps); в потоке управления, задаваемом исполняемыми блоками (executables); с необходимыми допусками; с использованием инструмента, отвечающего всем необходимым требованиям. Эта модель использует информацию форматов AP204 и AP213 вплоть до этапа интерпретации управляющей программы, т. е. она несопоставимо богаче существующей схемы программирования. Предполагается, что система управления способна интерпретировать подобную информацию и генерировать необходимые перемещения и циклы.

Стандарт ISO 14649 устанавливает девять компонентов функциональности (Units of Functionality, UOFs): проект (project), изделие

(workpiece), типовая форма (feature), исполняемый блок (executable), операция (operation), траектория инструмента (toolpath), измерения (measures). Отношения между компонентами показаны на рис. 2, представленном в форме, соответствующей упрощенной графической версии объектно-ориентированного языка EXPRESS [3, 4], который послужил средством описания всех прикладных протоколов STEP. Изделие описывают так, как это принято в стандарте STEP: с историей версии, с информацией владельца, с утверждениями, датой, указанием материала и его свойств. Изделие служит выходом технологического процесса, а его внешний вид является свойством готового продукта. Типовые формы определяют области удаляемого материала заготовки, а их внешний вид является частью внешнего вида изделия. Типовые формы задают в параметрическом виде как совокупность образующей и направляющей. Особый случай представляют поверхности свободной формы, для которых задают область, в пределах которой размещается поверхность свободной формы. Некоторые виды типовых форм представлены на рис. 3.

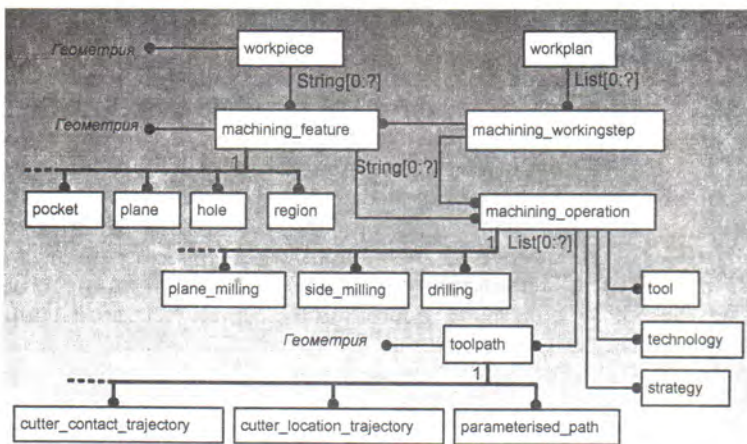
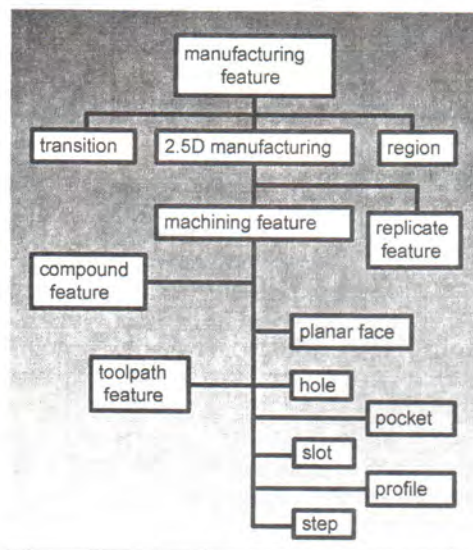


Рис. 2. Отношения между компонентами функциональности в стандарте ISO 14649



Параметры отсутствуют, определена лишь поверхность свободной формы для 5-координатной обработки

Описание в форме образующей и направляющей без явной геометрии

Рис. 3. Виды типовых форм

Ядро модели STEP-NC составляет план операций (workplans), который является последовательностью переходов (workingsteps). Каждый переход ассоциирован с операцией, выполняемой в некоторой типовой форме изделия. В свою очередь операция содержит технологический алгоритм (включая стратегию внедрения в материал и вывода инструмента) и указания по настройкам. Операции имеют черновую и чистовую версии. Предполагается, что интеллектуальные системы ЧПУ будут самостоятельно рассчитывать траектории инструмента для стандартных типовых форм. *Исполняемый блок* (executable) описывает поток управления и последовательность переходов, ассоциированных с

