

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

DEVELOPMENT AN INTEGRATED PROCESS PLANNING SYSTEM FOR A FLEXIBLE PRODUCTION ENVIRONMENT

K. Alkhaled

Summary. The main aim of this study is to propose a methodology and develop a system for a flexible process plan in with the Non-linear approach process planning (NLPP) based on the conditions in the workshop, which called flexible process plan, for all details before they enter the workshop.

Keywords: automation, information support, software, CAD, technological processes, non-linear process planning.

Аль-Халед Халед Али Хуссейн

Аспирант, Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
khaledalkhaled89@mail.ru

Аннотация. Основная цель данного исследования состоит в том, чтобы предложить методологию и разработать систему формирования гибкого плана процесса в соответствии с Нелинейным подходом к планированию процессов (НЛПП) на основе условий в цехе, так называемых гибких планов процесса, для всех деталей перед их поступлением в цех.

Ключевые слова: автоматизация, информационное обеспечение, программное обеспечение, САПР, технологические процессы, нелинейное планирование процессов.

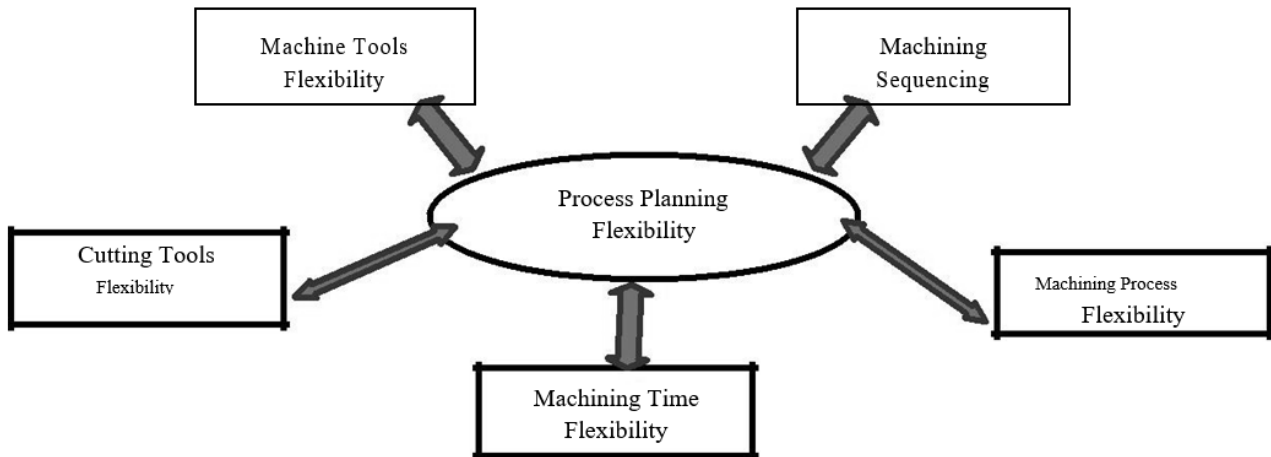
Введение

Планирование процесса представляет собой задачу, включающую в себя широкий спектр функций и действий по изготовлению детали посредством проектирования и разработки соответствующего производственного процесса. Общие действия, связанные с планированием процесса, включают толкование конструкции детали, выбор производственных процессов, определение операций, последовательности операций, получение данных обработки, геометрических размеров и допусков. С производственной точки зрения, выполнение планирования процессов независимо от производственной деятельности или в последовательном порядке после нее приводит к целому ряду проявлений неэффективности. К ним относятся невыполнимые планы процессов, нехватка ресурсов и перегрузки, высокие производственные расходы и большие затраты времени, несбалансированная загрузка ресурсов, появление станков, определяющих собой производительность всей линии, снижение общего использования ресурсов и низкие показатели своевременной поставки. Таким образом, это ограничивает альтернативы более ранними решениями, принятыми на этапе планирования процесса. Цель данного исследования состоит в том, чтобы предложить новый метод формирования гибкого плана процесса, имеющий интеграцию переносимости с другими видами операций в комплексном автоматизированном производстве (СІМ); предлагаемый метод достигается за счет создания

и развития ряда математических моделей, которые обеспечивают математические решения для деятельности по планированию процессов, а также за счет разработки системы, которая способна генерировать базовый план процесса и его альтернативы. Система предназначена для совершенствования нескольких задач, которые являются крайне важными для производственной системы, за счет сокращения производственного времени, сокращения числа машин, определяющих собой (и ограничивающих) производительность всей линии, увеличения общего использования машин, сведения к минимуму задержек в работе, сокращения времени задержки, насколько это возможно, путем предоставления альтернативных способов выполнения рабочих операций и возможности свободного вмешательства человека. Эта статья состоит из нескольких разделов, включая обзор литературы, связанной с исследованиями, посвященными новым разработкам. Представлена предлагаемая новая методология нелинейного планирования процессов. Даны пояснения основным модулям и блок-схемам разработки автоматизированной системы планирования процессов, реализованной и прошедшей испытания, на примере конкретного случая, с результатами и выводами.

Обзор литературы

Компьютеризованное планирование процесса (САРР) справедливо рассматривается как интеграционный материал для СІМ (компьютерно-интегрированного произ-



водства) в рамках его связи с проектированием и производством, интеграцией планирования процессов с CAD (системой автоматизированного проектирования) или CAM (системой автоматизированного производства), обеспечиваемой многосторонними исследованиями:

Александар и др. (Aleksandar et al., 2011) предложили новую модель использования возможностей установленного программного обеспечения для обмена информацией, полученной от процессов, с которыми оно связано. Полученная информация используется для генерирования оптимального плана процесса для модуля CAPP. Модульные решения CAPP создаются и настраиваются в соответствии с потребностями различных производственных предприятий, с учетом затрат и времени, необходимых для внедрения, с использованием представленной концептуальной основы.

