

Вариативность структурных решений при проектировании технологических процессов механической обработки**77-30569/367809**

04, апрель 2012

Лазаренко Г. П., Лазаренко А. Г.

УДК 658.51

МГТУ им. Н.Э. Баумана

gplaz@mail.rugraff@newmail.ru

Технологическое проектирование является одним из тех видов инженерной деятельности, качество выполнения которой прямо влияет на рациональность производственных процесса и на добротность выпускаемой продукции.

Проектирование, как вид деятельности, направленной на создание новых интеллектуальных и материальных продуктов в условиях заданных ресурсных ограничений, регламентировано российскими и международными стандартами [1, 2, 4], в соответствии с которыми, процесс проектирования (Пр) должен иметь иерархическую структуру (1), сформированную из нормированного набора стадий (Ст), этапов (Эт), и работ (Рб).

$$(((P_{bw} | \forall w=[1,W]) \in \mathcal{E}_{Td} | \forall d=[1,D]) \in C_{Ts} | \forall s=[1,S]) \in \text{Пр}$$

Так, согласно стандартам ИСО, проектирование должно пройти (рис. 1) через восемь стадий, каждая из которых содержит пять этапов, а каждый из этапов складывается из выполнения восьми видов работ. При этом подразумевается, что полная совокупность проектных задач, решаемых в перечисленном множестве стадий, этапов и работ, охватывает полную совокупность всех аспектов проектной деятельности. Поэтому, рассматриваемая структура является универсальной и может быть распространена на различные виды проектирования, включая разработку технологических процессов и объектов. Причём, переход к решению каждой очередной проектной задачи предполагает наличие логически завершённого решения предшествующих проектных задач.



Рис. 1. Структурная модель проектного процесса.

Таким образом, процесс проектирования представляет собой упорядоченное множество дискретно-непрерывных логически связанных действий, в ходе которых происходит развитие проекта от первоначально нечётких исходных требований и ограничений к детально конкретизированным финальным проектным решениям.

В практике инженерного проектирования сложился достаточно устойчивый методический подход к решению проектных задач [3], который может быть обобщён деревом проектных решений в форме направленного *И-ИЛИ* графа *цель* → *задачи* → *методы* → *средства* → *результат* (рис. 2). В данном *И-ИЛИ* графе, вершины иерархических уровней *цель* и *задачи* связаны отношениями *И*, т.е. - достижение поставленной цели требует решения всех *задач*, на которые декомпозируется *цель*. Что касается уровней *задачи*, *методы*, *средства*, то они связаны отношениями *ИЛИ*, т.е. - решение каждой задачи может быть получено с применением одного из приемлемых для

данной задачи альтернативных методов с использованием одного из приемлемых для выбранного метода альтернативных средств.

