

УДК 621.757: 621.9: 681.3

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-3-47-56

В.И. Аверченков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Рассмотрены научно-методические подходы к формализации методов построения и выбора прогрессивных технологий, обеспечивающих требуемое качество изделий, снижение трудоемкости, энергозатрат, материалоемкости и себестоимости их изготовления для условий автоматизированного принятия решений в интегрированных САПР. Показана возможность построения многомерных математических моделей технологических процессов

и отдельных методов обработки, для которых описаны принципы их структурной и параметрической оптимизации.

Ключевые слова: качество изделия, эксплуатационные свойства, прогрессивные технологии, метод обработки, режимы резания, построение математических моделей, оптимизация, автоматизированное проектирование.

V.I. Averchenkov

QUALITY CONTROL PROCESS SIMULATION OF PRODUCTS MANUFACTURED TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL INHERITANCE

There are considered scientific-methodical approaches to the formalization of methods for the formation and choice of efficient technologies ensuring a required quality of products, the decrease of labor intensity, power inputs, material capacity and cost price of their manufacturing for conditions of automated decision-making in integrated CADs. A possibility to form multivariate simulators of engineering processes

and separate processing methods is shown for which there are described principles of their structural parametric optimization.

Key words: product quality, operation properties, efficient technologies, processing method, cutting modes, simulator formation, optimization, computer-aided design.

Введение

Технологическое обеспечение требуемого качества изделия (точность, качество поверхности, физико-химические свойства) и его эксплуатационных свойств, должно рассматриваться на этапе технологического проектирования. Однако анализ публикаций этой тематики показывает, что полученные результаты требуют их обобщения на единой методологической основе. Особенно это важно при проектировании технологического процесса в целом: от получения заготовки до финишной обработки детали. В этом случае для каждой

технологической операции приходится описывать свой механизм формирования качества изделия.

В настоящее время главным препятствием для создания автоматизированных интегрированных систем проектирования является сложность описания проектных процедур и принятия оптимальных решений в условиях технологической подготовки производства. Это приводит к необходимости поиска новых подходов к формализации методов проектирования технологических процессов.

Пути построения системы структурных моделей технологических процессов для управления качеством изделий

Комплексное решение проблемы качества машин требует создания системы управления качеством на всех этапах

“жизненного” цикла изделия (проектирование – производство – эксплуатация). Особая роль в этой системе должна отво-

даться этапу проектирования, на котором процесс управления качеством изделия является наиболее эффективным с точки зрения обеспечения материало-, энерго- и трудозатрат.

Это в полной мере относится к этапу технологического проектирования, в рамках которого разрабатываются технологические процессы (ТП) изготовления деталей и сборки машин. Для разработки технологических процессов, обеспечивающих требуемое качество изделий, необходимо построение их системно-структурных моделей [1, 2]. В основу таких моделей должны быть положены известные из технологии машиностроения закономерности, описывающие различные явления, в том числе явление технологической наследственности. Это явление подразумевает перенос свойств обрабатываемого объекта (заготовки) от предшествующих операций к последующим и далее – к эксплуатационным качествам деталей машин [1].

Эффективными средствами управления качеством изделия на этапе технологического проектирования могут быть подсистемы САПР ТП, банки данных и экспертные системы, позволяющие принимать обоснованные решения при формировании прогрессивных технологий [3]. Однако создание перечисленных средств требует разработки сложных математических моделей проектируемых объектов, в качестве которых могут рассматриваться: технологический процесс, операция, метод и процесс обработки.

В проведенных исследованиях была предпринята попытка сформулировать общие подходы к построению системно-структурных моделей ТП и методов обработки (МО), являющихся основными компонентами технологической системы, которые рассматриваются на микро- и макроуровнях [4].

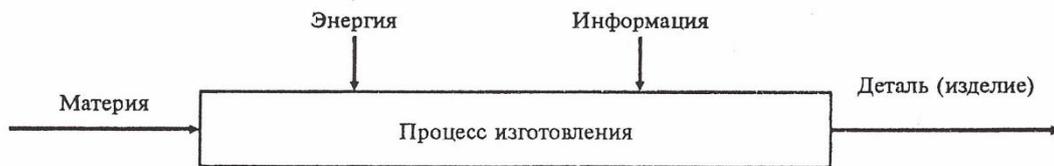


Рис. 1. Системная модель технологии

В наиболее общем виде системная модель технологии (рис. 1) представлена в виде трех входных потоков: материи, энергии и информации. Под материей, применительно к машиностроению, понимаются материалы (в твердом или жидком состоянии), прошедшие или не прошедшие какую-либо обработку. Входной поток материалов под воздействием потоков энергии и информации преобразуется в готовое изделие-результат, получаемый на выходе технологии и отличающийся от суммы входных потоков массой (часть материалов превращается в отходы), физико-химическим состоянием и энергией (после обработки в изделии возникают внутренние напряжения и др.), а также – количеством содержащейся в ней геометрической информации, выраженной в изменившейся форме изделия. При рассмотрении такой модели технологии главным