Цзюань и Сяньго (Juan and Xianguo, 2012) предложили многоагентную систему планирования процессов для производства на основе стандарта STEP-NC (системы подготовки УП с помощью стандарта ИСО для обмена данными по изделиям). Рассмотрены особенности планирования процесса, ориентированного на производство деталей, и методы распределенного искусственного интеллекта. Для проведения процесса планирования детали применялось совместное многоагентное планирование процесса. Система многоагентного планирования процессов включает три типа автономных агентов, а именно агенты глобального управления, агенты планирования и агенты производственных ресурсов. Планирование процесса может быть осуществлено автоматически на основе взаимодействия нескольких агентов. Каждый агент способен взаимодействовать с другими агентами посредством улучшенного языка управления знаниями и запросов к знаниям (KQML), а также использования технологии распознавания характеристик, основанной на макрокодовых производственных функциях, при использовании носителей информации,

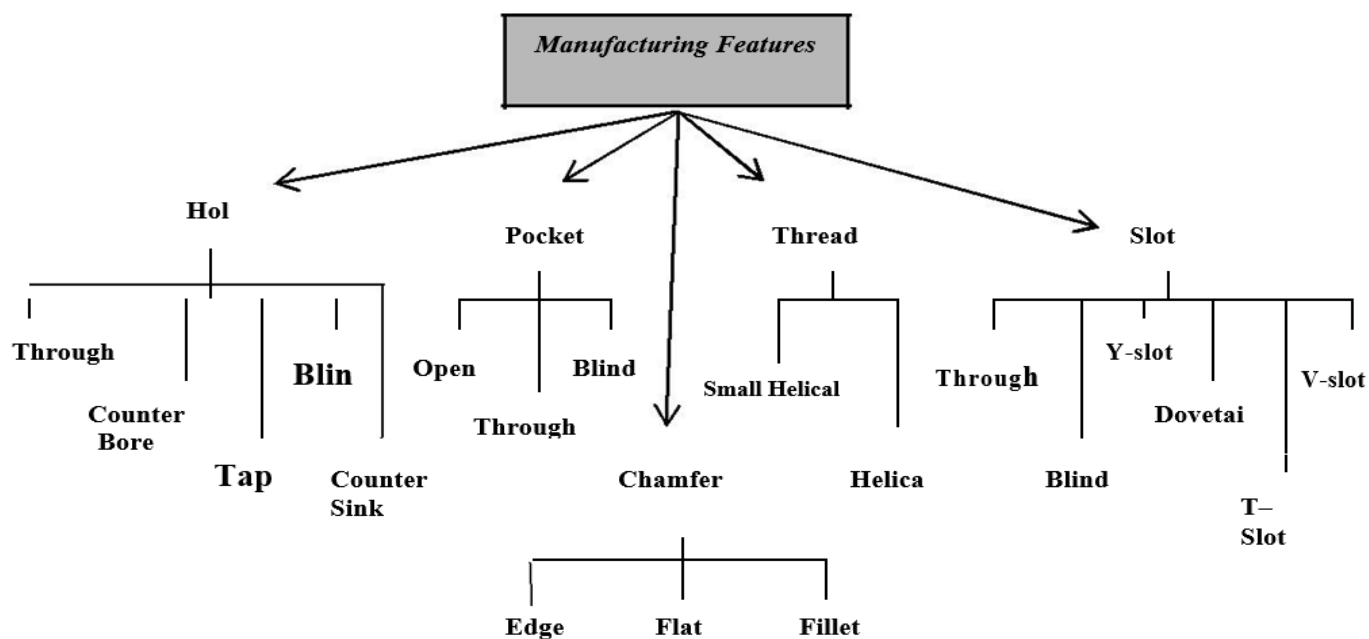
передающих ее с этапа проектирования на этап планирования процессов и обработки деталей на станках с ЧПУ.

Матс Багге (Mats Bagge, 2014) предложил новый метод, охватывающий многие виды деятельности по планированию процессов, в том числе возможность прогнозирования результатов предлагаемого производственного процесса. Это достигается путем комбинирования вспомогательных методов, пригодных для управления как качественными, так и количественными характеристиками, а также анализом производственного процесса.

Сатиш Кумар и др. (Satish Kumar et al., 2015) представили новую модель продукта, основанную на объектно-ориентированном подходе, которая используется для поддержки задачи CAPP. Представлена модель продукта на основе AP 203 и AP 224. Описание использованных объектов EXPRESS представлено в файле STEP part21. Была представлена карта соотношения характеристик конструктивного решения с характеристиками элементов, а именно, AP 224. Реализация модели продукта на основе иерархии классов объектов также представлена с примером, демонстрирующим применение модели.

Предлагаемая методология гибкого планирования процессов

В данном исследовании разработана новая методология для автоматизированного формирования планирования процессов. Предлагаемый метод предназначен для реализации в соответствии с нелинейным подходом к планированию процессов (НЛПП), который основан на статическом состоянии цеха (так называемых множественных или гибких планах процессов) для каждой детали перед ее поступлением в цех. Можно рассмотреть четыре типа гибкости в связи с процессом изготовления детали, как показано на Рисунке (1).