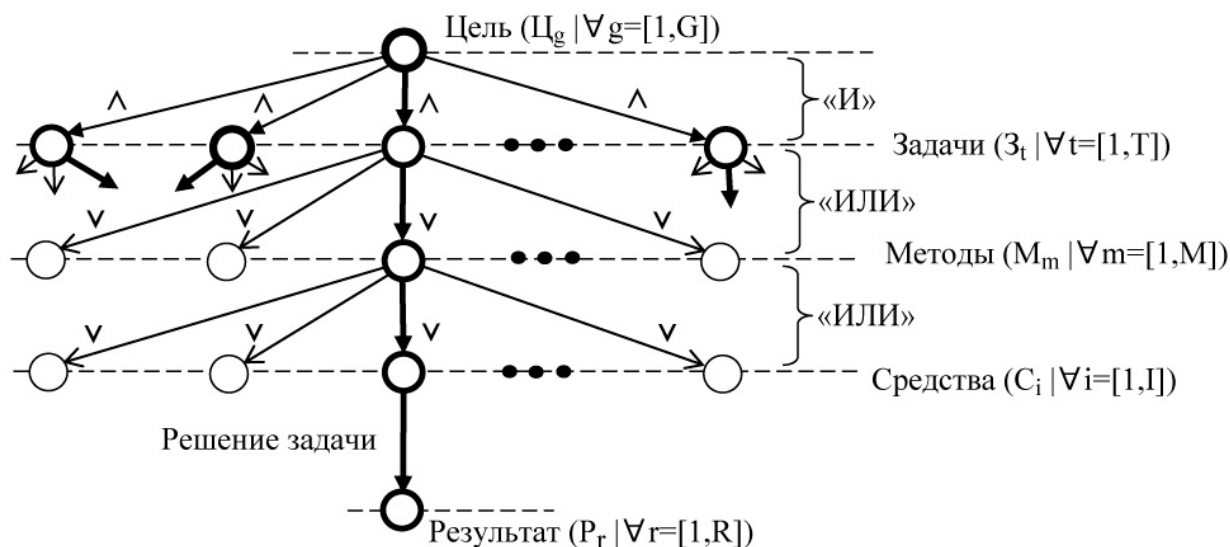


Рис. 2. Дерево проектных решений

Дерево проектных решений с его *ИЛИ*-таксономией кластеров *методы* и *средства* проецируется на общую структуру проектных стадий, этапов и работ, порождая вариативность проектных решений. К этому следует добавить возможность различных смысловых трактовок вершины *цель* дерева решений, при наличии которых область вариативности будет покрывать так же и уровень *задачи И-ИЛИ* графа. Таким образом, характер проектных процессов по своей сути является вариативным. Правильность данного весьма тривиального утверждения подтверждается практикой инженерного проектирования, которая показывает, что при решении проектных задач всегда возникает несколько вариантов решения. Очевидно, что данная активно контролируемая вариативность может успешно использоваться в качестве одного из инструментов достижения эффективных проектных решений.

Возможности вариативности, как проектного инструмента можно показать на примере формирования вариантов структуры функций и исполнительных средств производственно-технологического комплекса механообработки (ПТК_М), рассматриваемого на уровне «механический цех».

Заметим, что инженерное проектирование, это созидательный процесс, который обычно строится на известных апробированных решениях. Однако, каждый проект обязательно содержит в себе и элементы новизны. Таким образом, проектирование всегда рационально сочетает в себе два подхода –репродуктивный и креативный.

Ограничившись в нашем примере репродуктивным аспектом проектирования технологического процесса механической обработки (ТП_М) на стадии формирования структурных решений, выберем в качестве отправной точки базовый вариант структуры функций и исполнительных средств ТП_М базовую функциональную *IDEF0*-модель [7] (рис. 3). Эта модель включает шесть функций (подпроцессов ТП_М), поддерживаемых шестью механизмами (подсистемами ПТК_М).

В базовой структурной модели, ТП_М подпроцессы (ПП) представляют собой группы операций, объединённых по признаку однородности вида выполняемых работ. Исполнителями подпроцессов являются подсистемы (ПС) – группы единиц технологического оборудования (ТхОб), выполняющие работы в составе поддерживаемых ими подпроцессов (табл. 1).