вопросом становится описание потока информации с учетом всех его изменений. Эта задача при проектировании ТП, обеспечивающих требуемое качество изделия, является чрезвычайно сложной, т.к. требует построения трудно формализуемых многоуровневых и многопараметрических моделей.

Анализ существующих ТП показал, что они могут описываться как процессы количественного и качественного изменения объектов производства. При этом многие характеристики качества поверхности, точности и формы заготовки могут переходить-наследоваться от одной операции к другой [5]. При такой постановке вопроса общую структуру ТП можно представить как сложную многомерную систему, в которой на входе поступают различные характеристики заготовки $\{R_{10}, R_{20}, \dots, R_{m0}\}$, а на выходе обеспечивается соответствующий

щий набор характеристик готовой детали $\{R_{1p}, R_{2p}, \dots, R_{mp}\}$. Эти преобразования определяются действием совокупности технологических факторов $\{t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en}\}$ для

каждой операции φ_i технологического процесса (рис. 2).

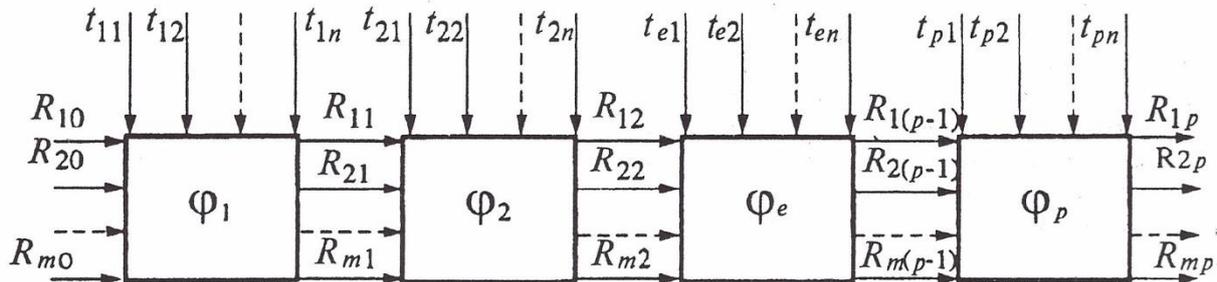


Рис. 2. Структурная схема многомерного ТП

Применительно к подобной модели ТП проявление технологической наследственности для отдельных операций было предложено описывать выражением, характеризующим изменение показателя качества обрабатываемого объекта после операции l :

$$x_l = \alpha x_{l-1}^b, \quad (1)$$

где коэффициенты α и b для различных МО могут определяться экспериментальным путем на основе многофакторного анализа с получением уравнений регрессий мультипликативного вида. Количественные связи технологической наследственности, зависящие от выбора МО, определяются по формуле (1) коэффициентом “ b ”, а основные условия внутри этого метода – коэффициентом $\alpha = f(t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en})$ [5].

В общем случае структуру ТП можно представить в виде последовательности изменений основных параметров формы, точности и качества поверхности $\{R_{1e}, R_{2e}, \dots, R_{me}\}$ от заготовки к готовой детали. Эти изменения определяются действием технологических факторов $t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en}$ отдельных операций $\varphi_e = (e = 1, 2, \dots, p)$.

Изменение параметра R_j , (где $j = 1, 2, \dots, m$) на отдельной операции φ_e , может быть описано через коэффициенты технологической наследственности α_{je} и b_{je} поэтому становится возможным получить путем последовательных подстановок от R_{jp} – параметра качества детали до R_{j0} – параметра качества заготовки общую математическую модель его изменения для всего ТП.

$$R_{jp} = \alpha_p \alpha_{p-1}^{b_p} \alpha_{p-2}^{b_p b_{p-1}} \dots \alpha_1^{b_p b_{p-1} \dots b_1} R_{j0}^{b_p b_{p-1} \dots b_1}. \quad (2)$$

Учитывая, что $\alpha_1 = k_{0e} t_{e1}^{k_{e1}} t_{e2}^{k_{e2}} \dots t_{en}^{k_{en}}$, то после его подстановки в уравнение (2) и приведения к линейному виду методом логарифмирования были получены выражения, в которых отражено действие всех en -факторов ТП на формирование параметра R_j [5].