операциями и типовыми формами. Исполняемый блок технологически независим. Конструкция исполняемого блока приведена на рис. 4. Траектория инструмента устанавливает точное движение координатных приводов в том случае, если интеллектуальная система ЧПУ не способна сама спланировать такую траекторию. Однако полная траектория может быть воссоздана из каких-то ее повторяющихся или стандартных частей; таким образом, гибкость плана операций снижается лишь частично. Структура траектории инструмента представлена на рис. 5. Компонент функциональности *измерения* определяет используемые средства измерения и допуски в разработанной модели.

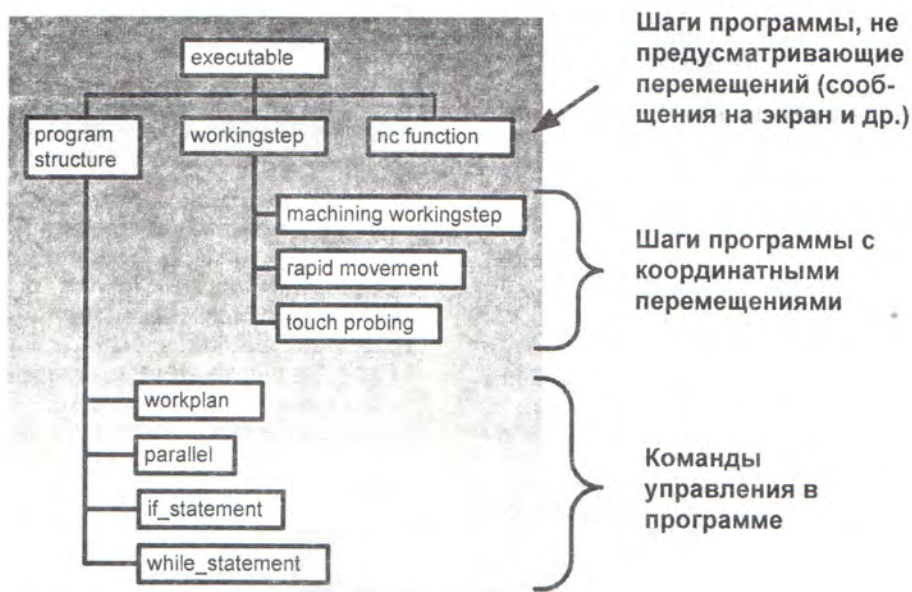


Рис. 4. Конструкция исполняемого блока

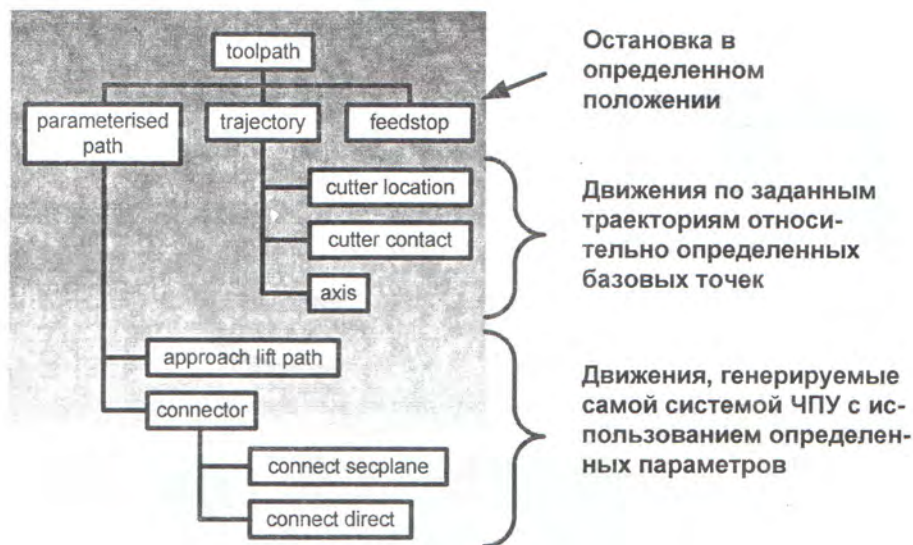


Рис. 5. Структура траектории инструмента

Обобщающим компонентом функциональности служит *проект*. Суть его в том, что общая STEP-NC модель может включать описания нескольких изделий и множество планов операций. Проект устанавливает стартовую точку, идентифицируя главный план операций. Формальное описание проекта в объектно-ориентированном языке EXPRESS выглядит следующим образом:

```
ENTITY project;
  its_id: identifier;
  main_workplan: workplan;
  its_workpieces: SET [0:7] OF workpiece;
  its_owner: OPTIONAL person_and_address;
  its_release: OPTIONAL date_and_time;
  its_status: OPTIONAL approval;
  (*
  Informal proposition:
  its_id shall be unique within the part programme.
  *)
END_ENTITY;
```