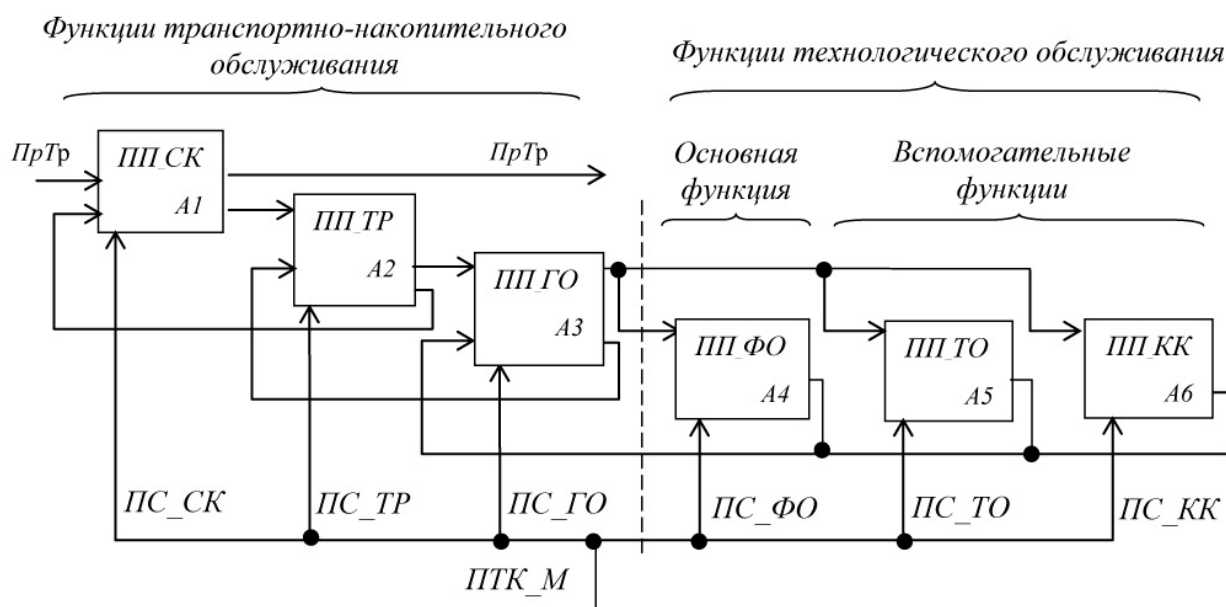


Рис. 3. Базовая функционально дифференцированная структура ТП_М

Аббревиатуры: ПрТр – предмет труда (заготовки, полуфабрикаты, детали). ПП – подпроцесс; ПС – подсистема. СК – складирование ПрТр; ТР – транспортирование ПрТр; ГО – грузообслуживание рабочих мест; ФО – формообразование ПрТр; ТО – технологическая очистка ПрТр; КК – контроль качества ПрТр.

Рассматриваемая модель содержит традиционный набор функционально дифференцированных подпроцессов, выполняющих работы по транспортно-накопительному и по технологическому обслуживанию предмета труда. Исполнительные подсистемы ПТК_М формируются из функционально дифференцированных видов ТхОб,

наделённых только теми специфическими функциональными возможностями, которые определены функцией назначения поддерживаемых ими подпроцессов.

Таблица 1.

Функции и исполнительные средства базовой функциональной структуры техпроцесса
механообработки

Функции	Исполнительные средства
ПП_СК	ПС_СК - Автоматизированный высотный стеллажный склад
ПП_ТР	ПС_ТР - Напольные транспортёры, транспортные роботы
ПП_ГО	ПС_ГО - Промежуточные накопители, и загрузочно-разгрузочные роботы, манипуляторы или специальные устройства,
ПП_ФО	ПС_ФО - Металлорежущие станки
ПП_ТО	ПС_ТО - Моечные машины
ПП_КК	ПС_КК - Координатно-измерительные машины

Рассматриваемая модель содержит традиционный набор функционально дифференцированных подпроцессов, выполняющих работы по транспортно-накопительному и по технологическому обслуживанию предмета труда. Исполнительные подсистемы ПТК_М формируются из функционально дифференцированных видов ТхОб, наделённых только теми специфическими функциональными возможностями, которые определены функцией назначения поддерживаемых ими подпроцессов.

Функционально дифференцированная структура ТП_М реализована [6] в большом количестве действующих ПТК_М и остаётся одной из часто выбираемых схем технологического процесса. В то же время, данная модель порождает семейство альтернативных конкурирующих проектных решений, основанных на интегрировании функций в масштабе одной единицы ТхОб. Интегрирование функций является одной из тенденций современного развития техники, суть которой - расширение базового функционального ресурса ТхОб за счёт присоединения к основной функции назначения технологического оборудования дополнительных родственных функций. Расширение базовых функциональных возможностей ТхОб дополнительными функциями является важным источником вариативности структурного решения ПТК_М [6, 8] (рис. 4, 5, табл. 2).