Общий подход к построению системной модели технологии (рис. 1) может быть использован и на микроуровне в рамках метода обработки, который описывался в виде двух подсистем: энергетической и информационной. Первая подсистема доставляет и преобразует энергию, необ-

ходимую для физико-химического воздействия на предмет производства – заготовку с целью изменения его физико-механических свойств, отделения или нанесения материала. Эта подсистема определяется видом процесса обработки (ПО). Вторая подсистема управляет потоками энергии и материалов, обеспечивая их доставку в заданном виде и количестве в заданное место рабочего пространства с целью создания определенной формы, размеров и качества поверхности детали. Эта подсистема, в свою очередь, может быть охарактеризована зависимостью для определения формообразования (ФО). С

учетом введенных понятий под методом обработки понимается совокупность процессов обработки и формообразования заготовки, направленных на изменение формы, размеров, качества поверхности и физико-механических свойств. Процесс обработки более наглядно может быть представлен в виде следующей цепочки преобразования энергии [5]:

$$\text{ПО} = \mathcal{E}_{\text{раб}} \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{возд}} \Rightarrow \text{ФХМ}_i, \quad (3)$$

где ФХМ_i – вид физико-химического механизма.

Главная цель процесса обработки связана с воздействием энергии на обрабатываемый материал и направлена на преобразование поверхности или обрабатываемого объекта в целом из одного состояния заготовки в другое, соответствующее новому качеству. В связи с этим ПО необходимо рассматривать как некую энергетическую систему, доставляющую и преобразующую энергию, необходимую для достижения основной цели обработки. Эта система преобразует энергию в несколько этапов. Исходя из закона сохранения и превращения энергии известно, что энергия может переходить из одного вида в другой (механическая, тепловая, электрическая и т.д.). На первом этапе преобразование первичного вида энергии \mathcal{E}_1 в рабочую энергию $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ происходит с помощью устройства преобразователя энергии – станка, которым является технологическое оборудование. В качестве рабочих рассматривались следующие виды энергии: механическая, тепловая, электрическая, электромагнитная, лучевая, химическая, ультразвуковая и ядерная. На втором этапе рабочая энергия $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ при воздействии на обрабатываемый объект превращается в энергию воздействия $\mathcal{E}_{\text{возд}}$. При этом рассматривается только пять видов энергии: механическая, электрическая, тепловая, химическая и ядерная.

На третьем этапе энергия воздействия приводит к образованию физико-химического механизма обработки заготовки (ФХМ). Причем для каждого вида были выявлены наиболее существенные процессы, среди которых рассматривались следующие: деформация без разрушения

(01), деформация с разрушением (02), схватывание (03), эрозия (04), плавление (05), испарение (06), спекание (07), напыление (08), структурное преобразование (09), анодное растворение (11), химическое соединение (12), диффузия (13), осаждение (14), ядерное преобразование (15). Анализ различных процессов обработки показал, что главным элементом, определяющим основные показатели МО (характер обработки, производительность, энергозатраты и т.п.) является ФХМ_i . В работе была предпринята попытка математического описания определения затрат энергии для трех видов технологий, основанных на съеме, нанесении или изменении физико-механических свойств единицы объема материала обрабатываемой заготовки. Полученные зависимости позволят в дальнейшем выбирать альтернативные ПО, используя в качестве общего критерия показатель энергозатрат для отдельных физико-химических механизмов [6].

В свою очередь, процесс формообразования может быть охарактеризован способом подвода энергии (СПЭ) в пространство, занимаемое предметом производства, видом распределения энергии во времени (ВРЭ) и схемой движения формообразования, называемой в дальнейшем, кинематической схемой обработки (КСО):

$$\text{ФО} = \{\text{СПЭ, ВРЭ, КСО}\} \quad (4)$$

Составляющие процесса ФО характеризуются следующими признаками, которые предварительно кодируются в целях упрощения их описания: для СПЭ – точечный (1), линейный (2), поверхностный (3) и объемный (4); для ВРЭ – непрерывное (1), пульсирующее (2) и импульсное (3); для КСО – неподвижное (0), прямолинейное (1), вращательное (2), два прямолинейных (3) и вращательно-поступательное (4).

