

# ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.7:658.511.4:519.68

**В.С. Антонюк, д.т.н., проф.**

**С.П. Выслоух, к.т.н., доц.**

*Национальный технический университет Украины «КПИ»*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА**

*Выполнен анализ применения информационных технологий при решении задач технологической подготовки производства в приборо- и машиностроении. Показано, что для повышения информативности используемой информации, снижения размерности факторного пространства, решения задач классификации, группирования и распознавания образов следует использовать методы многомерного статистического анализа. Рассмотрены современные методы математического и имитационного моделирования и оптимизации, а также возможность их применения для решения технологических задач.*

**Актуальность проблемы.** Качество решения задач технологической подготовки приборо- и машиностроительного производства существенно зависит от постановки задач, методов их решения и полноты используемой исходной информации.

Существующие методы решения задач технологической подготовки характеризуются использованием ограниченной исходной технологической информации, односторонностью и субъективностью ее выбора, использованием методик, которые не во всех случаях позволяют получить оптимальные методы, условия и средства изготовления изделий и рациональные технологические процессы, которые не всегда отвечают современным требованиям. Задачи технологической подготовки производства недостаточно формализованы, зачастую отсутствуют адекватные математические модели выходных технологических параметров и показателей процессов изготовления деталей и сборки изделий, на ограниченном уровне решаются задачи параметрической и структурной оптимизации приборо- и машиностроительного производства. Отсутствует обоснование выбора информации для математического моделирования, а также выбора эффективных методов получения имитационных и математических моделей, что ухудшает результаты

автоматизированного проектирования технологии. Использование методов параметрического и структурного моделирования ограничивается известными не всегда эффективными методами. Для решения разнообразных задач технологической подготовки производства не используются современные методы теории информации, теории массового обслуживания, распознавания образов, проектирования интеллектуальных технологических систем и т.п. Задачи технологической подготовки производства и методы их решения полностью не изучены и не систематизированы. Указанное выше обуславливает необходимость создания новых методов обработки технологической информации путем использования многомерного статистического анализа с целью максимального учета различных параметров и показателей соответствующей технологической задачи проектирования, а также обоснования применения современных методов имитационного и математического моделирования, методов параметрической и структурной оптимизации.

Решение проблемы применения информационных технологий в приборо- и машиностроении возможно только на основе изучения задач технологической подготовки производства и требований до их решения, а также исследования современных методов обработки информации, имитационного и математического моделирования и оптимизации параметров и характеристик технологических систем с широким использованием эффективных методов системного анализа, распознавания образов, теории множеств, алгебры логики, теории графов, математического программирования, проектирования сложных интеллектуальных систем и др., что значительно повысит качество технологической подготовки производства.

Поэтому развитие основ применения современных информационных технологий путем систематизации задач технологической подготовки производства, комплексности их решения, разработка новых научных подходов к обработке информации и обоснованному выбору методов формализации и решения различных технологических задач, обоснование выбора исходной информации при решении этих задач, где объединяются в едином комплексе все этапы изготовления изделий и их жизненного цикла, является проблемой актуальной и своевременной.

**Постановка задачи.** На основе анализа состояния информационных технологий обосновать возможность повышения эффективности

технологической подготовки производства путем комплексного использования современных методов обработки информации, моделирования и оптимизации при решении технологических задач. Для этого необходимо решить задачу снижения размерности факторного пространства методами факторного, компонентного анализа и многомерного шкалирования, разработать методологию использования методов кластерного и дискриминантного анализа для решения задач классификации, группирования и распознавания образов в технологии приборо- и машиностроения.

Выполнить анализ методов получения математических моделей технологических параметров, определить эффективность их использования, обосновать целесообразность применения современных методов математического моделирования, разработать соответствующие алгоритмы и программы, которые их реализуют, выполнить анализ методов параметрической оптимизации, обосновать эффективность применения методов нелинейного и стохастического программирования при решении задач технологической подготовки производства.

На основе анализа применяемых в технологии машиностроения методов структурного моделирования и оптимизации показать целесообразность использования новых эффективных методов математического и имитационного моделирования работы производственных систем.

Разработать методику, алгоритмы и программы решения задач моделирования изделий машино- и приборостроения, а также технологии их сборки с целью автоматизации проектирования технологических процессов.

Реализовать предложенные информационные технологии в виде методов, алгоритмов и программ при решении различных задач технологической подготовки производства.

**Реализация информационных технологий.** В результате анализа состояния применения информационных технологий при решении задач технологической подготовки производства установлено следующее.

