

# Система автоматизированной оценки проектных решений при проектировании многономенклатурных технологических процессов механообработки

*И.А. Разманов,  
асп. каф. ТМС, ivraz@inbox.ru,  
С.Г. Митин,  
проф. каф. АУМ, д.т.н., ser\_gen@inbox.ru,  
П.Ю. Бочкарёв,  
проф. каф. ТММ, д.т.н., bpy@mail.ru,  
СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов*

Приводится структура системы автоматизированной оценки проектных решений в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих производств. Дается описание модели для определения рациональных уровней отсева в каждой проектной процедуре с помощью генетического алгоритма. Предлагается методика формирования обобщенной статистически обработанной номенклатуры деталей для проведения экспериментальных исследований.

The structure of the design solutions assessment automated system of within the framework of the computer-aided process planning system in the conditions of multi-product machining industries is given. A description of the model is given to determine the rational dropout rates in each design procedure using a genetic algorithm. A method of forming a generalized statistically processed nomenclature of parts for experimental studies is proposed.

## Введение

Исследование научной литературы в области методологии проектирования технологических процессов (ТП) механообработки и анализ возможностей существующих систем автоматизированного проектирования ТП (САПР ТП) показали, что на данный момент недостаточно проработаны вопросы, связанные с оценкой эффективности проектных решений и их влияния на последующие этапы технологической подготовки производства (ТПП). Так, например, в существующих САПР ТП имеется возможность выбора и сравнения нескольких вариантов маршрутов ТП из базы данных аналогов ТП или вариантов технологического оборудования. Однако их сравнительный анализ ограничен опытом конкретного технолога и заданными сроками ТПП. Главная трудность заключается в том, что оценка на ранних стадиях подготовки производства неизбежно проводится в условиях недостатка информации, например при разработке маршрутного технологического процесса еще не приняты решения по структуре операции, не подобран инструмент, не рассчитаны режимы обработки, но уже необходимо рассчитать себестоимость изготовления по различным вариантам маршрута, чтобы выбрать лучший из них. В результате на ранних стадиях ТПП могут быть приняты решения, которые впоследствии не позволят максимально эффективно использовать возможности производственной системы.

В связи с этим актуальной задачей является создание системы показателей для автоматизированной оценки уровней проектных решений, направленной на сокращение сроков и повышение эффективности ТПП в многономенклатурных производственных системах. Для ее решения необходимо определить набор показателей оценки эффективности проектных решений, сформировать модели и методики для определения рациональных значений каждого показателя и разработать программно-алгоритмическое обеспечение для оценки работоспособности и эффективности полученной системы.

В работах [1, 2, 3] дается описание системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП) и принципов создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства. Методология САПлТП обладает рядом преимуществ и особенностей, направленных на устранение недостатков, существующих САПР ТП:

- параллельное проектирование для всей заданной номенклатуры изготавливаемых деталей, обеспечивающее учёт и взаимное влияние конструкторско-технологических параметров деталей на эффективность ТПП;
- максимальная автоматизация проектирования, сокращающая сроки ТПП;
- многовариантные решения, позволяющие уменьшить простои оборудования и рационально организовать производственный процесс;
- связь между проектированием и реализацией ТП, дающая возможность оперативной корректировки ТП в случае изменения производственной ситуации.

В ходе работ по созданию автоматизированной подсистемы проектирования технологических операций [3, 4, 5, 6] разработана её структурная модель, в которой определены входные и выходные данные, внешние факторы, влияющие на процесс проектирования, информационные взаимодействия с другими элементами и подсистемами САПлТП. В работе [7] обобщён состав проектных процедур САПлТП, каждая из которых состоит из слоёв генерации возможных, отсева нерациональных и выбора рациональных вариантов решений. В результате при изменении производственной ситуации появляется возможность выбора из уже сгенерированного множества вариантов проектных решений таких, которые являются более рациональными в новых условиях производства.

Таким образом, в работе [8] сделан вывод о том, что целесообразно использовать методологию САПлТП для создания системы автоматизированной оценки проектных решений, поскольку в САПлТП имеется возможность получить многовариантные решения задач проектирования для каждой проектной процедуры и оценить эффективность каждого варианта в максимально автоматизированном режиме.

## 1. Принципы создания системы автоматизированной оценки проектных решений в САПлТП

Главными преимуществами САПлТП являются параллельное многовариантное проектирование ТП для всей заданной номенклатуры деталей и наличие связи между проектированием и реализацией ТП, дающие возможность оперативной корректировки ТП при изменении производственной ситуации. Все проектные процедуры в САПлТП взаимосвязаны (рис. 1), поэтому необходимо определить для каждой из них, как и насколько влияет то или иное решение на дальнейшую эффективность подготовки производства и изготовления изделий. Наибольший интерес представляют процедуры отсева нерациональных вариантов проектных решений. На настоящий момент решения на слоях отсева принимаются по средним значениям показателей, рассчитанных в соответствии с определёнными в каждой проектной процедуре критериями. При этом не учитывается влияние на ранних этапах проектирования на последующие проектные процедуры и имеется вероятность отсева вариантов решений, которые впоследствии могли бы существенно повысить эффективность ТПП.