Введенное понятие МО основано на его представлении в виде совокупности так называемых физико-технологических эффектов (ФТЭ): ФХМ, СПЭ, ВРЭ, КСО и др. В этом случае под ФТЭ понималось различное приложение физических законов, эффектов и явлений, которые используются или могут быть использованы в различных технологиях или связанных с

ними технических устройствах (оборудовании, приспособлениях, инструментах). Особенностью проявления ФТЭ является определенная устойчивая причинно-следственная связь между "входом" и "выходом" описываемых явлений. Для использования различных ФТЭ они представлялись в стандартном формализованном виде с учетом удобства их описания для машинной обработки и технических приложений [6].

Основываясь на предложенной системно-структурной модели метода обработки, описываемого совокупностью физико-технологических эффектов, были разработаны общие подходы к созданию классификации существующих МО на единой методологической основе. При построении классификации МО учитывались их особенности, характеризующие прин-

цип действия метода обработки, его назначение и область применения. В основу классификации была положена многоуровневая иерархическая структура. На первом уровне все МО были разделены на три класса: без съема материала, со съемом материала и нанесением материала. На втором уровне для каждого класса выделялись подклассы, характеризующие главным образом виды используемой при обработке энергии. В свою очередь, третий уровень характеризовался физико-химическим механизмом ПО. Разновидность методов, связанных с видом используемого инструмента и кинематикой обработки устанавливалась четвертым уровнем. Используя разработанные принципы классификации МО, было описано более 140 известных методов обработки [5].

Структурная оптимизация при принятии технологических решений

При выборе прогрессивных технологий на различных уровнях возникает необходимость оценки множества вариантов с точки зрения определенных критериев. При этом особая роль отводится структурной оптимизации ТП, которая состоит в поиске структуры, наилучшим образом (в смысле выбранного критерия), выполняющей некую заданную совокупность функций при определенных условиях. Был разработан общий математический подход к структурной оптимизации ТП, использованный в работе для решения следующих задач: выбор вида заготовки и методов ее изготовления, стадий и этапов при проектировании маршрута обработки, структуры и вида операции, а также при выборе оборудования, режущего и измерительного инструмента, систем станочных приспособлений, схем базирования, установки, систем закрепления заготовок в приспособлениях и др. [4, 6].

Одним из первых этапов технологического проектирования является выбор заготовки. Этот этап включает выбор рационального вида и метода изготовления заготовки, определение припусков на обработку ее поверхностей и операционных размеров. При формализации выбора методов изготовления заготовок рассматри-

вались более 20 существующих видов. Алгоритм выбора вида и методов изготовления был разработан в форме таблиц выбора решений, учитывающих влияние материал, масштаб выпуска, конструктивной формы детали, ее массы и размеров. Выбор оптимального варианта проводился по следующим критериям: минимальная себестоимость изготовления заготовки C_3 и стоимость затрат на выполнение черновых операций механической обработки $C_{\text{мех}}$ и дополнительными группами технологических критериев оценки по показателям точности и коэффициенту использования металла. Разработанная методика была реализована в виде автоматизированной подсистемы "Заготовка", ориентированной на использование как в условиях опытного, единичного, серийного и массового производства в машиностроении конструктором при проектировании деталей (выбор материала и конструктивных форм), так и технологии при разработке новых ТП [5, 6].

Выбор структуры маршрута обработки детали в целом осуществлялся на основе его дифференциации и анализа на четырех уровнях: стадия обработки, этапы обработки, виды работ, типовые операции. Выбор конкретных элементов маршрута на этих уровнях проводился с использовани-

ем таблиц соответствий и аппарата математической логики, связывающей принимаемое технологическое решение с конструктивно-технологическими признаками детали, а также с учетом организационно-технических и экономических условий ее обработки. Учитывая особенность использования методов обработки, для формирования отдельных поверхностей, наряду с выбором структуры маршрутного ТП для изготовления всей детали, рассмотрены особенности построения элементарных ТП [5]. Для их описания применительно к различным поверхностям вращения (наружным и внутренним) и плоским поверхностям были построены графы, вершины которых сопоставлялись с характеристиками точности и шероховатости, соответствующими определенной стадии обработки, а ребрам – коды типовых операций.