Сжатие массивов технологической информации, реализуемое методами факторного, компонентного анализа и методом многомерного шкалирования позволяет значительно повысить информативность полученных результатов исследований, упростить решение ряда задач технологической подготовки производства за счет уменьшения признаков пространства и сокращения времени

решения различных технологических задач, а также улучшить качество полученных решений [1–3].

Основные методы многомерного статистического анализа (компонентного, факторного и шкалирования) формализованы и представлены в виде соответствующих алгоритмов, по результатам которых можно сделать такие выводы: методам многомерного статистического анализа характерны математическая строгость и законченность методик, предложенные методы целесообразно использовать при наличии больших массивов информации об объекте исследования и моделирования, что есть характерным для задач технологии приборо- и машиностроения [1–4].

Классификация, группирование и распознавание образов, которые реализованы методами кластерного (иерархического и быстрого) и дискриминантного анализа, позволяют успешно решить такие технологические задачи [5–10].

1. Дано множество конструкционных материалов, которые характеризуются химическим составом, структурой, физико-механическими свойствами и т.д. Определить параметры, которые существенно влияют на технологические свойства этих материалов.

2. На основе данных, которые изложены в предыдущей задаче, классифицировать конструкционные материалы по совокупности их технологических характеристик.

3. По заданным параметрам исследуемого конструкционного материала определить группу (кластер), к которому он относится, а в выбранной группе найти материал-аналог. Этот материал можно использовать для замены исследуемого материала, аналогичным ему по совокупности различных свойств.

4. По заданным параметрам нового конструкционного материала определить условия и методы его обработки на основе установления аналогичных условий материала-аналога.

5. Все детали, которые изготавливаются на предприятии, можно классифицировать по совокупности конструктивных и технологических признаков. Каждой детали, которая находится в информационной базе предприятия, поставлено в соответствие технологический процесс ее изготовления. Путем идентификации новой детали совокупностью конструктивно-технологических признаков можно определить деталь-аналог, технологический процесс ее изготовления будет основой для создания нового единичного технологического процесса.

При рассмотрении вопроса математического моделирования технологических параметров показано, что построение математической модели сложного объекта возможно на основе применения методов его декомпозиции на составные взаимосвязанные элементы и получения математических моделей этих составных частей. Это позволяет значительно упростить получение адекватной математической модели исследуемого процесса, а в некоторых случаях это является единственно возможным вариантом решения поставленной задачи.

Анализ и сравнительная оценка применяемых методов математического моделирования, которые используются при решении технологических задач, показал, что численные методы интерполяции позволяют получить качественные математические зависимости выходного параметра от одной переменной, при этом наилучшее приближение до реальной функции дают сплайн-функции. Поэтому численные методы интерполяции целесообразно применять при решении задач идентификации и в качестве внутренних процедур сложных многомерных методов математического моделирования.

Методы аппроксимации функций по методу наименьших квадратов являются эффективным средством получения простых математических зависимостей выходного параметра от одной или нескольких входных переменных по известному виду ее структуры, то есть при решении задач идентификации. Метод наименьших квадратов следует использовать в качестве вспомогательных (внутренних) процедур при решении задач многомерного математического моделирования.

Наиболее часто для получения многомерных математических моделей технологических параметров применяют статистические методы. Планирование экспериментов и обработка их результатов методом регрессионного анализа позволяет получить достаточно просто линейную математическую зависимость, а в некоторых случаях – нелинейную модель. Но это требует значительных экспериментальных исследований и, соответственно, значительных затрат средств и времени. В то же время не всегда возможно задать в эксперименте крайние точки факторного пространства (граничные значения входных переменных). Непосредственное применение регрессионного анализа для получения математических моделей не требует проведения экспериментов по сурово установленному плану, при этом можно использовать результаты пассивного эксперимента. Но это осложняет обработку результатов экспериментов, позволяет получить только модели в виде полиномов, которые не всегда

адекватно описывают исследуемый процесс. Для получения адекватных математических моделей необходимо применять искусственные приемы, которые базируются на опыте проектировщика. Значительно уменьшить количество экспериментов и, соответственно, расходы времени и средств при их реализации можно путем применения методов теории подобия и анализа размерностей.

Методология фрактального анализа позволяет получить интегральную количественную оценку поверхностного состояния деталей, которые обрабатываются резанием, путем учета показателей, комплексно характеризующих структуру и свойства материала, обрабатываемой детали и параметры его поверхности [11]. Кроме того, использование дробной размерности поверхности детали позволяет с большей точностью определить рациональные и оптимальные режимы обработки поверхностей деталей с высокими показателями качества и учесть эту размерность при определении научно обоснованных допусков на обработку [12].