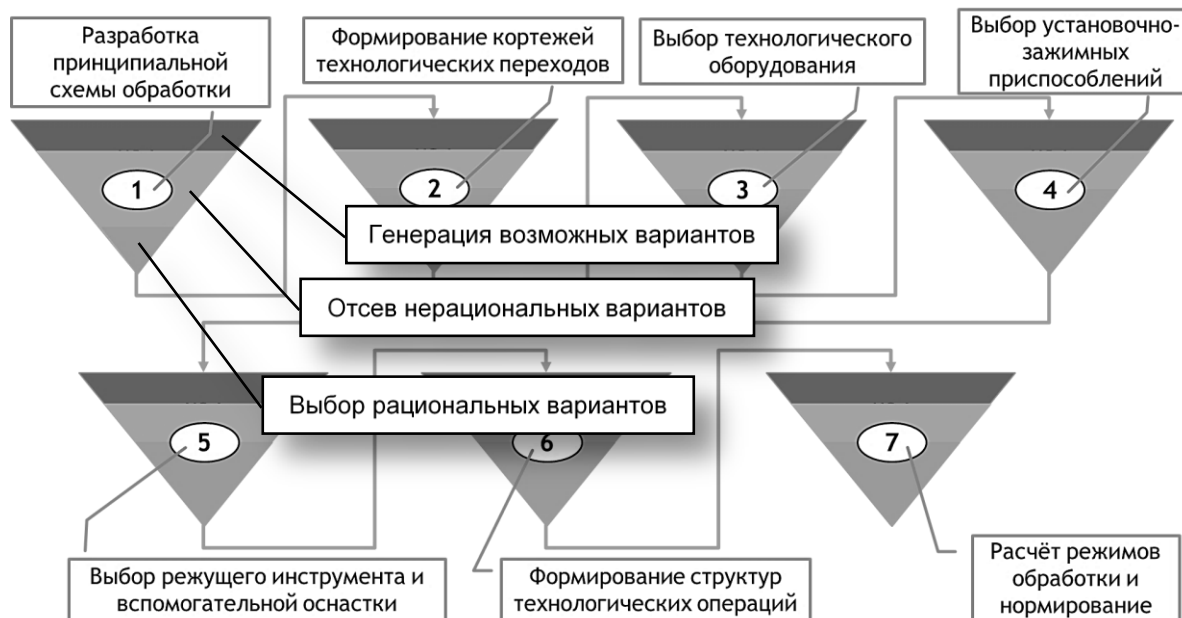


рис. 1. Структура проектных процедур в САПлТП

Таким образом, создание системы автоматизированной оценки проектных решений в рамках САПлТП осуществляется путём решения задач, направленных на устранение указанных недостатков:

- определение роли (значимости) проектной процедуры;
- определение уровней отсева для каждой проектной процедуры.

Для определения значимости проектной процедуры необходимо произвести моделирование работы подсистемы проектирования технологических процессов, варьируя уровни отсева в каждой проектной процедуре и оценивая изменения по интегрированному показателю эффективности проектных решений. В качестве такого показателя в САПлТП обосновано суммарное время обработки заданной номенклатуры деталей.

По результатам моделирования автоматически определяются уровни отсева в каждой проектной процедуре. То есть уровень отсева фиксируется на значении, выше которого изменения интегрированного показателя несущественны.

Таким образом, для более значимых проектных процедур выбирается менее жёсткий уровень отсева с целью сохранения большего количества альтернативных вариантов для более тщательного анализа на слоях выбора рациональных вариантов, что позволяет сформировать наиболее прогрессивные ТП для складывающейся производственной ситуации.

## 2. Разработка оптимизационной модели для автоматизированной оценки проектных решений

В САПлТП проектные процедуры взаимосвязаны и выполняются в последовательности, указанной на рис. 1. Для определения значимости проектных процедур и рациональных уровней отсева в каждой процедуре необходимо провести полный перебор значений показателей отсева в каждой проектной процедуре. Из-за большого количества сгенерированных вариантов оценить все комбинации не позволяют ограничения по срокам проектирования.

В современной научной литературе, в том числе связанной с технологическим проектированием, для решения подобных задач применяются генетические алгоритмы. Этот аппарат позволяет решить задачу оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации параметров подобно естественному отбору.