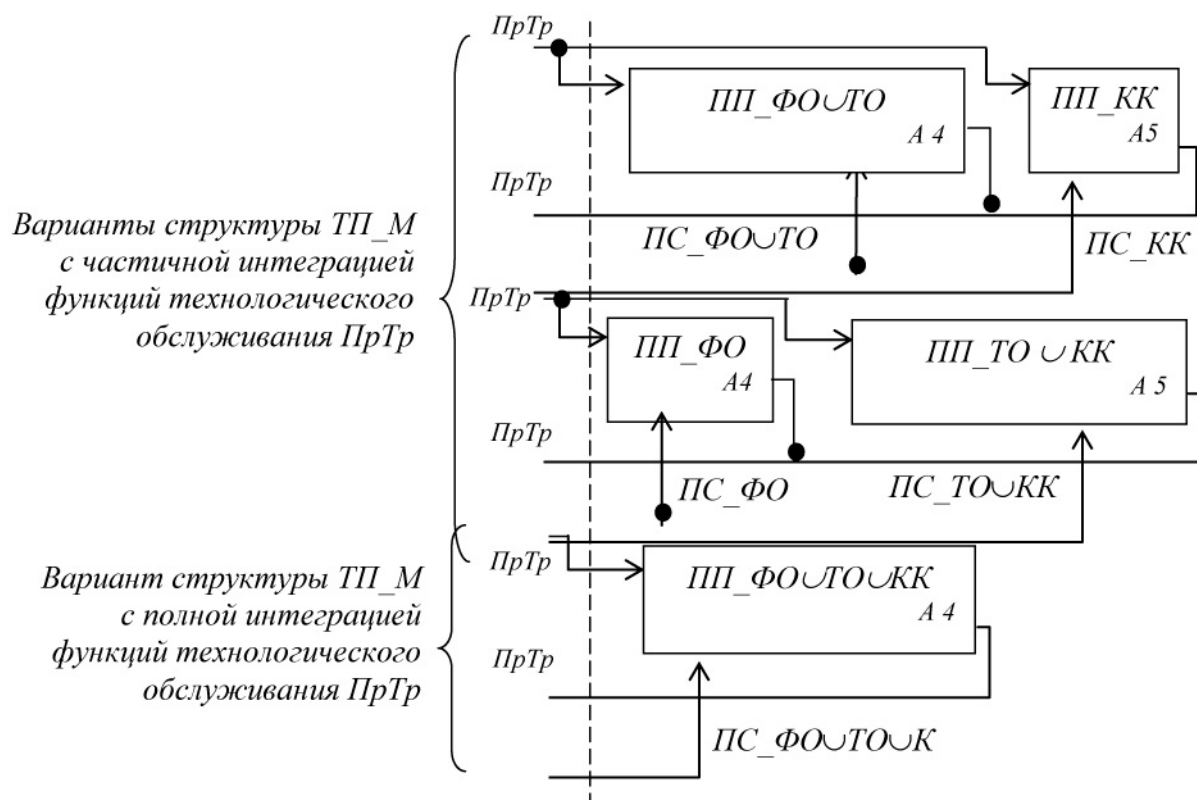


Рис. 4. Альтернативные варианты функциональной структуры ТП_М для группы функций технологического обслуживания ПрТр.