Предлагается для математического моделирования при решении технологических задач применять методы эвристической самоорганизации моделей, которые позволяют получить единственную модель оптимальной сложности с помощью перебора большого количества моделей по заданному критерию на основе незначительного количества априорной информации. Преимуществом этих методов, в отличие от методов регрессионного анализа, является использование внешних критериев выбора математической модели, что позволяет объективно оценить качество моделирования исследуемого параметра. Методы самоорганизации целесообразно использовать для получения математических моделей, если исследуемый объект не является управляемым, начальные данные получены в результате проведения пассивного эксперимента или статистической обработки информации, эксперимент является управляемым, но комбинация значений аргументов не может быть достигнута или же приводит к аварийной (критической) ситуации, проведение планового эксперимента требует долговременных и дорогих исследований.

Новым, эффективным методом получения математических моделей является нечеткий метод группового учета аргументов (МГУА), который имеет все преимущества классического МГУА и вместе с тем лишен его недостатка – он позволяет получить значения прогнозируемых выходных параметров не в отдельной точке, а в

определенном доверительном интервале. Кроме того, метод не имеет явления вырожденности системы линейных уравнений при определении коэффициентов математической модели. Предложенные алгоритмы и программы нечеткого МГВА позволяют прогнозировать и моделировать технологические параметры с большей точностью по сравнению с классическим методом при незначительном количестве начальной информации [13].

Перспективным средством моделирования и прогнозирования технологических параметров, а также решения задач классификации, распознавания образов и снижения размерности факторного пространства является применение методов искусственных нейронных сетей [14].

Совместимое использование методов искусственных нейронных сетей и эвристической самоорганизации моделей (классического и нечеткого МГУА) позволяет организовать компьютерный эксперимент, который дает возможность значительно уменьшить материальные, энергетические и временные затраты при проведении экспериментальных исследований.

Анализ задач параметрической оптимизации, решаемых при технологической подготовке производства, показал, что большинство из них является многомерными нелинейными задачами математического программирования. Выбор метода их решения зависит от постановки задачи оптимизации, размерности решаемой задачи, вида целевой функции и зависимостей, которые определяют область допустимых решений.

В зависимости от постановки задачи, вида целевой функции, вида и количества ограничений, а также оптимизируемых переменных для решения задач оптимизации предлагается использовать методы выпуклого программирования, скользящего допуска и направленный случайный поиск с самообучением [15–18]. Кроме того, эффективным является метод стохастического программирования, позволяющий учитывать в задачах параметрической оптимизации случайный характер параметров и переменных в математической модели (в целевой функции и в функциях ограничений) [19]. Разработана методика многокритериальной оптимизации, которая позволяет использовать одновременно несколько критериев при решении минимаксных задач. Метод учитывает значимость каждого частичного критерия оптимизации, которая определяется на основе экспертных оценок [20, 21].

С целью оптимизации работы производственных систем выполнен анализ методов моделирования и оптимизации работы этих систем. Установлено, что перспективными для решения задач оптимизации параметров производственных систем являются методы математического и имитационного моделирования, которые базируются на использовании структурно-логического подхода к математическому моделированию систем и их имитационного моделирования методами сетей Петри [22]. Указанные методы реализованы при оптимизации загрузки оборудования технологических систем.

На основе анализа информационных связей выполнена формализация конструкции изделия и технологии его сборки. Это позволило разработать методику автоматизированного проектирования технологии сборки, функциональную и структурную схему автоматизированной системы проектирования технологии механосборочных и электромонтажных работ. Даны рекомендации по использованию созданной автоматизированной системы в комплексе с CAD – системой твердотельного проектирования Solid Works, реализуя, таким образом, возможность виртуальной сборки изделия с одновременным получением технологической документации [23–27].

Методы многомерного статистического анализа (факторного, компонентного анализа, многомерного шкалирования, кластерного и дискриминантного анализа), математического моделирования (методы нечеткого МГУА, искусственных нейронных сетей и др.), параметрической и структурной оптимизации программно реализованы и апробированы при решении различных задач технологической подготовки производства [28–36].

**Выводы.** Выполненные исследования позволяют реализовать современные информационные технологии при технологической подготовке производства, повысить информативность и качество проектных работ. Результаты проведенных исследований являются базой для создания автоматизированных систем технологической подготовки производства, проектирования прогрессивных технологических процессов, научно обоснованного нормирования технологических процессов изготовления деталей и сборки изделий, организации работы производственных технологических систем, а также основой широкого использования CALS-технологий в приборостроении и машиностроении.