Управляющая программа для станка с ЧПУ представлена в формате физического файла, соответствующего ISO 1033, часть 21. Первая секция программы служит заголовком (header). Здесь представлены информация общего характера и комментарии (имя файла, автор, дата и др.) — рис. 6. Далее следует секция данных, открываемая ключевым словом Data. Эта секция делится на три части: план операций, исполняемые блоки, технологические описания. На рис. 6 выделены отношения между этими тремя частями. Рабо-

чий план объединяет исполнительные блоки в линейном порядке или с учетом условий. Один из типов исполнительных блоков содержит структуру программы, и чтобы изменить последовательность операций достаточно внести изменения в этот блок.

Пример использования управляющей программы в подобном виде был продемонстрирован фирмой Siemens. Ниже приведен небольшой фрагмент такой программы:

```
File:
Header
#1=Project (Workplan #10);
#10=Workplan (#20, #35, #71,...);
...
#20=Machining_Workingstep (#(Feature),
#22(Operation));
#21=Round hole ('Hole M6',,,,,);
#22=Drilling (#...(Tool),, #...(Technology),
#...(Machine_functions));
...
#35=Machining_Workingstep (...);
End-ISO-10303-21
```

Использование этого формата имеет ясное представление и четкое окружение, как это показано на рис. 7. Однако имеются и другие предложения, связанные с прямым использованием в управляющих программах ЧПУ языков EXPRESS и XML. Дело в том, что синтаксис ISO 10303-21 не предполагает расширений и не предусматривает использования гипертекстовых механизмов.



