

УДК 658.512

## ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**И.В. Фокин<sup>1</sup>**

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведен типовой метод решения технологических нерасчетных задач, путем составления математического множества, согласно теории типовых решений. Метод основан на формулировании совокупности необходимых критериев применимости и последующем составлении математического неравенства. Такое изображение процесса технологического проектирования показывает путь для формализации самого процесса принятия решений, ведь для этого достаточно описать каким-либо образом весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть применено каждое из них. Полученные данные позволят свести процесс выбора к проверке соответствия исходных данных к критериям применимости представленных решений, при полном соответствии всех условий совокупности принимают соответствующее типовое решение.

*Ключевые слова: автоматизация, технологический процесс, технологическое проектирование, формообразование, производство, формализация.*

### PRINCIPLES OF DECISION-MAKING PROCESS AUTOMATION FOR TECHNICAL PROCESS

**I. Fokin**

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russia.

The article presents a typical off-design method for solving technological problems by compiling mathematical sets according to the theory of standard solutions. The method is based on the formulation of aggregate of required eligibility criteria and the subsequent drawing up of mathematical inequalities. Such a description of the technological design process shows the way for the formalization of the decision-making process; it is enough to describe in any way the whole set of standard solutions, as well as the conditions under which each of them can be applied. The data obtained will allow to bring the selection process to verification of correspondence of the original data to the criteria of applicability of the presented solutions, while meeting all the conditions aggregates take the appropriate standard solution.

*Keywords: automation, technological process, process design, shaping, production, formalization*

Технический и технологический прогрессы в значительной степени определяют развитие страны. Повышение эффективности производства можно достичь при использовании автоматизации. Автоматизация развивается одновременно с автоматизацией производства и автоматизацией управления. Автоматизация производства получается путем создания автоматизированных и автоматических комплексов машин, а автоматизация управления – путем получения автоматизированных и автоматических комплексов управления на различных этапах производства [11, 18, 20].

При автоматизации производства необходимо использовать не только существующие технологии, но и использовать новые высокоэффективные технологии, в основе которых лежат последние достижения науки и техники. Передовые разработки помогут обеспечить высокопроизводительное производство, что будет способствовать большему экономическому эффекту. При развитии автоматизации производства как правило и происходит внедрение новой техники [1].

Основой автоматизации производства являются технологические процессы (ТП), которые должны обеспечивать высокую производительность, надежность, качество и эффективность изготовления изделий. Технологическое проектирование по своей сути есть последовательное принятие решений в процессе решения задач при создании того или иного объекта, его основной особенностью является многовариантность проектных решений. Вся суть его заключается в индивидуальном решении каждой задачи, кроме решения задачи расчетного характера, а в остальных случаях решения принимаются на основе уже имеющихся типовых решений с учетом известных условий. Такое представление технологического проектирования дает возможность

---

<sup>1</sup>Фокин Игорь Владимирович, аспирант кафедры Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: nikofrogi777@mail.ru

Fokin Igor, a Graduate Student of Aircraft Construction and Aircraft Operation Department, e-mail: nikofrogi777@mail.ru

формализации принятия решений. Для осуществления этого, достаточно описать весь набор решений и при каких условиях выбирается то или иное решение. Тем самым весь процесс выбора условия сводится к его соответствию исходных данных к критериям применимости уже имеющихся представленных решений. Более широкая группа технологических задач представлена именно нерасчетными задачами (выбор заготовки, состав баз, технологическая оснастка, последовательность выполнения технологических операций в ТП и отдельных переходов, тип и модель используемого оборудования, режимы обработки и обрабатывающий инструмент) [2–4].