Первой является гибкость построения последовательности, под которой понимается возможность изменения порядка необходимых производственных операций в последовательности. Второй — гибкость обработки, определяемая возможностью производства одной и той же производственной функции с альтернативными процессами. Третья, гибкость станочных систем, определяется возможностью выполнения операции более чем на одной машине, а последней разновидностью является гибкость режущих инструментов, под которой подразумевается возможность осуществления производственной функции с применением альтернативного режущего инструмента. Исследователь разрабатывает новую математическую модель деятельности по планированию процессов для обеспечения математического решения каждой из них. С точки зрения планирования процесса, проектирование деталей обеспечивает важные входные данные, поэтому его определению должно уделяться большое внимание. Производственные особенности дизайна детали — это расширение класса характеристик, подкласса характеристик, местоположения элементов, размеров, отделки поверхности и размера допуска. Сложность проектирования и изготовления обычно определяется количеством и типом элементов формы, необходимых для представления детали или объекта для его производства. Характеристики можно разделить на первичные и вторичные (или классы и подклассы). Дерево производственных характеристик показано на рисунке (2).

Предлагаемая методология генерации предназначена для реализации в соответствии с нелинейным подходом планирования процессов (НЛПП), который основан на статическом состоянии цеха (так называемых мно-

жественных или гибких планах процессов) для каждой детали перед ее поступлением в цех. Модуль планирования процесса разделен на пять подчиненных модулей, которые работают одновременно и в соотношении с модулем проектирования продукта, в соответствии с несколькими математическими моделями, следующим образом.

Гибкость в построении последовательности характеристик обработки

Модуль планирования процесса генерирует последовательность характеристик и определяет процесс обработки, станок и режущий инструмент с указанием альтернатив для конструкции детали в целях создания базового плана технологического процесса и его альтернатив. Математически факториал неотрицательного целого числа n , обозначаемый $(n!)$ и присутствующий в уравнении (1), является произведением всех положительных целых чисел, меньших или равных n . Этот факториал используется для генерации последовательности обработки. Генерация последовательности характеристик машинной обработки основана на ряде признаков, относящихся к конструкции детали, и на предшествующих ограничениях последовательности (технологических и геометрических).

$$S = n! \tag{1}$$

где:

S = количество возможных последовательностей

n = количество характеристик, включенных в конструкцию детали.

Гибкость при выборе технологий обработки

Второй шаг, после описания детали, состоит в выборе подходящих процессов для обработки этой детали. Процедура выбора технологии зависит от типа элемента (щель, карман, отверстие и т.п.). Если элемент имеет простую форму (щель, карман, отверстие и т.п.), для изготовления этого элемента будет задан соответствующий процесс, но если элемент носит комплексный характер (например, резьбовое отверстие), то он будет разделен на два подчиненных элемента: отверстие и резьба, и для них будут в независимом порядке выбираться подходящие технологические процессы. В этом случае используется модель Элемент — Процесс (FP). Ее математическое определение указано в уравнении (2). Параллельно модели FP применяются два ограничения. Первое является ограничением, определенным для группы, которое устанавливает для выбранной группы только одну технологию и одну характеристику; а технологическое ограничение используется для исключения групп, в которых присутствуют процессы, не соответствующие форме, допуску и обработке поверхности, требуемым для изготовления элемента, выбранного для данного процесса.

$$(FP) = \frac{\left[\frac{p!}{r!(p-r)!} \right]^g}{g! \left[\left(\frac{p!}{r!(p-r)!} \right)^g - g \right]} \quad (2)$$

где:

p = количество процессов и элементов.

r = группа комбинаций процессов (Процесс + Элемент)

g = группа выбора процессов (Процесс¹- Элемент¹) — (Процесс²- Элемент²) ... (Процесс^N — Элемент^N).

Гибкость при выборе инструмента для обработки (станка)

Наличие более чем одной машины для обеспечения одного и того же (процесса обработки элемента изделия) с одинаковой точностью считается важным моментом с точки зрения гибкости планирования процесса, поскольку это дает альтернативы при выборе станка. Приоритизация выбора инструмента для машинной обработки (станка) основана на выборе лучших вариантов с точки зрения наиболее раннего запуска (EPS), наиболее раннего завершения процесса (EPF) и кратчайшего времени обработки (SPT). Модель Элемент — Процесс — Машина (FPM), математически определенная в уравнении (3), используется для задания машин, отвечающих требуемым параметрам ранее выбранных статусов (процессов обработки элемента изделия). Ограничения в отношении выбранной группы и станков используются для устранения возможностей, которые не включают в себя

один (процесс обработки элемента изделия) и одну машину в данной группе, а также возможности, включающие в себя машины, которые не могут обеспечить выбранные (процессы обработки элемента изделия).

$$(FPM) = \sum_{k=1}^n \frac{\left[\frac{(FP^{(k)+m})!}{b!((FP^{(k)+m})-b)!} \right]^x}{x! \left[\left(\frac{(FP^{(k)+m})!}{b!((FP^{(k)+m})-b)!} \right)^x - x \right]^!} \quad (3)$$

где:

(FPM) = Элемент — Процесс — Машина.

m = Количество подходящих машин.

FP^(k) = FP⁽¹⁾ (процессы обработки элемента изделия), FP⁽²⁾, FP⁽³⁾ FP^(N) Выбранные.

b = группа, выбранная из [(Процессы обработки элемента изделия) — Станок].

x = Группа выбора машины (Процесс¹-Элемент¹-Машина¹) — (Процесс²- Элемент²-Машина²)... (Процесс^N — Элемент^N — Машина^N).

Гибкость при выборе режущего инструмента

Для точного изготовления элемента может потребоваться другой тип производственных процессов. Для каждого процесса и станка требуется особый режущий инструмент, совместимый с их параметрами.

Модель Элемент — Процесс — Машина — Инструмент (FPMT) используется для обеспечения математического решения для выбора инструментов, которое определяется математически, что указано в уравнении (4).