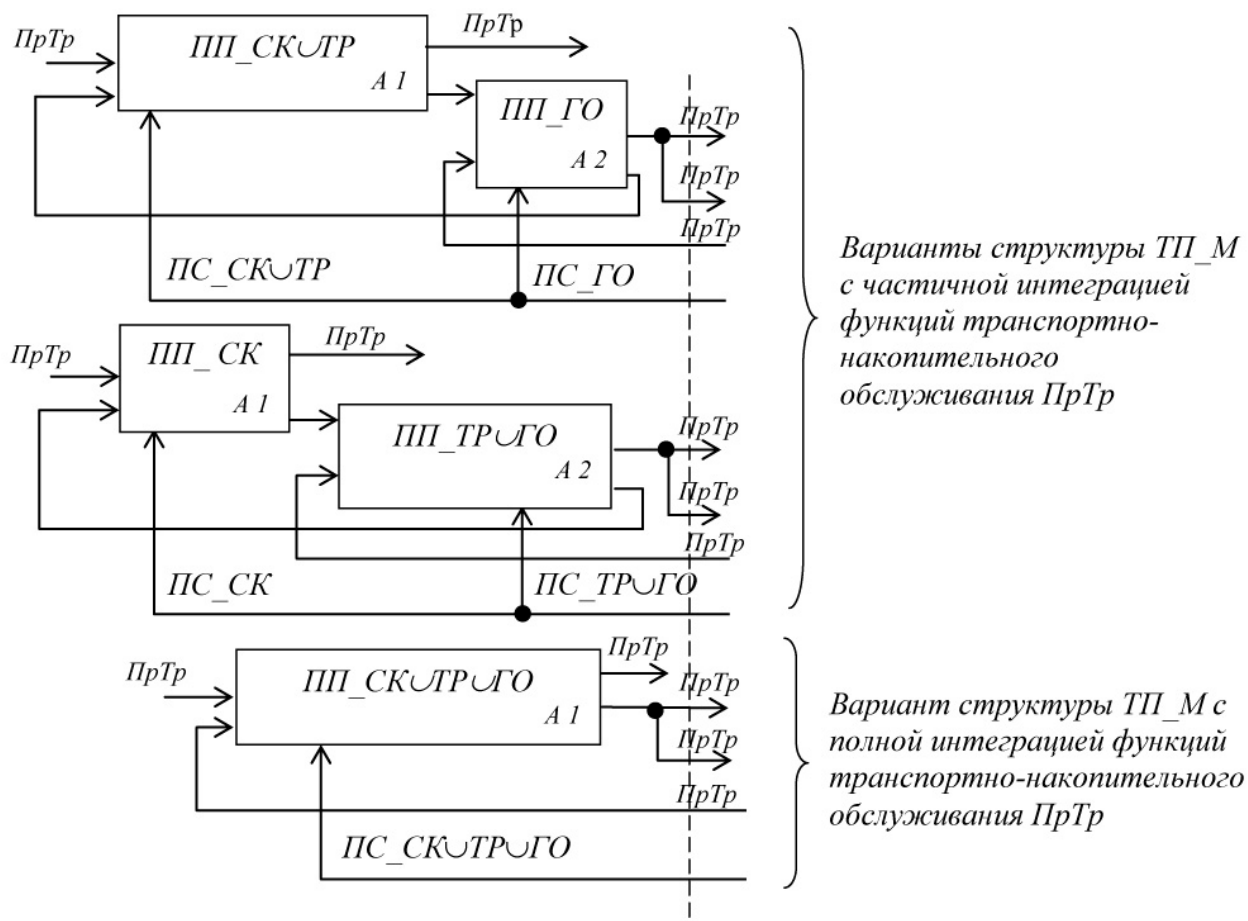


Рис. 5. Альтернативные варианты функциональной структуры ТП_М для группы функций транспортно-накопительного обслуживания ПрТр.

Таблица 2.

Примеры практической реализации интегрированных ПП в составе ТП_М

Интегрированные ПП	Варианты практической реализации интегрированных ПП
СК∪ТР	Транспортирование ПрТр складским штабелёром на трассе, продлённой за пределы склада в область ПС_ГО
ТР∪ГО	Грузообслуживание рабочих мест транспортными роботами
СК∪ТР∪ГО	Транспортирование ПрТр складским штабелёром на трассе, продлённой за пределы склада в область рабочих мест ПТК
ФО∪ТО	Мойка ПрТр струёй СОЖ и обдувка воздухом на рабочих местах ПС_ФО с использованием для этого программно управляемых технологических подвижностей станков с ЧПУ
ТО∪КК	Гипотетический вариант, реализаций не имеет

ФОТОУКК	Мойка ПрТр струёй СОЖ и обдув воздухом с последующим размерным контролем ПрТр на рабочих местах ПС_ФО, оснащённых станками гексоподного типа, которые имеют высокие точностные и динамические характеристики
СКУТРУГОУФОУТОУКК	Гипотетический вариант, реализаций не имеет

Таким образом, на платформе базовой функциональной структуры ТП_М (рис. 3, табл. 1) могут быть репродуктивно сгенерированы различные варианты интегрированных функциональных структур (рис. 4, табл. 2), что позволяет проектанту рассматривать и сравнивать до шестнадцати альтернатив функциональной структуры ТП_М (рис. 6).