Для представления выше описанного принципа решения нерасчетных задач, сначала необходимо составить набор представленных решений (НПР). Представим, что на предприятии имеются три прессы для штамповки листовых деталей трех видов, они и представят нам данное множество [8, 22]:

$$\text{НПР} = \{ \text{XYZ 3030}; \text{XYZ 0609}; \text{XYZ 0404} \} \quad (1)$$

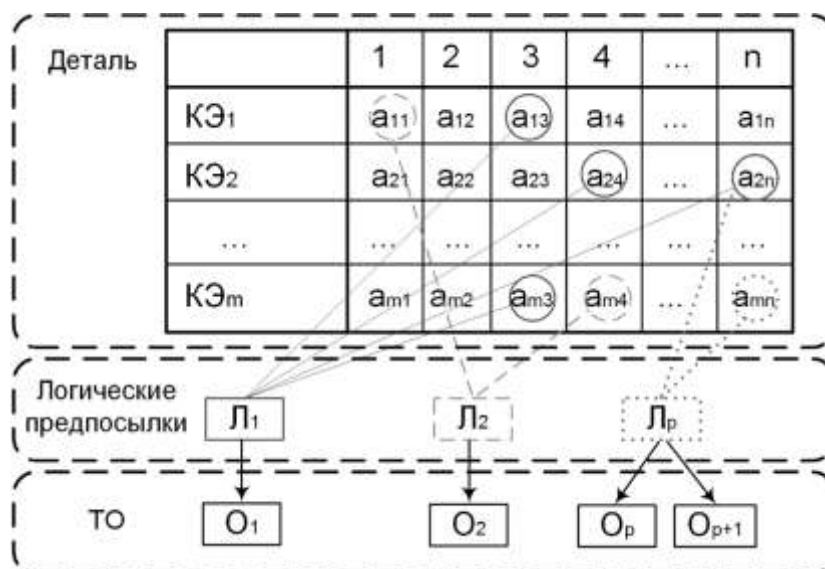
При традиционных методах разработки технологического процесса осуществляется путем ввода информации с чертежа или другой информации в диалоговом режиме, что выполняется технологом и является весьма трудоемким процессом [1, 17, 19]. Эта задача значительно усложняется при разработке технологического процесса новых изделий, особенно таких сложных изделий, как узлы и агрегаты планера самолета.

При неавтоматизированной подготовке производства технологические процессы разрабатываются непосредственно в виде комплектов технологической документации. При использовании автоматизированных систем технологической подготовки производства (ТПП) создаваемые описания технологических процессов размещаются в компьютерной базе данных, а соответствующая документация становится лишь отображением внутреннего представления ТП во внешнюю сферу. Хранящиеся в базе данных ТП являются основным источником информации для решения задач автоматизированного управления технологической подготовкой производства [5-7].

Основной принцип разработки технологического процесса – назначение технологических операций (ТО), оборудования, материалов, инструмента, исполнителей на основе опыта технолога или выбором необходимых данных из соответствующих справочников.

Выбор оптимальных операций является многовариантной задачей. Для выбора ТО необходимо знать маршрут изготовления изделия, схему его базирования, какие конструктивные элементы и с какой точностью изготовлены предшествующих операциях. На построение маршрута оказывает влияние ряд факторов: конструкция изделия (размер, масса и др.); технические условия на его изготовление (допуски на размеры и взаимное расположение конструктивных элементов); тип изделия; программа выпуска; модели применяемого оборудования; конструкция оснастки и др.

Исходными данными для разработки ТП изделия являются компьютерная модель изделия (КЭМ, например созданная в системе NX), в данной работе рассматривается не весь КЭМ детали, а его образ (рис. 1) [10, 24, 25].



**Рис. 1. Образ детали**

Процесс проектирования с позиций теории познания можно отнести к распознаванию объекта в пространстве всего имеющегося множества объектов. В этом случае распознается не то, что

существует, а то, что должно существовать для удовлетворения определенных целей. Процесс распознавания развертывается среди факторов будущего непосредственного и косвенного окружения ТП. В такой постановке основными компонентами проектирования выступают [9, 13, 14, 16]:

$C = \{c_i, i = \overrightarrow{1, n}\}$  – множество целей разработки ТП;

$P = \{p_i, i = \overrightarrow{1, m}\}$  – множество параметров ТП;

$X = \{x_i, i = \overrightarrow{1, k}\}$  – множество вариантов технологического решения;

$V = \{v_i, i = \overrightarrow{1, l}\}$  – множество технологических решений ТП.