Нами предлагается оптимизационная модель с использованием генетического алгоритма для определения значимости проектных процедур и рациональных уровней отсева в каждой из них, графическое представление которой показано на рис. 2.

Для обоснования критерия оптимизации проведён анализ процесса принятия решений в проектных процедурах САПлТП. В процедурах генерации возможных вариантов характерны качественные критерии принятия решений, когда необходимо сформировать варианты, удовлетворяющие исходным данным. В процедурах отсева нерациональных вариантов и выбора рациональных вариантов преобладают количественные критерии, большинство из которых прямо или косвенно связаны с временем непосредственно механической обработки или временем реализации технологической операции. Следовательно, в качестве критерия оптимизации целесообразно использовать интегрированный показатель оценки эффективности проектных решений, который отражает суммарное время обработки за-

данной номенклатуры деталей. Таким образом, целью работы генетического алгоритма является минимизация суммарного времени обработки заданной номенклатуры деталей.

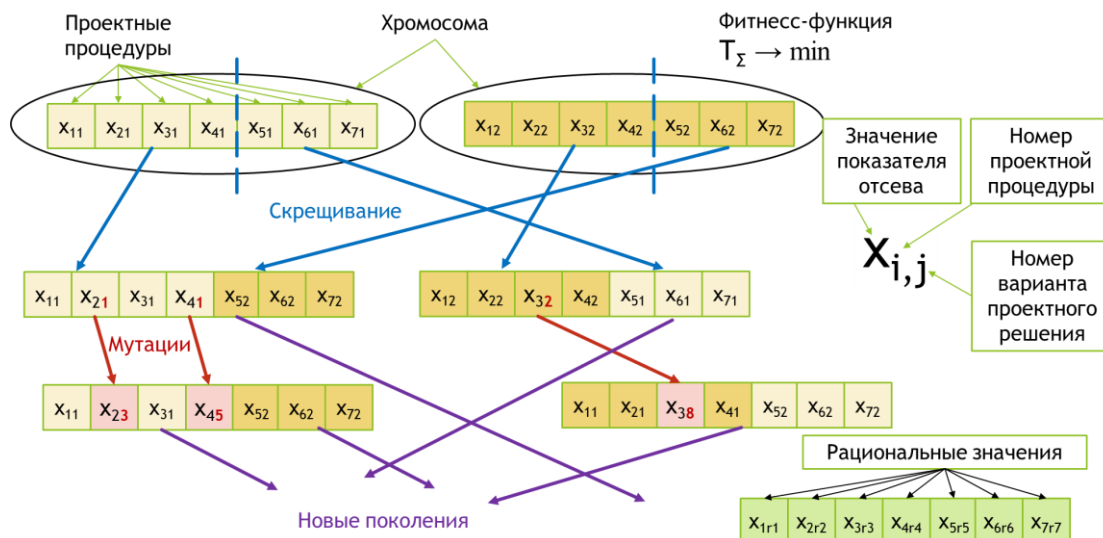


рис. 2 Структурная модель генетического алгоритма для определения рациональных уровней отсева

Для нашей задачи исходная популяция формируется из случайных наборов значений показателей отсева в каждой проектной процедуре. После запуска механизмов скрещивания и мутаций определяются искомые рациональные значения показателей отсева, комбинация которых даёт минимальное суммарное время обработки заданной номенклатуры деталей.

Однако ввиду значительного объёма сгенерированных вариантов работа генетического алгоритма может занять продолжительное время, поэтому необходимо сократить число вариантов перебора с целью подбора параметров генетического алгоритма, таких, как количество особей в исходной популяции, количество шагов (поколений), расположение разделителя (кросс-овера), варианты мутаций. Для этого предлагается сформировать обобщённую статистически обработанную номенклатуру деталей, для которой и произвести моделирование работы системы проектирования.

### 3. Формирование обобщённой статистически обработанной номенклатуры деталей

В развитие принципов унификации и типизации, заложенных в работах А.П. Соколовского, С.П. Митрофанова, Б.М. Базрова, предлагается подход для формирования обобщённой статистически обработанной номенклатуры деталей с использованием кластерного анализа. Это даёт возможность значительно сократить время проектирования за счёт выбора рациональных параметров генетического алгоритма.