Ограничение для выбранной группы используется для исключения возможностей, которые не содержат один инструмент и одну модель (Элемент — Процесс — Машина) в одной группе. Ограничение режущего инструмента исключает возможности, которые включают группы, содержащие инструменты, не соответствующие требуемому параметру модели (Элемент — Процесс — Машина), который был выбран.

$$(FPMT) Model = \sum_{k=1}^n \frac{\left[\frac{(FPm^{(k)+t})!}{z!((FPm^{(k)+t})-z)!} \right]^y}{y! \left[\left(\frac{(FPm^{(k)+t})!}{z!((FPm^{(k)+t})-z)!} \right)^y - y \right]^!} \quad (4)$$

где:

(FPMT) = Элемент — Процесс — Машина — Инструмент

t = количество подходящих режущих инструментов и указанных альтернатив.

FPm^(k) = FPm⁽¹⁾(Элементы — Процессы — Машина), FPm⁽²⁾, FPm⁽³⁾ FPm^(N)

z = группа, выбранная из [Элемент — Процессы — Станок) — Режущий инструмент]

u = группа выбора инструмента (Элемент¹-Процесс¹-Машина¹-Инструмент¹) — (Элемент²-Процесс²-Машина²-Инструмент²) ... (Элемент^N — Процесс^N-Машина^N-Инструмент¹).

Гибкость расчета времени обработки

Последним видом деятельности в процессе планирования является расчет времени обработки, при этом время обработки получается путем расчета по уравнению (5). Как правило, время установки и время обработки рассматриваются на основе типов станков, режущих инструментов и приспособлений, а также планировки завода и оборудования, используемого для перемещения деталей.

$$MT = PCT + (HT * n^1) + (CT * n^2) + PST \quad (5)$$

где:

MT = время обработки.

PCT = время процесса, которое рассчитывается с помощью специального уравнения для каждого процесса.

HT = время обработки детали.

n^1 = количество перемещений детали с одной машины на другую.

CT = время установки режущего инструмента.

n^2 = количество замен режущего инструмента для обработки детали.

PST = время наладки детали.

Как уже отмечалось, генерирование гибкости процесса планирования базируется на последовательности, технологии, особенностях станка и гибкости режущего инструмента, поэтому все генерируемые возможности сочетают в себе истинные модели FPMТ, вследствие чего результаты для каждой из них будут заменяться последовательностями, формируемыми в первую очередь, а затем генерируется комбинация из двух элементов (FPMТ-последовательность) в соответствии с моделью Элемент — Процесс — Машина — Инструмент — последовательность (FPMТS), определенной математически, как показано в уравнении (6). Реализация ограничения плана технологического процесса в отношении выбранной группы должно состоять из (Функции, Процесса, Машины, Инструмента, Последовательности)], чтобы ограничить область выполнения и исключить неприемлемые планы технологического процесса.

$$(FPMТS) = \frac{A!}{v!(A-v)!} \quad (6)$$

где:

FPMТ=Элемент – Процесс – Машина – Инструмент – Последовательность.

A=количество альтернативных последовательностей, процессов, станков и режущих инструментов.

V=группа, выбранная из [(FPMТ-последовательность)].

Система разработки планирования процессов с использованием компьютерных программ (САРР)

В данном исследовании была разработана система САРР, основанная на двух основных функциональных модулях: модуле проектирования изделий и модуле планирования процессов. Для работы системы требуется взаимодействие между пользователем и функциональными модулями. Расположение функциональных модулей позволяет потребителю реализовать функциональные модули, не оказывая никакого влияния на общую структуру системы. Модуль проектирования изделия считается первой ступенью системы, на Рисунке (3) показан рабочий механизм этого модуля. Второй этап системы представляет собой модуль планирования процессов, который разделен на пять суб-модулей следующим образом.

Суб-модуль построения последовательности машинной обработки

Последовательность формирования характеристик обработки основана на некотором числе элементов конструкции детали и предшествующих ограничениях последовательности (связанных с технологическим процессом и геометрией). На рисунке (4) показана блок-схема модуля последовательности обработки элементов.

Суб-модуль выбора технологических процессов обработки

После построения последовательности обработки элементов следующим шагом является выбор подходящего технологического процесса для обработки каждого из них. Если элемент описан как формирующий в базе данных, система напрямую выбирает подходящий процесс для такого элемента, но если это составной элемент, в этом случае процесс будет частично удовлетворять требованиям и будет выбираться как процесс-кандидат для элемента, а неудовлетворенное требование будет определено как новый элемент, которой снова принимается в базу данных, и для его изготовления будет выбран соответствующий процесс. На рисунке (5) показана пошаговая последовательность модуля выбора процесса.

Суб-модуль выбора инструмента машинной обработки (станка)

Модуль выбора станка указывает определенную машину и альтернативы, отвечающие требуемым параметрам.