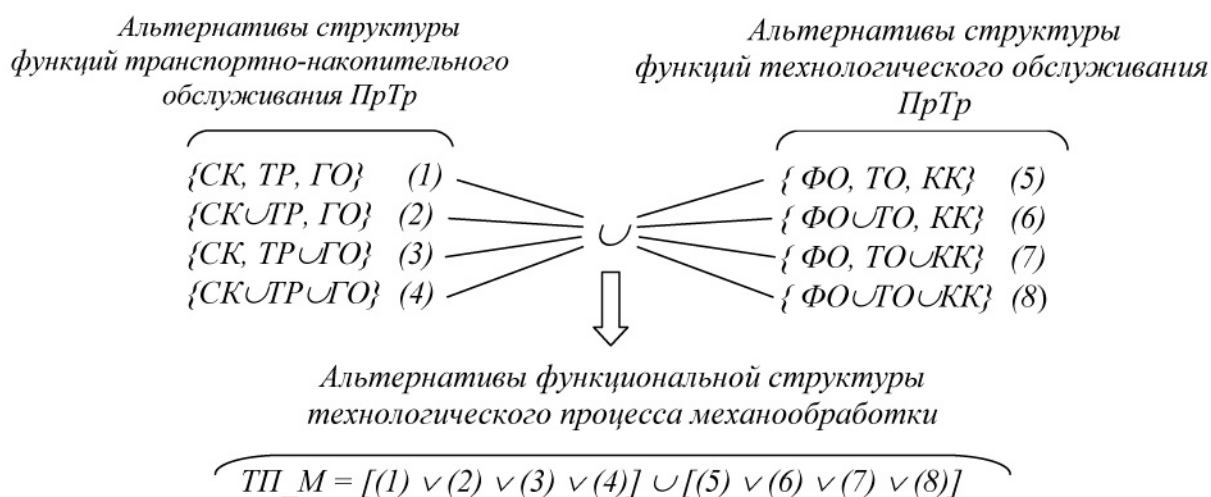


Рис. 6. Вариативность функциональной структуры технологического процесса механообработки.

Свойство вариативности проектных решений присуще всем уровням технологического проектирования. Так, если декомпозировать ПП_ФО до уровня методов механической обработки (рис. 7, табл. 3), то можно видеть, что базовый вариант функционально дифференцированной модели данного подпроцесса порождает несколько альтернативных функционально интегрированных вариантов.