Анализ этих графов показал, что для каждого типа элементарной поверхности, характеризуемого различной точностью и шероховатостью, существует значительное число альтернативных маршрутов обработки. В зависимости от структуры этих маршрутов, в состав которых входят различные технологические операции, определяется величина припуска на рассматриваемую элементарную поверхность. В работе была решена задача формализации выбора оптимального маршрута обработки, имеющего минимальное значение припуска, для расчета которого был использован интегрально-аналитический метод [5, 6].

Одним из наиболее важных этапов структурной оптимизации ТП является

выбор технологических операций механической обработки. Вид операции и применяемое оборудование существенно влияют на трудоемкость обработки и связанную с ней технологическую себестоимость C_{Ti} . Уточненный расчет этого показателя на этапе эскизного проектирования, к которому относится группа рассматриваемых в работе задач, не представляется возможным, так как отсутствуют сведения о структуре операции, о значении режимов обработки, что в свою очередь не позволяет установить главный фактор, определяющий технологическую себестоимость и норму времени на выполнение операции. В связи с этим был предложен новый подход к нормированию технологических операций, основанных на выявлении функциональных связей между элементами технических норм времени, конструктивной сложностью и габаритами детали [6].

В рамках структурной оптимизации был рассмотрен ряд вопросов, связанных с выбором технологической оснастки и режущего инструмента. В частности, была проведена формализация метода выбора станочных приспособлений, основанная на разделении процесса проектирования на ряд следующие этапы: выбор теоретических схем базирования и схем установки, выбор систем закрепления и типа зажимного устройства, выбор типа привода зажимного устройства и конструктивных элементов приспособлений. Для каждого этапа проектирования были разработаны определенные критерии оценки и выбора решений.

Параметрическая оптимизация процессов механической обработки

При построении прогрессивных технологий также возникает необходимость параметрической оптимизации. Она выполняется во время или после определения структуры ТП или другого технологического объекта. Самой часто решаемой задачей на этом этапе является оптимизация условий обработки и, в частности, режимов резания. Анализ существующих методов и подходов к выбору режимов резания для лезвийной обработки выявил необходимость комплексного решения этой зада-

чи, предусматривающей возможность многокритериальной и многопараметрической оптимизации. В качестве критериев оптимальности некоторые авторы использовали максимальную производительность, минимальную себестоимость, максимальную технологическую надежность, требуемое эксплуатационное свойство и др. В отличие от уже известных работ предложен новый подход к многокритериальной оптимизации, основанный на построении комплексных целевых функций с использо-

ванием адаптивного метода свертки критериев [3, 4].

Рассматривая оптимизацию параметров режимов резания для традиционных методов лезвийной обработки – v , S , t , в качестве компромиссной целевой функции F доказана целесообразность использования свертки критериев минимальное штучное время $t_{шт}$ и минимальная себестоимость операции $C_{оп}$, наиболее полно отражающих основные цели ТП. Данная процедура предусматривает приведение критериев к безразмерному виду с делением их на некоторые средневзвешенные или интегрально-средние значения $\bar{t}_{шт}$ и $\bar{C}_{оп}$. В

этом случае компромиссная целевая функция имеет следующий вид:

$$F = \chi \left(\frac{t_{шт}}{\bar{t}_{шт}} \right)^2 + (1 - \chi) \left(\frac{C_{оп}}{\bar{C}_{оп}} \right)^2 \quad (5)$$

Весовой коэффициент χ , определяющий долю влияния одного из критериев в совмещенном критерии F , изменяется от 0 до 1, в зависимости от постановки задачи проектировщиком. При $\chi = 0$ критерий F рассматривается как *минимальная себестоимость*, а при $\chi = 1$ – как *минимальное штучное время*. После подстановки в формулу (5) полученных в работе [4] зависимостей для $\bar{t}_{шт}$ и $\bar{C}_{оп}$ имеем

$$F = \frac{\chi}{\bar{t}_{шт}^2} \left(\frac{\pi d L h}{1000} \right)^2 \frac{1}{v^2 S^2 t^2} \left(1 + \frac{T_{см}}{T} \right) + \frac{1 - \chi}{\bar{C}_{оп}^2} \left(\frac{\pi d L h}{1000} \right)^2 \frac{1}{v^2 S^2 t^2} \left(\frac{R}{\lambda} + \frac{RT_{см} + M}{T} \right)^2 \quad (6)$$

Полученное выражение после упрощения и введения обозначений (A , B), независящих от режимов резания, выглядит следующим образом:

$$F = \frac{1}{v^2 S^2 t^2} \left(A \frac{2B}{T} + \frac{D}{T^2} \right). \quad (7)$$

Учитывая, что в состав этого выражения входит величина стойкости инструмента, определяемая зависимостью [3]:

$$T = (k_v c_v)^{\frac{1}{m_t}} \frac{x_v}{m_v} \frac{1}{m_s} \frac{y_v}{m}, \quad (8)$$

после ее введения было сделано заключение о том, что минимизация функции F (v , S , t) является принципиально нелинейной задачей, и не может решаться известными методами линейного программирования.