Рис. 6. Структура управляющей программы для станка с ЧПУ

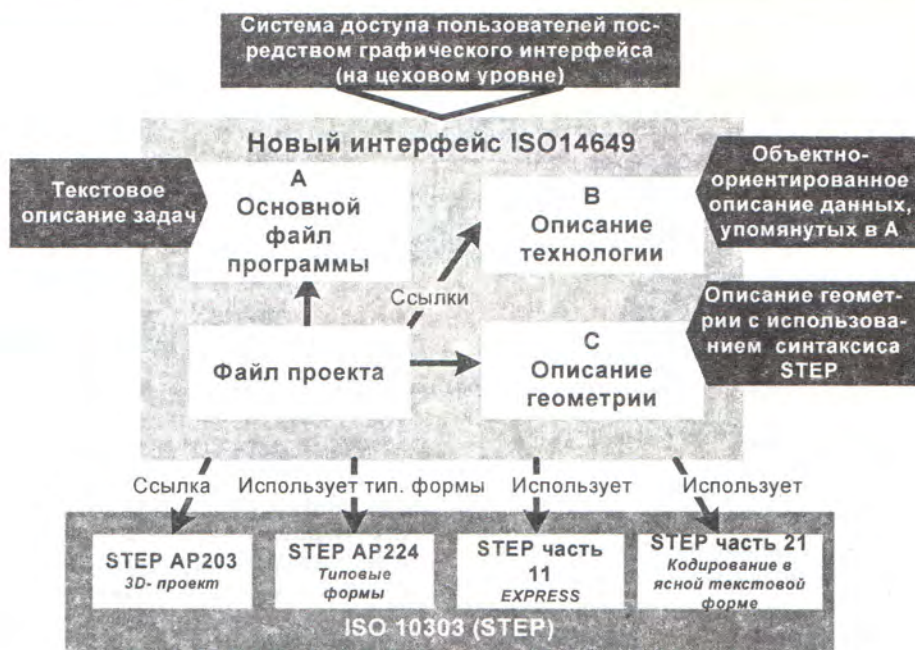


Рис. 7. Окружение разработки управляющей программы в соответствии с ISO 10303-21

Использование в интерфейсе систем ЧПУ языков EXPRESS и XML. Среди многих интересных достоинств такого подхода отметим важную роль, которую играет ориентация на интегрированное распределенное производство.

Язык EXPRESS является универсальным средством для описания информационных моделей в терминах "сущность — атрибуты". Сущности могут сохраняться в репозиториях в качестве абстрактных объектов, не имеющих привязки к конкретным физическим образам. Однако разработчики математического обеспечения репозитория имеют и возможность использовать любые информационные технологии и подходы при определении сущностей и атрибутов.

Язык XML гибок и расширяем, и в этом смысле имеет преимущества перед ISO.10303-21. XML-документы могут быть обработаны Web-браузерами, при этом технология браузеров по-

зволяет визуализировать EXPRESS-сущности. XML-описания принимают участие в обмене нейтральными данными, но могут быть использованы и в разделяемых специализированных базах данных и архивах [5]. Правила отображения и раннего связывания моделей EXPRESS и XML состоят в следующем: имя тега соответствует или имени EXPRESS-сущности, или имени атрибута; элемент тега соответствует значениям атрибута; для упрощения структуры тега его атрибуты являются многофункциональными. Упрощенная схема отображения моделей показана на рис. 8.

Окончательная схема генерации управляющей XML-программы ЧПУ из EXPRESS-модели данных ЧПУ показана на рис. 9. Эта модель охватывает EXPRESS-схему и EXPRESS-репозиторий. EXPRESS-схему можно конвертировать в XML DTD (Document Type Declaration) с использованием правил отображения.