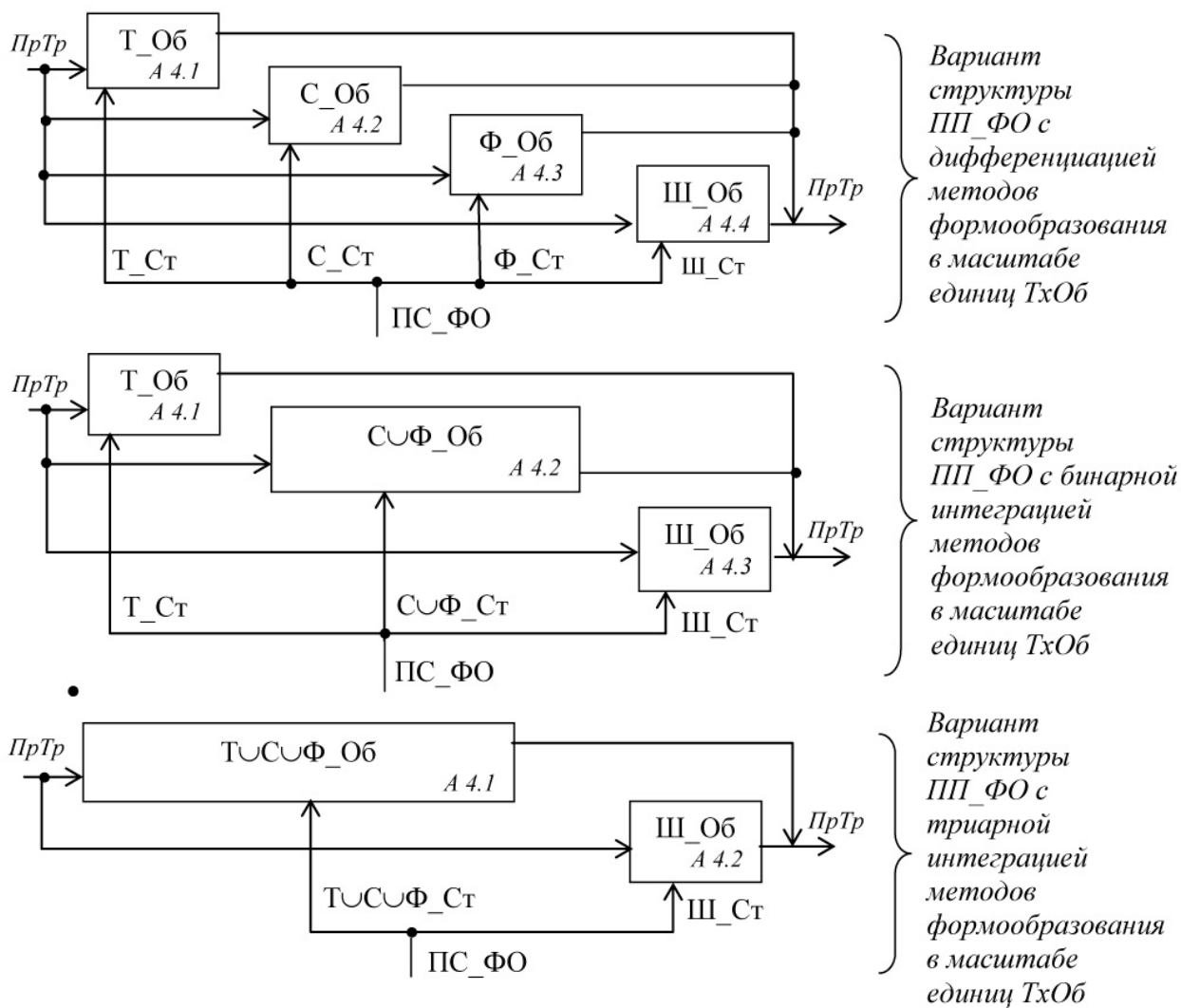


Рис. 7. Альтернативные варианты функциональной структуры ПП_ФО.

Аббревиатуры: Т_Об – токарная обработка; С_Об – сверлильная обработка; Ф_Об – фрезерная обработка; Ш_Об – шлифовальная обработка; C∪Ф_Об – бинарно интегрированная сверлильно-фрезерная обработка; T∪C∪Ф_Об – триарно интегрированная токарно-сверлильно-фрезерная обработка. Т_Ст – токарные станки; С_Ст – сверлильные станки; Ф_Ст – фрезерные станки; Ш_Ст – шлифовальные станки; C∪Ф_Ст – многоцелевые сверлильно-фрезерные станки; T∪C∪Ф_Ст – многоцелевые токарно-сверлильно-фрезерные станки.

Примеры практической реализации интегрированных методов в ПП_ФО

Интегрированные методы	Виды станков с интегрированными методами ФО
$C \cup \Phi_Об$	Многоцелевые станки сверлильно-фрезерной группы
$T \cup C \cup \Phi_Об$	Многоцелевые станки токарно- сверлильно-фрезерной группы
$T \cup C \cup \Phi \cup Ш_Об$	Гипотетический вариант, имеет только опытные реализации

Рассмотренные примеры показывают, что решение репродуктивных технологических проектных задач, связанных со структурной проработкой ТП_М, обладает оптимизационным потенциалом, реализация которого требует выполнения следующих процедур:

- генерирования набора альтернативных структурных решений с конкретизацией сгенерированных альтернатив применительно к исходным данным и ограничениям;
- оценивания качества каждой конкретизированной альтернативы;
- выбора предпочтительного варианта из множества сгенерированных и оцененных проектных альтернатив.

Очевидно, что такая постановка вопроса соответствует типовой процедуре принятия проектных решений (рис. 8).

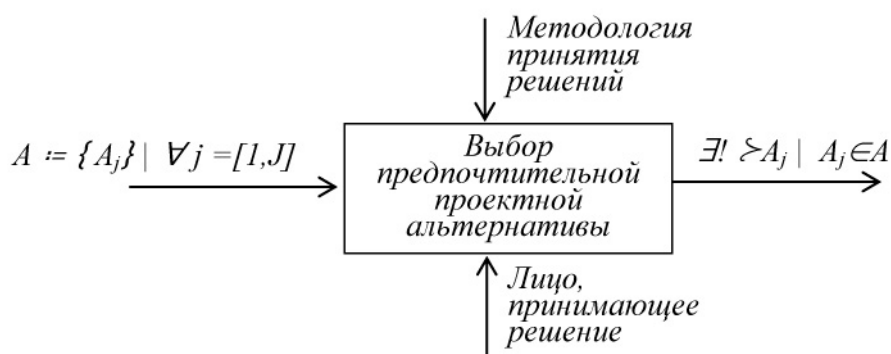


Рис. 8. Схема выбора предпочтительной проектной альтернативы.

Обозначения: A – множество рассматриваемых проектных альтернатив; A_j - текущая j -тая альтернатива множества A .