Математический анализ выражений (6) и (7) и построение семейства линий уровня целевой функции F позволил предложить ряд эффективных алгоритмов оптимизации режимов резания и создать программы 2-х параметрической (v , S) оптимизации режимов механической обработки для дискретных (*ОПТИМ-2D*), непрерывных (*ОПТИМ-2N*) значений v , S и 3-х параметрической (v , S , t) оптимизации для дискретных (*ОПТИМ-2N*) значений v , S [5].

Иной подход использовался при многопараметрической оптимизации режимов механической обработки, когда в качестве критерия оптимальности использовалась зависимость эксплуатационных свойств от технологических факторов обработки, учитывающая проявление

технологической наследственности. Для упрощения построения математической модели метода обработки в этом случае технологическую наследственность оказалось удобным выражать не для отдельных характеристик качества поверхности, а с помощью некоторых комплексных выражений, наиболее полно отражающих исследуемый процесс. Так, при технологическом управлении износостойкостью обрабатываемых деталей использовался известный безразмерный комплекс $\Delta = R_{max} / \rho \beta^{1/v}$ [4].

Наряду с детерминированным подходом были разработаны методы оптимизации режимов обработки, учитывающие влияние целого ряда случайных факторов на область технических ограничений $R_i(x)$, вид и величину оценочной функции (стохастический подход). Общая задача в этом случае формулировалась как определение математического ожидания вектора оптимизируемых переменных X , который доставляет минимальное значение критерию оптимальности $F(x)$ с доверительной вероятностью α в области D , заданной ограничениями на параметры $R_i(x)$. В этом случае были разработаны алгоритмы, построенные на основе метода статистического моделирования и тесно связанного с ним метода Монте-Карло [5].

Результаты исследования методов параметрической оптимизации ТП были

представлены в виде алгоритмов, на основе которых создан программный комплекс

оптимизации режимов механической обработки.

Создание комплексных автоматизированных систем проектирования прогрессивных технологий

С учетом разнообразия и сложности решаемых задач в рамках рассматриваемой проблемы [7 - 9], была разработана общая концепция построения комплексной автоматизированной системы создания прогрессивных технологий, представленная в виде функциональной схемы (рис.3). В основу системы положена совокупность ранее разработанных автоматизированных подсистем проектирования, объединяющих основные этапы конструкторско-технологического обеспечения требуемого качества изделий, использующие принципы альтернативности выбора или синтеза

технологических решений и построенные с учетом единой информационной базы данных. На схеме системы дан перечень основных этапов выбора технологических решений, а также отмечена взаимосвязь этих этапов с другими автоматизированными системами, подготавливающими исходную информацию и использующими результаты выбора технологических решений: САПР изделий, пакет прикладных программ обеспечения эксплуатационных свойств деталей, САПР технологических процессов, САПР оборудования и САПР технологической оснастки.