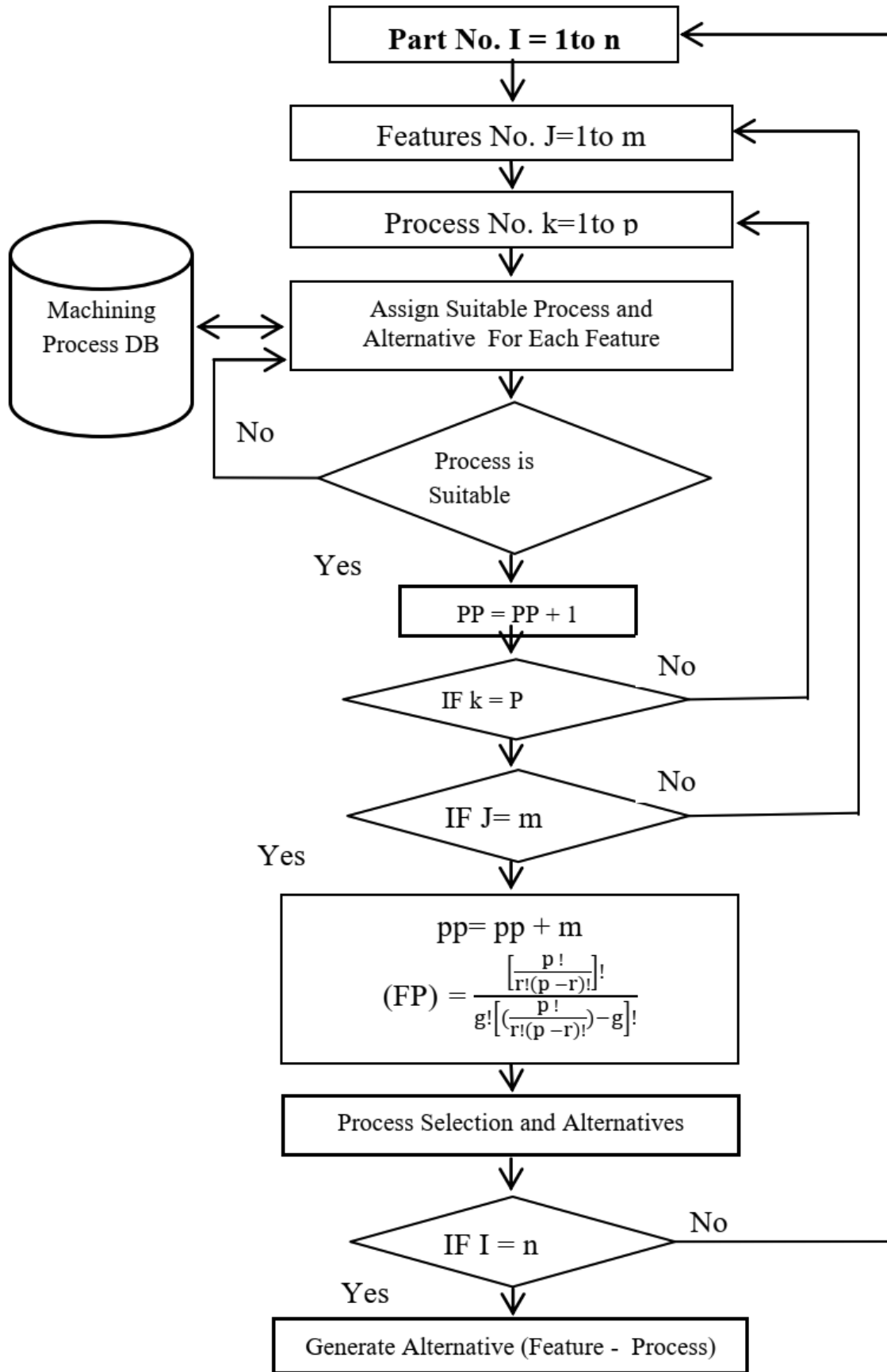


Figure (3): работающий механизм модуля проектирования изделий.

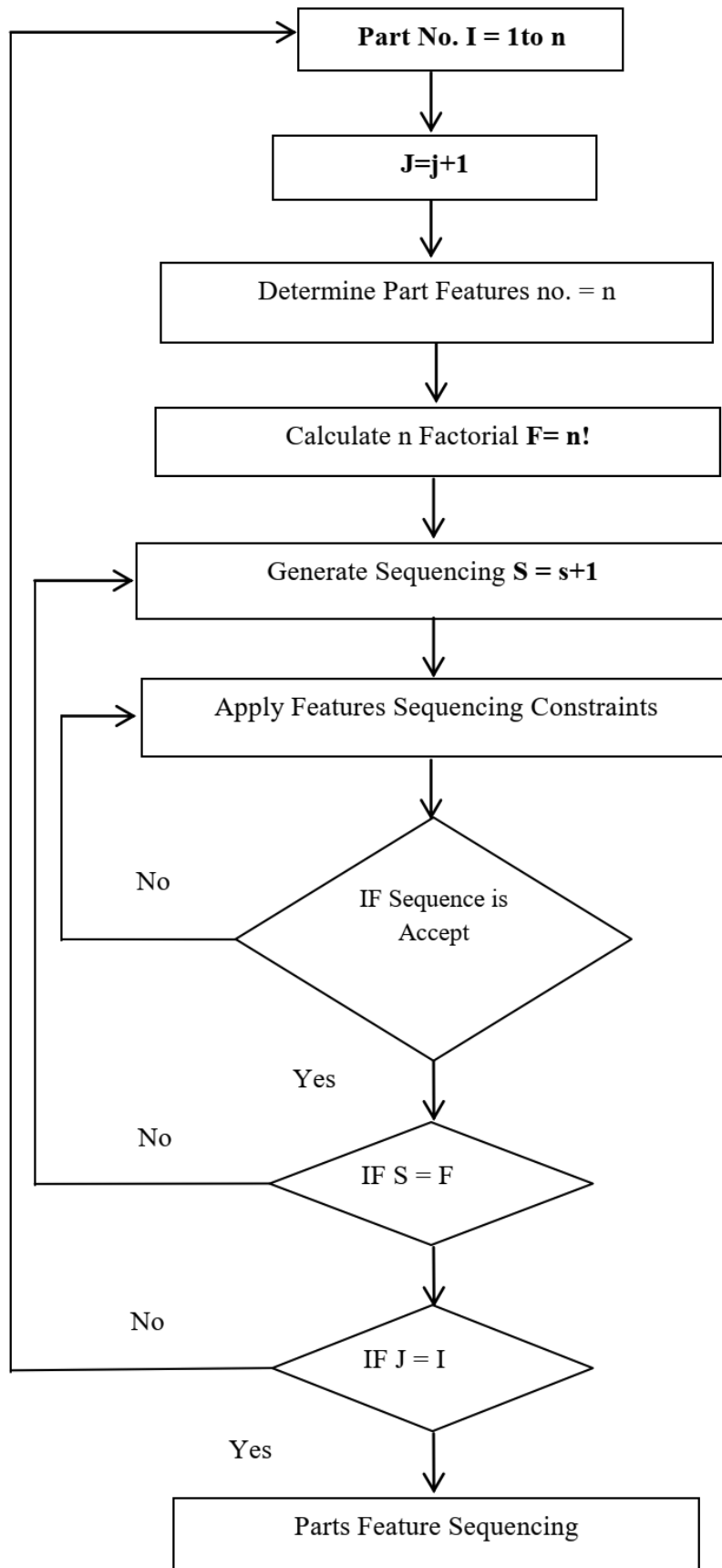


Figure (4): блок-схема суб-модуля построения последовательности машинной обработки