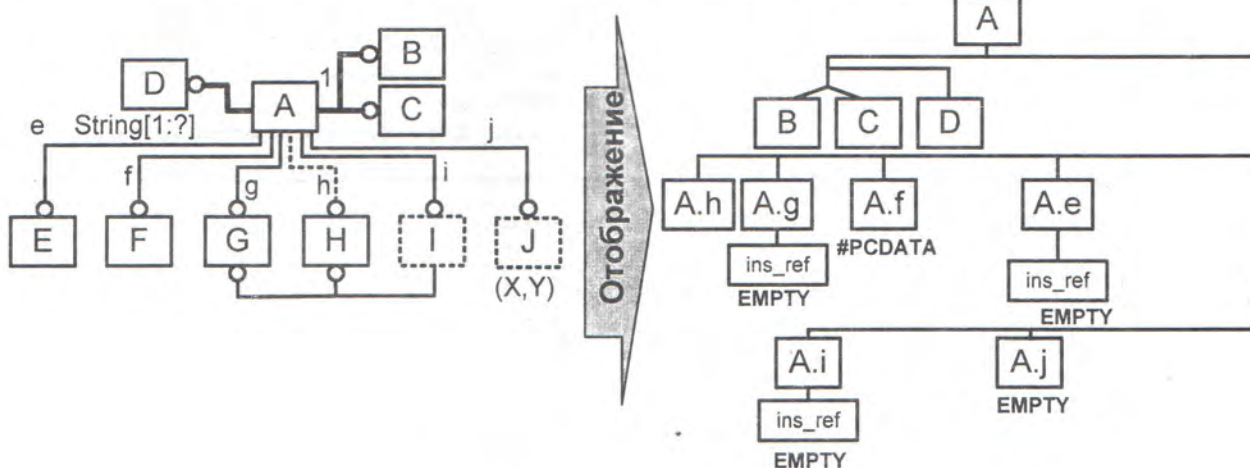


Рис. 8. Отображение EXPRESS в XML



Рис. 9. Схема генерации управляющей XML-программы ЧПУ

**Заключение**

До сих пор станки с ЧПУ программируют в стандарте ISO 6983. Этот стандарт существует со времени использования перфолент и перфокарт; он абсолютно не удовлетворяет современным технологиям. Управляющие программы, соответствующие ISO 6983, всего лишь описывают координатные перемещения (G1, G2, G3) и управляют циклами (M3, M8). Новые языки программирования работают с технологическими задачами, привязанными к типовым формам (features). Такой задачей может быть, к примеру, обработка кармана. Все операции, необходимые для перехода от заготовки к готовому изделию, могут быть описаны в терминах технологических задач. В этой связи на цеховой

уровень приходится огромный объем информации. Все модификации цехового уровня могут быть не только сохранены, но и без труда переданы обратно в отделы планирования. Поскольку геометрия заготовки и готового изделия описывается с использованием STE-синтаксиса, возможен прямой обмен информацией между CAD/CAM/CNC-системами. Геометрические данные могут быть непосредственно импортированы в систему ЧПУ, и только технологическая информация должна быть добавлена, чтобы сгенерировать управляющую программу.

На основе проведенного анализа сопоставление моделей управляющих программ ЧПУ, современной (ISO 6983) и перспективной (ISO 14649), выполнено на рис. 10.

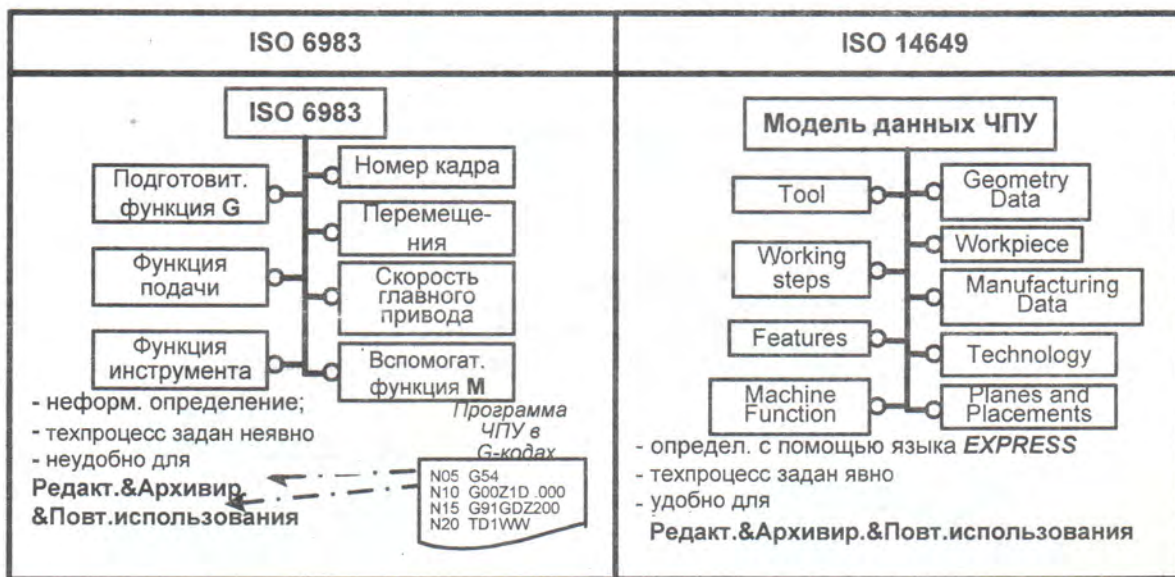


Рис. 10. Сравнение двух моделей управляющих программ ЧПУ, современной (ISO 6983) и перспективной (ISO 14649)

**Литература**

1. <http://www.steptools.com>.  
2. <http://www.okstate.edu/ind-engr/step/WEBFILES/Papers>.

3. <http://www.cals.ru/structstep.html#str>.  
4. <http://www.cals.ru/structstep.html#ex>.  
5. <http://www.xml.coverpage.org/StepExpressXML.html#step-part28>.