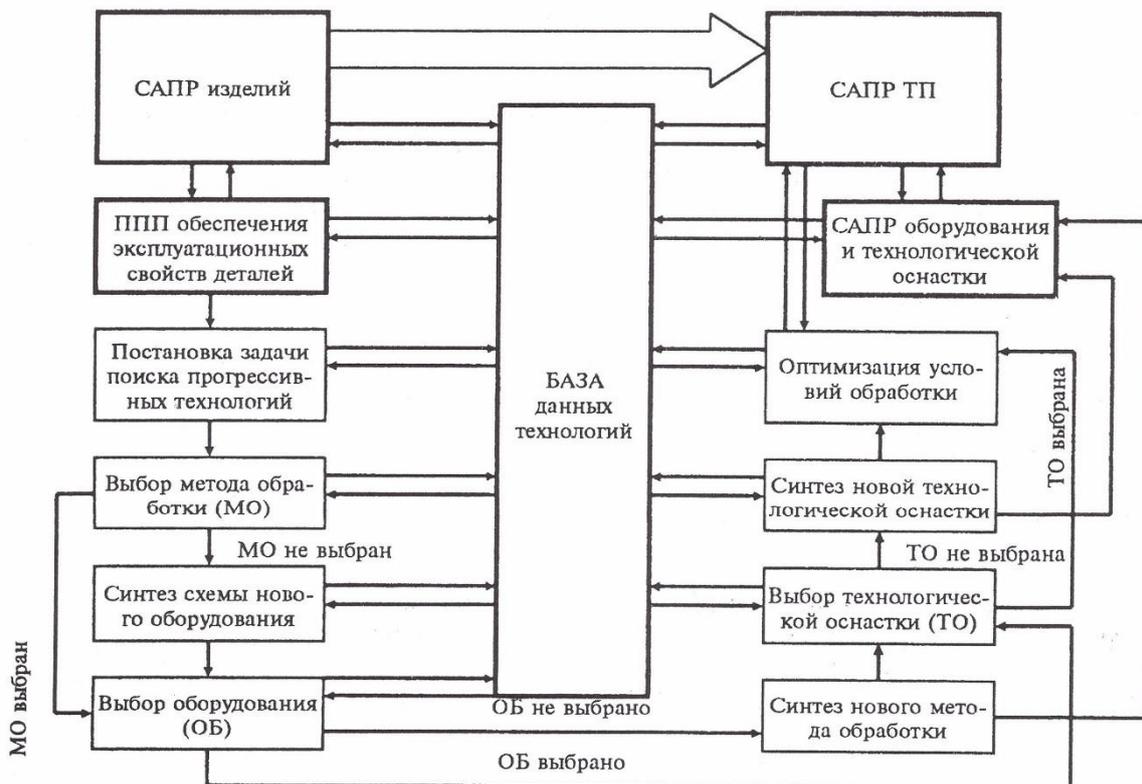


Рис. 3. Функциональная схема автоматизированной системы создания прогрессивных технологий

Построение прогрессивных технологий должно начинаться с определения задачи поиска. Учитывая направленность системы на решение задач выбора технологий (методов обработки) преимущественно на стадиях механической обработки, на первом этапе производится формализация задачи поиска с одновременным решением ряда технологических задач,

включающих выбор оптимального вида и метода получения заготовки [3] и формирование возможных маршрутов обработки детали с последующим принятием самого рационального из них [4]. Завершает этот этап задача формирования массивов показателей качества изделия до начала выполнения анализируемой операции ТП и после нее. На следующих этапах решаются зада-

чи, связанные с выбором и синтезом новых методов обработки (рис. 3). Важным этапом решения рассматриваемой проблемы является выбор или синтез соответствующих видов технологического оборудования и оснастки [6]. Выполнение этих процедур зависит от многих условий и является многовариантным. Так, выбор оборудования может вестись несколькими путями, которые должны определить ОБ, полностью соответствующее искомому МО или отдельным его составляющим. В последнем случае должно формироваться техническое задание на усовершенствование из-

Выводы

Разработка и применение новых прогрессивных технологий связана с комплексной автоматизацией конструкторско-технологической подготовки производства. Использование результатов математического моделирования ТП, а также накопленного опыта в области использо-

вестных моделей или проектирование нового вида оборудования. Решение перечисленных задач сопровождается поиском информации в базе данных, включающей библиотеки конструктивных схем обработки, оборудования, массивы условий их выбора и моделей станков, а также описания элементов конструктивных схем обработки.

Заключительным этапом выбора прогрессивных технологий является оптимизация условий обработки для известных МО при наличии их описаний и математических моделей в базе данных [10].