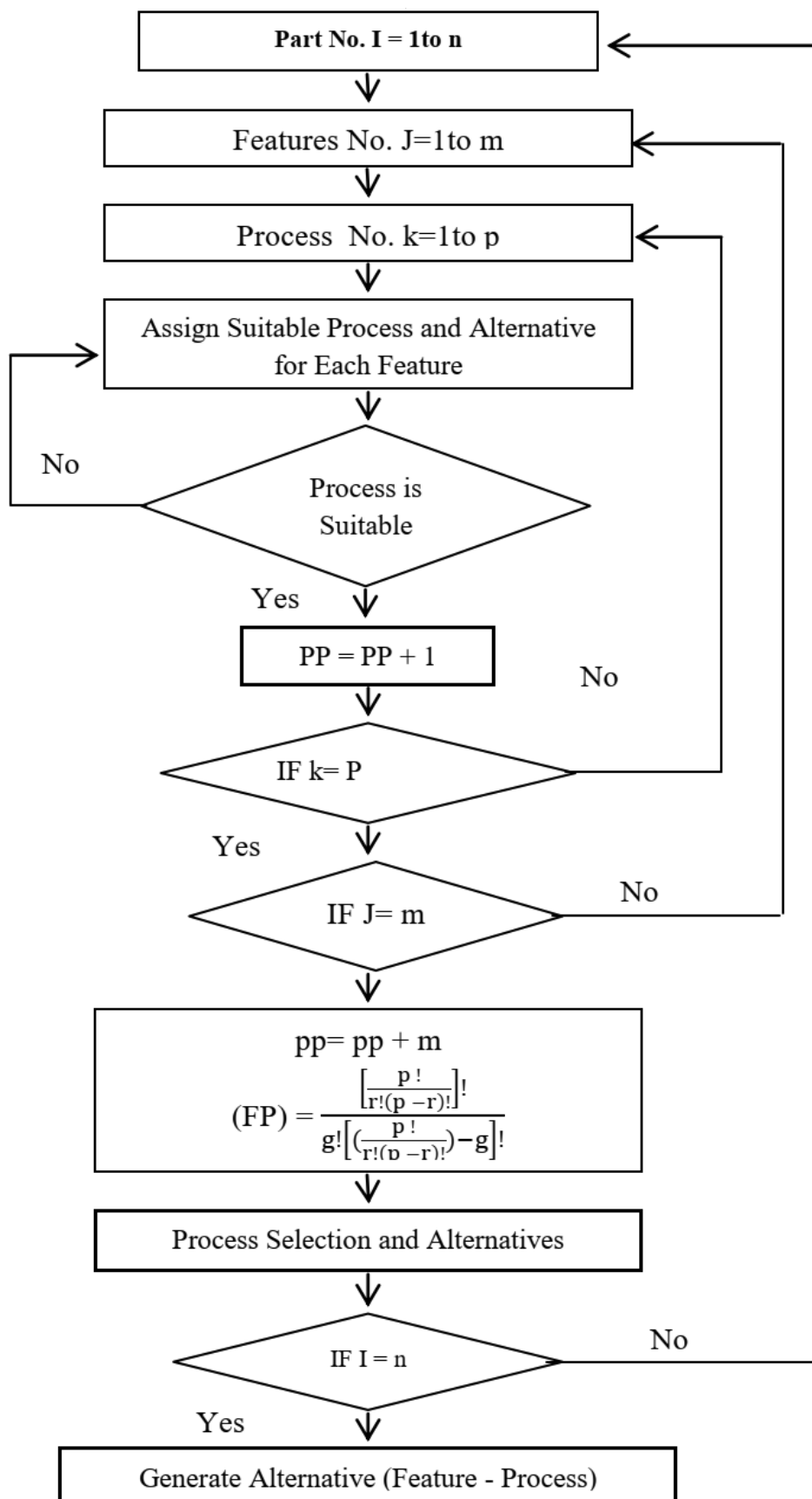


Figure (5): блок-схема суб-модуля обработки процессов

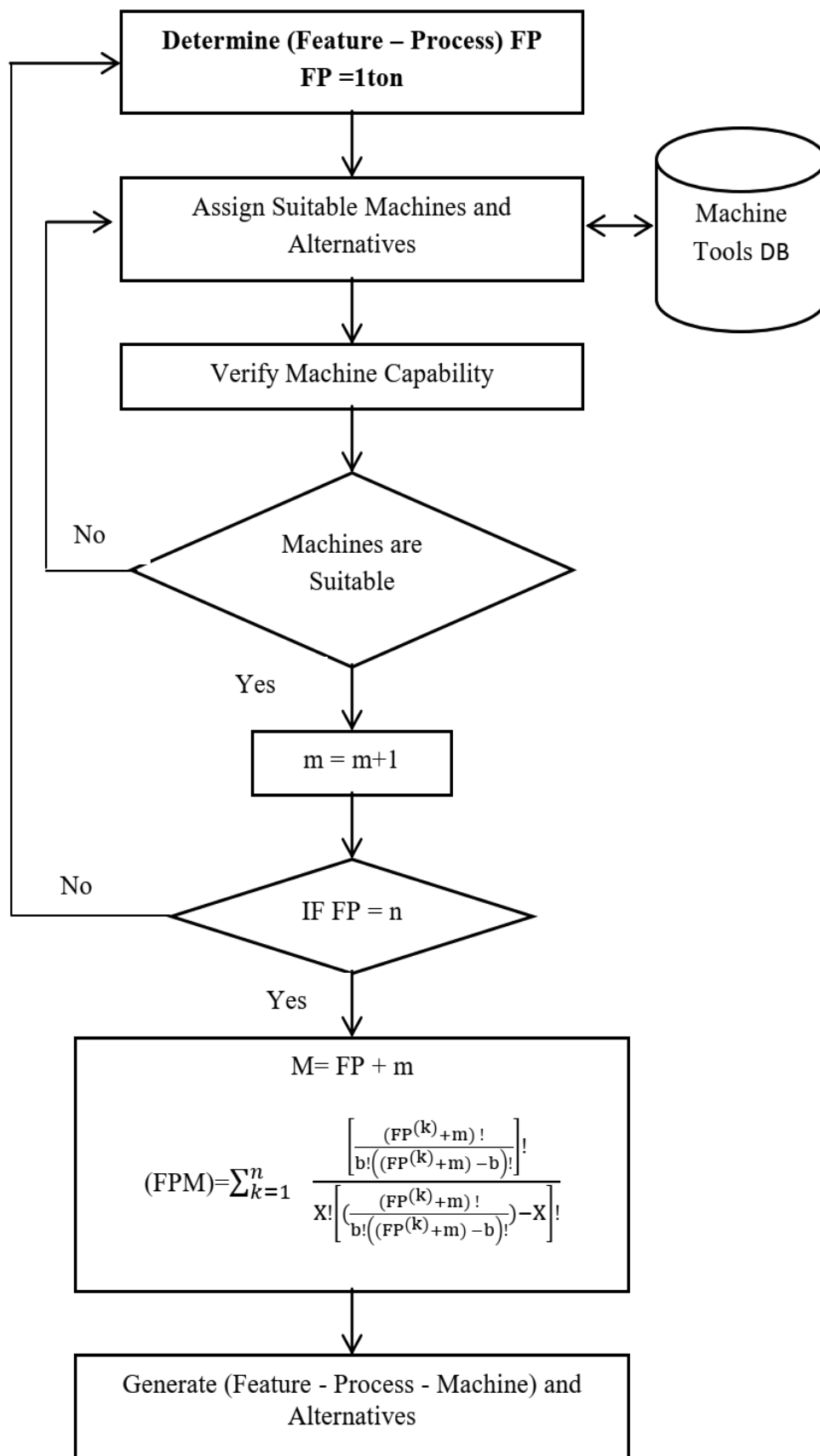


Figure (6): блок-схема суб-модуля выбора инструмента машинной обработки (станка)