Компоненты разработки взаимосвязаны. Между множеством целей и множеством параметров, а также между множеством параметров и множеством вариантов технологического решения существует соответствие. Если для выбрано некоторое подмножество  $C_c$  множества  $C$ , то на основе композиции соответствий в множестве  $X$  определяется некоторое подмножество  $X_c$ , составляющее образ множества  $C_c$ . Отображение  $X_c$  на множество оценок дает возможность отыскать рациональный вариант технологического решения, наилучшим образом отвечающий выбранным целям проектирования.

Процедурно процесс разработки ТП можно представить в виде модели, изображенной на рис. 2.

Сплошными стрелками обозначены прямые переходы к последующим процедурам, пунктирными – обратные, возникающие в случае неудачи при выполнении процедуры.

Технологический модуль представляет собой набор из следующих элементов:

- баз данных (БД) – совокупность фактов, рассортированных по принадлежности к разным типам объектов технологического проектирования ( типовые изделия, оборудование, инструмент, технологическая оснастка и др.);

- баз знаний (БЗ) – совокупность правил, составленных на основе опытов экспертов (технологов) в рассматриваемой области решаемых задач и использующих параметры из БД,

- модуль принятия решения – технологический модуль, используемый БД, БЗ и предлагаемый решения по заданной функции для целевого изделия (образа объекта) [13, 23].