вания новых прогрессивных методов обработки позволяет создать интегрированные САПР прогрессивных технологий, обеспечивающие управление качеством изделий и их эксплуатационными свойствами на стадии проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей / П.И. Ящерицын. – Минск: Наука и техника, 1971. – 210 с.
2. Рыжов, Э.В. Влияние технологической наследственности на формирование микронеровностей / Э.В. Рыжов, О. А. Горленко // Микрогеометрия и эксплуатационные свойства деталей машин. – Рига: Изд. «Зинатне», 1972. – С. 12-14.
3. Аверченков, В.И. О влиянии технологической наследственности при электромеханической обработке на износостойкость трущейся пары / В.И. Аверченков, Э.В. Рыжов // Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей машин. – М., 1973. – С. 5-6.
4. Рыжов, Э.В. Влияние технологической наследственности на качество поверхности при обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД) / Э.В. Рыжов, В.А. Бауман // Вестник машиностроения. – 1973. – №10. – С.59-62.
5. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
6. Рыжов, Э.В. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
7. Дальский, А.М. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др. – М.: Изд. МАИ, 2000. – 364 с.
8. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук по спец. 05.02.08 / В.Ю. Блюменштейн. – М., 2002. – 595 с.
9. Расторгуев, Г. Технологическая наследственность и надежность в машиностроении. Теоретические и экспериментальные аспекты / Г. Расторгуев. – Рига: Изд. «Palmarium academic publishing», 2014. – 180 с.
10. Хейфец, М.Л. Технологическое управление наследованием эксплуатационных параметров качества деталей машин / М.Л. Хейфец, А.С. Васильев, А.И. Кондаков, Л. Танович // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2015. – №3. – С.10-22.
11. Аверченков, В.И. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых изделий / В.И. Аверченков, А.С. Васильев, М.Л. Хейфец // Научно-технические проблемы в машиностроении. – 2018. – №10 (88). – С. 27-33.

1. Yashcheritsyn P.I. Technological inheritance and operation properties of ground parts / P.I. Yashcheritsyn. – Minsk: Science and Engineering, 1971. – pp. 210.
2. Ryzhov E.V. Technological inheritance impact upon micro-roughness formation / E.V. Ryzhov, O.A. Gorlenko // Micro-Geometry and Machinery Operation Properties. – Riga: “Zinatne” Publishers, 1972. – pp. 12-14.
3. Averchenkov V.I. On technological inheritance impact at friction pair electro-machining for wear-resistance / V.I. Averchenkov, E.V. Ryzhov // Theory and Practice of Machinery Diamond and Abrasion Treatment. – M., 1973. – pp. 5-6.
4. Ryzhov E.V. Technological inheritance impact upon surface quality during processing with surface plastic deformation (SPD) / E.V. Ryzhov, V.A. Bauman // Bulletin of Mechanical Engineering. – 1973. – No.10. – pp. 59-62.
5. Yashcheritsyn P.I. Technological inheritance in mechanical engineering / P.I. Yashcheritsyn, E.V. Ryzhov, V.I. Averchenkov // Minsk: Science and Engineering, 1977. – pp. 256.
6. Ryzhov E.V. Engineering Process Optimization of Machining / E.V. Ryzhov, V.I. Averchenkov. – Kiev: Scientific Thought, 1989. – pp. 192.
7. Dalsky A.M. Technological Inheritance in Mechanical Engineering / A.M. Dalsky, B.M. Bazrov, A.S. Vasiliev at al. – M.: MAI Publishers, 2000. – pp. 364.
8. Blumenstein, V.Yu. Mechanics of technological inheritance as scientific basis for design of machinery strengthening processes by surface plastic deformation: Author’s Abstract of Thesis for Dr. Sc. Tech. on Specialty 05.02.08 / V.Yu. Blumenstein. – M., 2002. – pp. 595.
9. Rastorguev G. Technological Inheritance and Reliability in Mechanical Engineering. Theoretical and Experimental Aspects / G. Rastorguev. – Riga: “Palmarium academic publishing”, 2014. – pp. 180.
10. Heifets M.L. Technological control of machinery operation quality parameter inheritance / M.L. Heifets, A.S. Vasiliev, A.I. Kondakov, L. Tanovich // Bulletin of the National Academy of Belarus. – 2015. – No.3. – pp. 10-22.
11. Averchenkov V.I. Technological inheritance during quality formation of products manufactured / V.I. Averchenkov, A.S. Vasiliev, M.L. Heifets // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2018. – No.10 (88). – pp. 27-33.

Ссылка для цитирования:

Аверченков В.И. Математическое моделирование процессов управления качеством изготавливаемых изделий с учетом технологической наследственности // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 3. С. 47–56. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-3-47-56.

Статья поступила в редакцию 31.01.20.

*Рецензент: д.т.н., профессор Тихоокеанского государственного университета,
Давыдов В.М.*

Статья принята к публикации 12. 02. 20.

Сведения об авторах:

Аверченков Владимир Иванович, д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета, тел.: +7-905-054-88-80, e-mail: aver@tu-bryansk.ru.

Averchenkov Vladimir Ivanovich, Dr. Sc. Tech., Prof., Bryansk State Technical University, phone: +7-905-054-88-80, e-mail: aver@tu-bryansk.ru.