## ЛИТЕРАТУРА:

1. *Выслоух С.П.* Факторный анализ технологической информации // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Выпуск 100 / Машиностроение. – Харьков, 2000. – С. 26–29.
2. *Выслоух С.П.* Дослідження взаємозалежності ознак і зниження розмірностей інформаційних масивів в задачах технологічної підготовки виробництва / Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ „ХПІ”. – Харків, 2007. – Вип. 2 (15). – С. 55–63.
3. *Выслоух С.П.* Применение методов многомерного статистического анализа при технологической подготовке производства // Новые процессы и их модели в ресурсо- и энергосберегающих технологиях // Материалы Международной научно-технической конференции 25–26 сентября 2003 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины, 2003. – С. 16–20.
4. *Выслоух С.П.* Распознавание образов, классификация и снижение размерностей при проектировании процессов абразивной обработки // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сборник статей международной научно-технической конференции. Волжский инженерно-строительный институт (филиал) ВолгГАСА. – Волжский, 2003. – С. 212–216.
5. *Выслоух С.П.* Багатомірний аналіз даних в задачах технологічної підготовки виробництва // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”: Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005. – № 12. – С. 41–50.
6. *Выслоух С.П.* Применение методов кластерного анализа при проектировании технологических процессов // Вестник Сев. ГТУ. Выпуск 36: Автоматизация процессов и управление: Сб. научн. трудов Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь, 2002. – С. 103–108.
7. *Выслоух С.П., Воронюк А.С.* Определение технологических параметров конструкционных материалов методами многомерного статистического анализа // Високі технології в

- машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2002. – Вип. 1(5). – С. 64–71.
8. *Вислоух С.П.* Розпізнавання образів при проектуванні технологічних процесів // Резание и инструмент в технологических системах: Международный научно-технический сборник. – Выпуск 65. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2003. – С.27–36.
  9. *Вислоух С.П.* Проектування технологічних процесів на основі розпізнавання образів // Вісник НТУУ «КПІ» / Приладобудування. – 2003. – Вип. 26. – С. 65–73.
  10. *Вислоух С.П.* Применение методов дискриминантного анализа при технологическом проектировании // Резание и инструмент в технологических системах: Междун. научн.-техн. сборник. – Харьков: ХГПУ, 2001. – Вип. 60. – С. 26–35.
  11. *Клименко С.А., Мельничук Ю.А., Копейкина М.Ю.* Совершенствование представлений о процессе резания на основе фрактальной параметризации структуры и свойств обрабатываемого материала // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: Сб. науч. тр. Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки, станки и инструмент. – К., 2002. – С. 159–171.
  12. *Симута М.О., Вислоух С.П.* Використання методів фрактального аналізу для моделювання технологічних параметрів процесу різання // Тези доповідей П'ятої Всеукраїнської науково-технічної конференції „Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво”. – Суми: СумДУ, 2005. – С. 85–87.
  13. *Вислоух С.П., Катрук О.В.* Моделювання технологічних параметрів нечітким методом групового врівнювання аргументів // Вісник Хмельницького національного університету / Технічні науки. – Хмельницький, 2007. – № 1 (89). – С. 169–172.
  14. *Вислоух С.П.* Нейросетевое моделирование технологических параметров процесса резания // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005 – Вип. 68. – С. 109–116.

15. *Остафьев В.А., Антонюк В.С., Выслоух С.П.* Оптимизация обработки лезвийным инструментом // Сб. «Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования технологических процессов в машиностроении». – М.: ЦИНТО МАШПРОМ, 1980. – С. 78–82.
16. *Остафьев В.А., Антонюк В.С., Выслоух С.П.* Вопросы оптимизации и адаптации процесса резания материалов // Резание и инструмент: респ. межвед. темат. научн.-техн. сборник. – Харьков: Вища школа, 1981. – Вып. 26.
17. *Antonioniuk V., Ostafjev V., Vislouch S.* Parameteroptimierung Spanender Bearbeitungsverfahren mit Methoden der Warscheinlichkeitrechnung // "Fachtagung AUPRO – 84". – Karl-Marx-Stadt: Verlag Technische Hochschule. – 1984. – S. 187–190.
18. *Выслоух С.П.* Оптимизация при технологической подготовке машиностроительного производства // Резание и инструмент в технологических системах: Международный научно-технический сборник. – Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 54. – С. 57–63.
19. *Антонюк В.С., Выслоух С.П.* Вероятностный подход к параметрической оптимизации процесса резания труднообрабатываемых материалов // Оптимизация процесса резания жаро- и особопрочных материалов: Межвузов. науч. сб. – Уфа: Изд-во Уфим. авиацион. ин-та, 1986. – С. 25–32.
20. *Выслоух С.П.* Многокритериальная оптимизация в технологических расчетах // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2001. – Вип. 1(4). – С. 94–98.
21. *Антонюк В.С., Выслоух С.П., Мірненко В.І., Рутковський А.В.* Багатокритеріальна оптимізація технологічних параметрів формування вакуум-плазмових покриттів // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси: ЧДТУ, 2004. – Вип. № 2. – С. 71–76.
22. *Выслоух С.П., Пірко А.В.* Моделирование завантаження обладнання виробничих систем з використанням структурно-логічного методу // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія: Приладобудування. – 2007. – Вип. 33. – С. 117–124.
23. *Філіппова М.В., Выслоух С.П.* Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт // Вісник

- Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” / Приладобудування. – 2004. – Вип. 28. – С.139–144.
24. *Вислоух С.П., Філіппова М.В.* Формалізація опису складальних одиниць в приладобудуванні // Вісник СевДТУ. – Вип. 72: Автоматизація процесів та управління: Зб. наук. пр. – Севастополь: Вид-во СевДТУ, 2006. – С. 103–108.
  25. *Антонюк В.С., Вислоух С.П., Філіппова М.В.* Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки изделий приборостроения / Сборка в машиностроении, приборостроении. – М.: Машиностроение, 2007. – № 6. – С. 3–6.
  26. *Філіппова М.В., Вислоух С.П.* Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць ЖДТУ. – 2006. – Вип. 4. – С. 18–30.
  27. *Філіппова М.В., Вислоух С.П.* Комплексне конструювання оптико-механічних виробів та автоматизоване проектування технологічних процесів їх складання // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Вип. 20. – Краматорськ, 2006. – С. 200–207.
  28. *Вислоух С.П.* Определение технологических параметров новых конструкционных материалов методом математического моделирования / Вестник НТУУ «КПИ» / Машиностроение. – 2001. – Вып. 41. – С. 178–185.
  29. *Вислоух С.П.* Определение обрабатываемости материалов на основе математической модели процесса резания // Сб. “Резание и инструмент в технологических системах”: Международный научно-технический сборник. – Выпуск 55. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 50–55.
  30. *Вислоух С.П., Волошко О.В.* Методика моделювання та оптимізації параметрів процесу різання / Резание и инструмент в технологических системах: Международный научно-технический сборник. – Выпуск 70. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – С. 90–99.
  31. *Вислоух С.П., Волошко О.В.* Моделювання та дослідження параметрів різання конструкційних матеріалів // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. – Суми: Вид-во СумДУ2005., 2005. – № 11 (83). – С. 22–27.

32. *Вислоух С.П., Волошко О.В.* Математичне моделювання параметрів технологічних процесів механічної обробки деталей приладів // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія: Приладобудування. – 2005. – Вип. 29. – С. 63–67.
33. *Вислоух С.П.* Определение технологических параметров новых инструментальных материалов // Сб. Сверхтвердые материалы // Труды Международной научно-технической конференции. Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение. – “СТИМ - 2001”. – 2001. – С. 65– 69.
34. *Вислоух С.П.* Определение технологических параметров новых конструкционных материалов путем математического моделирования // Вестник Нац. техн. ун-та Украины “Киев. пол. ин-т”. / Машиностроение. – Выпуск 41. – 2001. –С. 178–185.
35. *Вислоух С.П., Волошко О.В.* Математичне моделювання та оптимізація параметрів процесу різання // Вісник СевДТУ. – Вип. 73. Автоматизація процесів та управління: Зб. наук. пр. – Севастополь: Вид-во СевДТУ, 2007.
36. *Антонюк В.С., Вислоух С.П., Катрук О.В.* Классификация и распознавание образов при автоматизированном проектировании технологических процессов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць. – Краматорськ–Київ, 2008. – Вип. № 23. – С. 176–182.

АНТОНЮК Виктор Степанович – доктор технических наук, профессор кафедры производства приборов Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт” МОН Украины.

Научные интересы:

– технологическое обеспечение износостойкости режущего инструмента.

Тел.: 8 044 454 94 75

Дом. тел.: 8 044 418 15 31

E-mail: [vp@users.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:vp@users.ntu-kpi.kiev.ua)

ВЫСЛОУХ Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства приборов Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт” МОН Украины.

Научные интересы:

– технологическое обеспечение износостойкости режущего инструмента.

Тел.: 8 044 454 94 75

Дом. тел.: 8 044 402 72 76

E-mail: vp@users.ntu-kpi.kiev.ua

Подано 05.02.2009