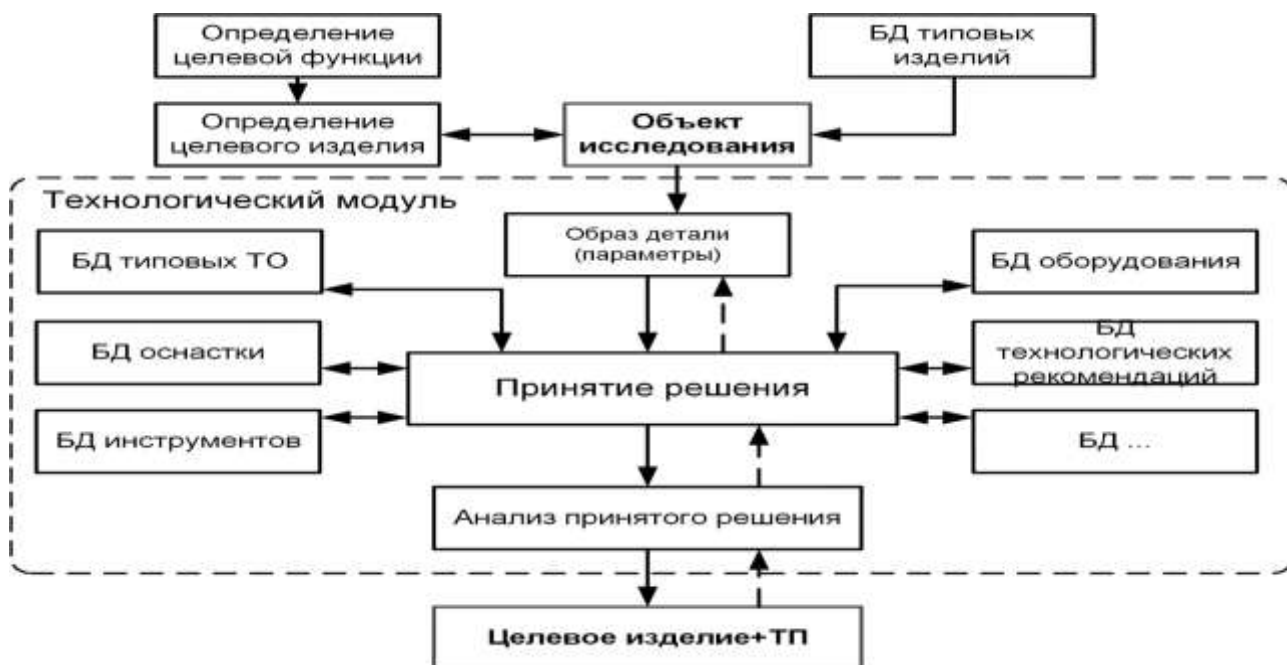


Рис. 2. Принципиальная модель разработки ТП изделия

Выбор функций связан с определением некоторого подмножества  $C_c$  множества функций  $C$  исходя из требований к будущему объекту, диктуемых потребностью в ТП и факторами его

окружения. Примерами функций могут быть: «методы изготовления», «последовательность изготовления»; «точность» и др.

Поиск вариантов технологического решения проводится с учетом требуемых параметров ТП, а принятие решения означает оценку вариантов и выбор из них того, который в наилучшей степени отвечает потребностям функциям. Анализ принятого решения проводится для более углубленного изучения выбранного варианта.

На концептуальном уровне изделие представляет собой матрицу вида [12, 15, 26]:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix},$$

где  $a_{mn}$  –  $n$ -й значащий параметр  $m$ -ой КЭ.

Логические предпосылки представляют собой линейный массив вида

$$L = \bar{L}_1; L_2; \dots L_p,$$

где  $L_p$  – предпосылка для принятия решения при выборе операции ТП.

Следовательно, операции в технологическом процессе можно представить в виде  $O = A \cap L$ , а весь технологический процесс – в виде линейного массива  $T = O_1; O_2; \dots O_p$ , который можно ранжировать с учетом иерархии операций технологического процесса.

Следовательно, формирование технологического процесса изготовления осуществляется постепенно, в зависимости от состава действительно определенных параметров у рассматриваемых элементов деталей в момент распознавания образа.

При формировании образа изделия в нем может быть учтено:

- тип изделия;
- точность изготовления;
- методы изготовления КЭ в детали и др.

Сформулируем необходимую совокупность критериев для применимости теории типовых решений сказанной выше. Наиболее рациональными критериями применимости того или иного пресса в данном случае будет возможность размещения заготовки в рабочей зоне пресса и возможность создания необходимого усилия и мощность пресса для выполнения необходимых операций. Первая группа условий относится к габаритным размерам начальной заготовки и конечного изделия (длина  $D$ , ширина  $Ш$ , высота  $B$ ), габаритные размеры стола и ползуна пресса должны давать возможность установки и закрепления штампов и подачу заготовки. Вторая группа определяет возможность выполнения прессом данного типа необходимой нам операции по формообразованию детали, а именно – в случае перегрузки пресса по допусжаемому усилию и мощности, возможна деформация вала, затормаживание и резкое падение частоты вращения маховика, вызывающее недопустимое скольжение электродвигателя, перегрев обмотки и нарушение изоляции. В результате этих пагубных воздействий пресс выйдет из строя[5].

Математически условия выбора станка будут иметь двойное неравенство. Следовательно, совокупность критериев применимости (СКП) в рассматриваемой задаче может быть представлена в виде системы из известных типовых решений с учетом совокупности условий.

Такое изображение процесса технологического проектирования показывает путь для формализации самого процесса принятия решений. Для этого достаточно описать каким-либо образом весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть применено каждое из них. Теперь процесс выбора сведется к проверке соответствия исходных данных к критериям применимости представленных решений; при выполнении всех условий совокупности принимают соответствующее типовое решение.

$$\text{СКП} = \begin{matrix} D_{\min} \leq D \leq D_{\max} \\ Ш_{\min} \leq Ш \leq Ш_{\max} \\ B_{\min} \leq B \leq B_{\max} \\ Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max} \end{matrix} \quad (2)$$

Набор параметров, регламентированных совокупностью критериев применимости, сочетание параметров применимости; в данном случае СПП = { $D$ ,  $Ш$ ,  $B$ ,  $Y$ }.