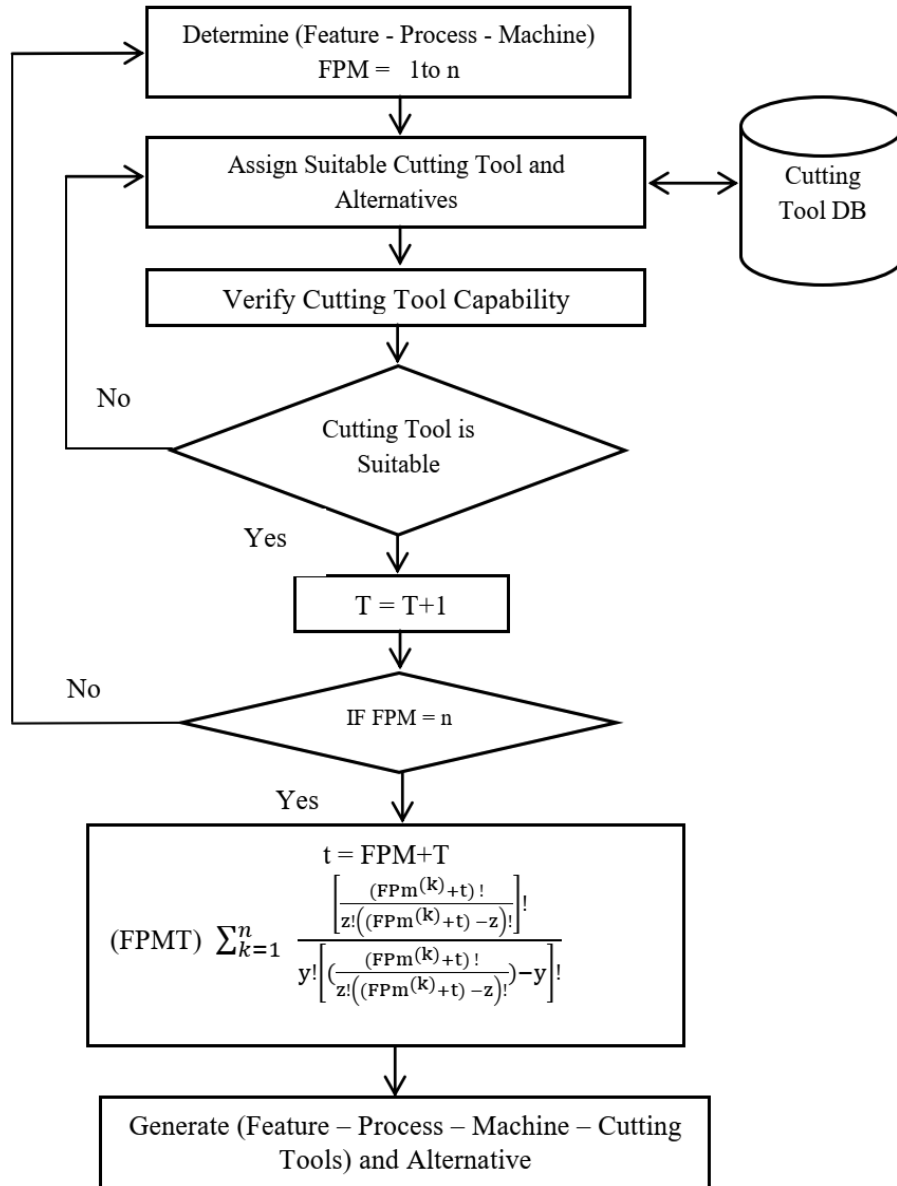


Figure (7): блок-схема суб-модуля выбора режущего инструмента

трам статусов (процессов обработки элемента изделия), выбранных в модуле выбора процесса. Наличие более чем одной машины для обеспечения одного и того же (процесса обработки элемента изделия) с одинаковой точностью считается важным моментом с точки зрения гибкости планирования процесса, поскольку это дает альтернативы при выборе станка. На рисунке (6) показана блок-схема модуля последовательности обработки в отношении конкретных элементов

Суб-модуль выбора режущего инструмента

Выбор режущего инструмента осуществляется согласно некоторой данной информации, в том числе о типе

процесса (сверление, фрезерование, шлифовка и т.п.), свойствах элемента, типах резки (непрерывный, прерывистый), особенностях машины (скорость резки, скорость подачи, размеры) и др., и на основе этой информации будут выбраны подходящие инструменты. На рисунке (7) показана блок-схема модуля выбора режущего инструмента.

Суб-модуль расчета времени обработки

В зависимости от альтернативных типов станков, режущих инструментов, процессов обработки, время обработки изменяется в соответствии с отличиями вышперечисленного, то есть увеличивается или уменьшается. На рисунке (8) показана блок-схема модуля расчета

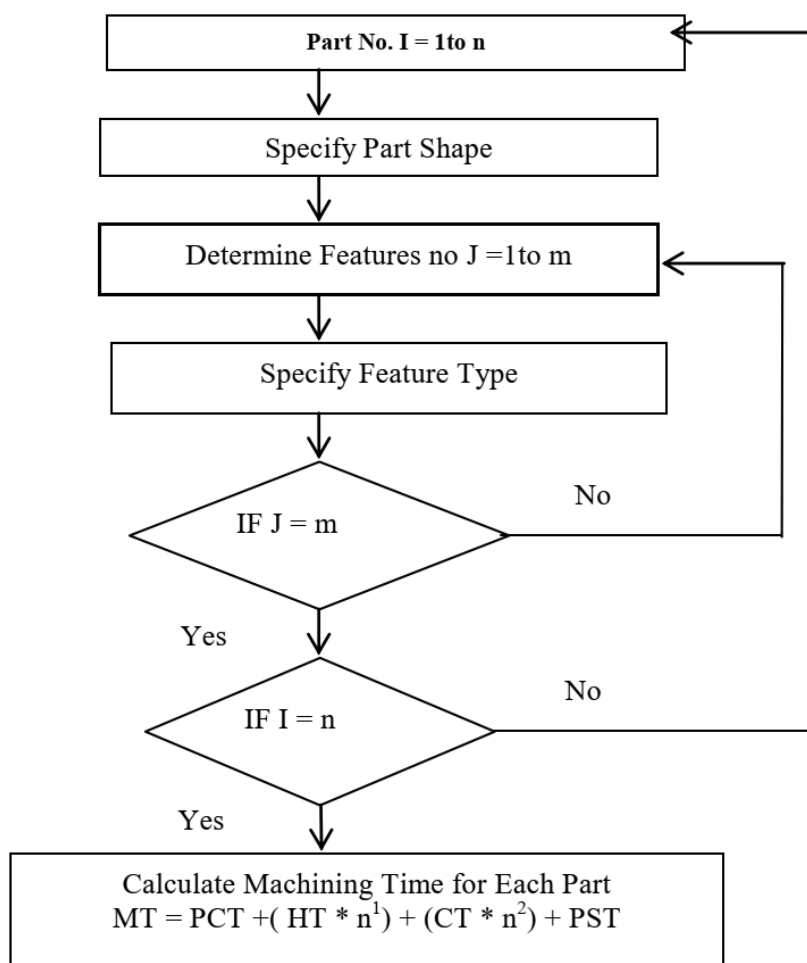


Figure (8): блок-схема суб-модуля расчета времени обработки

времени обработки. При наличии больше чем одного инструмента, при различных характеристиках (диаметр резца, количество зубцов, глубина резки) появляются возможности выбора разных инструментов.

Заключение

Предлагаемая методология генерации предназначена для реализации в соответствии с нелинейным подхо-

дом планирования процессов (НЛПП), который основан на статическом состоянии цеха (так называемых множественных или гибких планах процессов) для каждой детали перед ее поступлением в цех. Модуль планирования процесса разделен на пять подчиненных модулей, которые работают одновременно и в соответствии с модулем проектирования продукта, в соответствии с несколькими математическими моделями, следующим образом.

ЛИТЕРАТУРА

- Henriques E. "Towards The Integration of Process and Production Planning: an Optimisation Model for Cutting Parameters" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology VOL.28, PP.117–128, 2006.
- Золотарев А.А., Методы оптимизации распределительных процессов. М.: Инфра-Инженерия, 2014. с. 69–71.
- Firman R. Xu X. Guangyu L. A framework for machining optimisation based on STEP-NC[J]. International Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23: 423–441.
- X. Xu, P. Klemm, F. Proctoret S. H. Suh. STEP-compliant process planning and manufacturing[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2006, 19(6): 491–494.