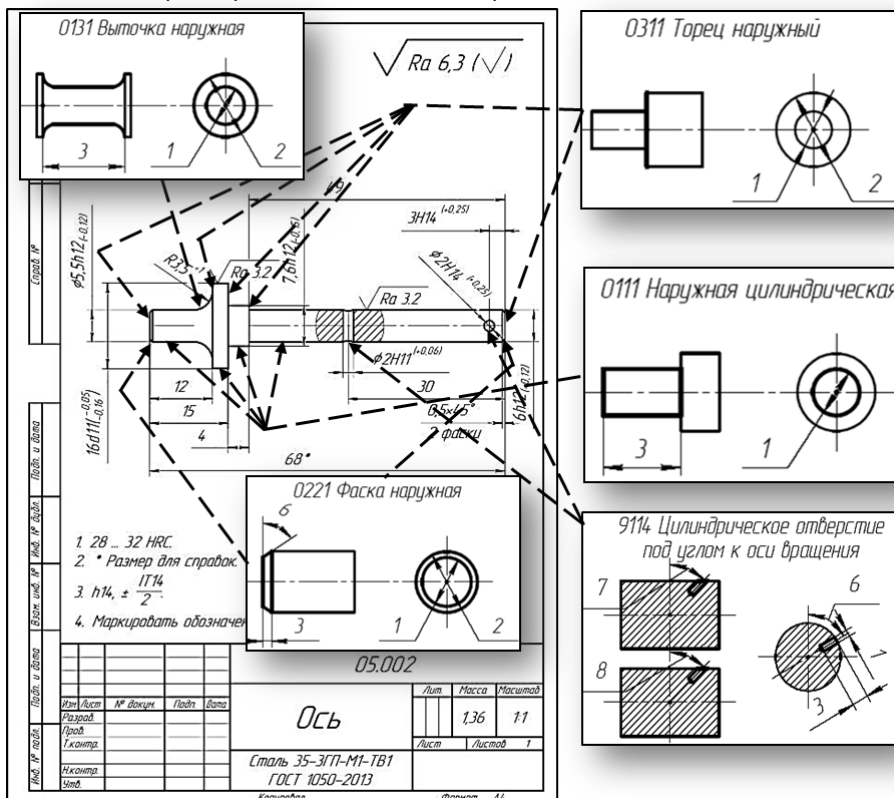


рис. 3 Разделение обрабатываемой детали на элементарные поверхности

**Исходная таблица для формирования обобщённой номенклатуры  
деталей с помощью кластерного анализа**

Детали	Элементарные поверхности												
	0111	0121	0221	0211	0311	0543	0131	0411	0521	0542	0512	9114	...
1. Ось 05.002.001	4	0	2	0	5	0	1	0	0	0	0	1	...
2. Ось 100.00.00.008	2	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	...
3. Втулка 05.027	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	...
4. Гайка 05.045.01	2	0	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	...
5. Заглушка 05.064	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	...
6. Вал 06.067	4	0	2	0	6	1	0	0	0	0	1	0	...
7. Крышка 06.047	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	...
8. Крышка 06.065.02	2	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

### Заключение

В результате проведённых исследований дано научное обоснование метода решения проектной задачи, связанной с совершенствованием технологической подготовки многономенклатурного механообрабатывающего производства, на основе применения математического аппарата генетических алгоритмов и кластерного анализа для определения значимости каждой проектной процедуры и обоснования степени детализации при рассмотрении альтернативных вариантов на слоях отсева в системе автоматизированного планирования технологических процессов. Это даёт возможность повысить эффективность ТПП и сократить себестоимость выпускаемой продукции.

### Литература

1. Митин С.Г. Инновационные аспекты автоматизации проектирования операций механической обработки в многономенклатурном производстве / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Инновационная деятельность. - 2013. №4 (27). - С.36-41.
2. Митин С.Г. Принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. - 2015.- № 2-2 (32-2).- С. 117-122.
3. Митин С.Г. Проектирование операций со сложной структурой в многономенклатурных механообрабатывающих системах: монография / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв; Саратов. гос. техн. ун-т.- Саратов: СГТУ, 2016.-108 с.
4. Митин, С.Г. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Автоматизация в промышленности. - 2018.- № 2.- С. 45-51.
5. Митин С.Г. Автоматизация проектных процедур разработки технологических операций со сложной структурой / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2016). Труды XVI-ой международной молодёжной конференции 17-19 октября 2016 г. Под ред. А.В. Толока. М.: ООО «Аналитик», 2016.– С.372-376.
6. Митин С.Г. Метод проектирования технологических операций со сложной структурой в многономенклатурных системах механообработки / С.Г. Митин, И.А. Разманов, П.Ю. Бочкарёв // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева.- 2017.- № 1 (40).- С. 254-259.
7. Митин С.Г. Формирование состава проектных процедур при синтезе технологических операций со сложной структурой / С.Г. Митин, И.А. Разманов, П.Ю. Бочкарёв // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - 2017.- № 5 (242).- С. 33-39.
8. Разманов И.А. Повышение эффективности технологической подготовки производства на основе разработки системы показателей для автоматизированной оценки уровня проектных решений / И.А. Разманов, С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Известия Волгоградского государственного технического университета.- 2017.- № 9 (204).- С. 132-134.