Сочетание параметров применимости является главным определяющим объектом при алгоритмизации задачи нерасчетного характера. Именно он определяет полноту учета всех

влияющих факторов, в соответствии с ним формируются исходные данные задачи, характеристики типовых решений.

В соответствии с СКП для нашего набора исходных данных (параметров изделия) из трех рассматриваемых принимается то решение, которое удовлетворяет неравенствам совокупности критериев применимости [12, 17, 18, 21].

$$U_d = \{D_d, Ш_d, В_d, Y_d\}, \quad (3)$$

Решение этой задачи осуществляется на основе сведений о типе операции, методах сборки, выбранной схеме базирования и габаритных размерах собираемого изделия. При этом в первую очередь анализируется возможность применения наиболее производительных типов оборудования.

### **Заключение**

В данной работе предложена принципиальная модель разработки ТП изделия авиационной техники на основе образа изделия, ассоциативно связанного с моделью в системе NX. При формировании маршрута изготовления решают задачи выбора ТО, определения последовательности изготовления КЭ, а также выбора технологического оборудования. Для решения этих задач анализируется структура трехмерной модели детали, взаимосвязи между всеми КЭ с учетом всех технологических особенностей конструкции (данные из PDM системы) и строится информационный образ изделия. Данный образ позволяет разрабатывать эскизный ТП (маршрут изготовления) на этапе моделирования и увязки CAD модели в системе NX.

Стремление автоматизировать начальные стадии проектирования приводит к разработке систем поддержки принятия решений, способных формировать технологические решения на уровне квалифицированного конструктора/технолога, работающего в рассматриваемой предметной области.

Рассмотренная совокупность критериев применимости имеет простейшую структуру — совокупность независимых неравенств. Условия применимости могут быть описаны любыми соотношениями параметров (не только неравенствами), а сами параметры применимости могут оказаться взаимозависимыми. В этом случае условия применимости будут иметь более сложный вид.

К преимуществам автоматизации в заготовительном штамповочном производстве, можно отнести – более высокая производительность и экономное использование материала, при полной автоматизации коэффициент использования числа ходов практически приближается к 100%, самое большое преимущество заключается в полной безопасности работы, так как отпадают ручные операции в зоне штампа. Несмотря на совершенство и известность применяемой технологии автоматизации, существуют определенные риски. В первую очередь, это усложнение производственной системы. Внедрение новых элементов может негативно сказаться на надежности оборудования. Также потребуются достаточно крупные капиталовложения и встает вопрос о целесообразности этого шага. К тому же необходимо производить переобучение персонала. Но, несмотря на это, указанные недостатки не оказывают видимого влияния на производство в целом. Их воздействие можно минимизировать, создав эффективную систему контроля над производством.

### **Библиографический список**

1. Akhatov R., Govorkov A., Zhilyaev A. Software solution designing of «The analysis system of workability of industrial product» during the production startup of aeronautical products // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10, № 21. С. 42560–42562.
2. Govorkov A.S. Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies. 2011. Т. 5, № 3. С. 156–161.
3. Govorkov A.S., Zhilyaev A.S. The estimation technique of the airframe design for manufacturability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Т. 124, № 1. С. 012014.
4. Ахатов Р.Х., Говорков А.С., Жилыев А.С. Разработка и внедрение программного комплекса "Система анализа технологичности конструкции изделий" при запуске в производство изделий // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития. Статьи и тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции. 2014. С. 13–14.
5. Ахатов Р.Х., Говорков А.С. Современные методы и средства монтажа сборочной оснастки: учебн. пособие. Иркутск: Изд -во ИрГТУ, 2011. 78 с.