При этом, для генерирования набора альтернативных структурных решений проектной задачи, в качестве системного источника понятийных знаний могут выступать фасетные классификаторы. Фасетные классификаторы не только позволяют в компактном виде представить всё многообразие возможных альтернатив рассматриваемого объекта [4], но и позволяют выполнить

автоматизированную обработку содержащихся в классификаторе данных, решая задачу формализованного выбора предпочтительной альтернативы [5]. При отсутствии классификатора, как источника данных и знаний, для формирования проектных альтернатив, обычно применяются экспертные методы. Заметим, что при квалиметрии проектных альтернатив, показатели качества альтернатив могут иметь, как количественную, так и качественную природу. Поэтому, выбор предпочтительного варианта проектной альтернативы может опираться, как методы численного анализа, так и методы экспертного оценивания [9].

Обобщая результаты обсуждения затронутой в настоящей работе проблемы, можно сделать следующие выводы.

1. Технологическое проектирование, которое является в общем случае креативным процессом, всегда содержит в своём составе также и репродуктивную компоненту.
2. Креативные и репродуктивные компоненты проектирования вариативны по своей природе.
3. Свойство вариативности проявляется в возможности решения одной конкретной проектной задачи несколькими способами, из числа которых один из способов решения выбирается проектантом в качестве рабочей альтернативы.
4. Современные проектанты располагают методологиями, предназначенными, как для системного генерирования и описания альтернативного множества вариантов разрабатываемого проектного решения, так и для обоснованного выбора предпочтительной альтернативы из сгенерированного множества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
2. ГОСТ 34.201-89. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Вид, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.
3. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 376 с.
4. ГОСТ Р ИСО 10006 – 2005. Система менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании. – М.: Медиа сервис, 2010. – 19 с.
5. Лазаренко Г.П. О формализации проектирования производственных систем на этапе разработки концепций // Известия вузов. Машиностроение – 2007. - № 1, - С. 16-20.
6. Лищинский Л.Ю. Гибкие производственные системы Японии – М.: Машиностроение, 1987. – 257 с.
7. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT. - Москва: МетаТехнология, 1993.- 240.

8. Меткин Н.П., Лапин М.С., Клейменов С.А., Критский В.М. Гибкие производственные системы. - М.: Изд-во стандартов, 1989. – 311 с.
9. Орлов А.И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений. – М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2005. – 496 с.

Multi-variance of structural solutions for development of technological process of machine processing

77-30569/367809

04, April 2012

Lazarenro G.P., Lazarenko A., G.

Bauman Moscow State Technical University

gplaz@mail.ru

graff@newmail.ru

The article refers to the common question of project process multi-variance that can be used in efficient problem solving. The authors consider one of the approaches to multi-variant project solution generation during the development of technological processes of machine processing at the phase of creating the functional structure and operational instruments. It was shown that methodology of the decision-making theory can be used as a means of formally informed choice of the preferred alternative from a set of generated solutions.

Publications with keywords: [technological process](#), [project process](#), [multivariate](#), [machine processing](#), [alternative](#)

Publications with words: [technological process](#), [project process](#), [multivariate](#), [machine processing](#), [alternative](#)

References

1. State Standard 14.004-83. Moscow, Standartinform, 2008. 7 p.
2. State Standard 34.201-89. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2002. 11 p.
3. Evgenev G.B. *Sistemologiya inzhenernykh znaniy* [Systemology of engineering knowledge]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2001. 376 p.
4. State Standard of RF ISO 10006 – 2005. Moscow, Media servis, 2010. 19 p.
5. Lazarenko G.P. O formalizatsii proektirovaniia proizvodstvennykh sistem na etape razrabotki kontseptsii [On the formalization of the design of production systems at the design stage of concepts]. *Izvestiia vuzov. Ser. Mashinostroenie*, 2007, no. 1, pp. 16-20.
6. Lishchinskii L.Iu. *Gibkie proizvodstvennye sistemy Iaponii* [Flexible manufacturing system of Japan]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 257 p.
7. Marca D., McGowan C. *SADT: Structured Analysis and Design Technique*, New York, McGraw-Hill, 1987. 392 p. (Russ. Ed.: Marka D., MakGouen K. *Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniia SADT*. Moscow, MetaTekhnologiya, 1993. 240 p.).

8. Metkin N.P., Lapin M.S., Kleimenov S.A., Kritskii V.M. *Gibkie proizvodstvennye sistemy* [Flexible Manufacturing Systems]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1989. 311 p.
9. Orlov A.I. *Priniatie reshenii. Teoriia i metody razrabotki upravlencheskikh reshenii* [Decision-making. Theory and methods of development managerial decisions]. Moscow, MarT, 2005. 496 p.