6. Ахатов Р.Х., Говорков А.С., Жилиев А.С. Разработка и внедрение программного комплекса «система анализа технологичности конструкции изделий» при запуске в производство изделий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1-5. С. 1279–1283.
7. Ахатов Р.Х., Лаврентьева М.В. Распознавание конструктивно-технологического состава изделия по его электронной модели // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 8. С. 8–14.
8. Жилиев А.С., Говорков А.С. Формирование информационной модели изделия АТ в ПК «Система анализа ТКИ» // Фундаментальные проблемы технических наук: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. Отв. ред. А.А. Сукиасян. 2014. С. 56–58.
9. Говорков А.С. Методика количественной оценки технологичности конструкции изделий авиационной техники // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20, № 1. С. 31–37.
10. Говорков А.С., Ахатов Р.Х. Представление данных об объектах производственной среды при разработке технологических процессов сборки // Решетневские чтения. 2009. Т. 2, № 13. С. 411–412.
11. Говорков А.С. Параметры объектов производственной системы при проектировании технологического процесса сборки. Наука. Промышленность. Оборона // Труды XI Всерос. науч.-техн. конф. 2010. С. 123–127.
12. Говорков А.С. Обеспечение технологичности конструкций изделий машиностроения по информационным моделям: дисс. ... канд. техн. наук. Иркутск: ИрГТУ, 2012.
13. Говорков А.С. Управление параметрами объектов производственной среды при разработке технологического процесса сборки изделия // Электронный журнал «Труды МАИ». 2011. № 48. С. 6.
14. Пат. № 96098, РФ Интерфейс графический пользователя для системы анализа технологичности конструкции изделия / Р.Х. Ахатов, А.С. Говорков, А.С. Жилиев. 08.12.2014
15. Говорков А.С., Божеева Т.В., Жилиев А.С., Токарев Д.О. Разработка и внедрение программного комплекса «Автоматизированная система разработки технологических процессов на базе существующих взаимосвязей» при запуске изделий в производство // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. ст. VII Всерос. науч.-практ. конф. 2016. С. 26–29.
16. Говорков А.С., Жилиев А.С., Пятых С.О., Фокин И.В. Концепция применения программного комплекса «система анализа технологичности конструкции изделий» при запуске в производство изделий // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. ст. IV Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: ИрГТУ. 2014. С. 8–15.
17. Гибкое автоматическое производство / под. ред. С.А. Майорова. М.: Машиностроение, 1985.
18. Основы автоматизации машиностроительного производства: учебник. для машиностроит. спец. вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. 2-е изд., испр. М.: Высш. шк., 1999. 312 с.
19. Ирзаев Г.Х. Модель выбора конструкции по количественным критериям в системе обеспечения технологичности изделий // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 108–113.
20. Ирзаев Г.Х. Исследование и моделирование информационных потоков конструкторско-технологических изменений на этапах освоения и серийного производства изделий // Организатор производства. 2012. Т. 52, № 1. С. 131–135.
21. Ирзаев Г.Х. Модель управления технологичностью изделий на промышленном предприятии // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. Т. 1, № 15. С. 50–57.
22. Лаврентьева М.В., Ерофеев М.С. Корреляция параметров электронного макета и технологических параметров изделия // Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей VII Всерос. науч.-практ. конф. 2016. С. 70–72.
23. Лаврентьева М.В. Автоматизация типовых процессов проектирования электронного макета изделия // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. ст. V Всерос. науч.-практ. конф. 2015. С. 134–139.
24. Ахатов Р.Х., Лаврентьева М.В. Распознавание конструктивно-технологического состава изделия по его электронной модели // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 8. С. 8–14.
25. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 4-е изд., доп. и перераб. М.– Л.: Машиностроение, 1965.
26. Чимитов П.Е., Лаврентьева М.В. Интегрированная система создания электронной модели авиационной сборочной оснастки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1-5. С. 1640–1646.