

## Особенности автоматизации систем технологической подготовки производства композитных конструкций

*И.А. Александров*

*Институт конструкторско-технологической информатики  
Российской академии наук (ИКТИ РАН)*

**Аннотация:** В работе сформулировано обоснование необходимости выполнения работ, направленных на решение задач обеспечения технологической подготовки производства композитных конструкций средствами автоматизации, основанными на применении современных информационно-вычислительных систем. Выделены характерные особенности и ключевые аспекты, определяющие эффективность автоматизации на этапе технологической подготовки производства. Приведено обоснование взаимосвязи процессов, определяющих формирование технологического процесса и его эффективности.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологический процесс, технологическая подготовка производства, композиционные материалы, композитные конструкции, нейронные сети, моделирование, технологические параметры

Экономическая эффективность производства изделий из композиционных материалов (КМ), в первую очередь, связана со степенью автоматизации и уровнем производительности технологических операций. Одним из важнейших требований современного этапа научно–технического прогресса является системный подход к анализу различных процессов. В связи с темпами формирования областей прикладного применения средств и методов автоматизации на современных предприятиях, данный подход находит все более широкое применение в вопросах, связанных с развитием и модернизацией процессов управления структурными подразделениями промышленного предприятия [1-3]. Сложная система может быть расчленена на конечное число составных подсистем. Подсистемы, в свою очередь, могут быть рассмотрены как отдельные системы, состоящие из более мелких структурных единиц. Свойства КМ как сложной системы, определяются не только свойствами компонентов, но и характером их взаимодействия.

Рассматривая технологический процесс производства композитных конструкций в соответствии с основными положениями теории управления,

---

сформированными в работах [1-3], возникает необходимость определения двух характеристических признаков, по которым целесообразно проводить дальнейшую классификацию. В общем виде, системы могут быть классифицированы по области отраслевого назначения либо практического применения [4-6]. Однако, применительно к рассматриваемой задаче, целесообразно будет рассмотреть признаки, определяющие состояние системы с позиции ее дальнейшего использования. В качестве первого из них может выступить степень полноты априорной информации об объекте управления. По данному признаку, системы можно классифицировать по группам с неполной априорной информацией и с априорной информацией, заданной в виде теоретико-вероятностных характеристик [7]. По своей структурной схеме, системы могут быть многомерными, взаимно регулируемы, регулируемы с переменной структурой, замкнутыми с иерархической структурой управления и системами произвольной сложности [1, 2]. Следовательно, в качестве второго признака классификации, может быть рассмотрена сложность структурной схемы системы. При производстве композитных конструкций, проектирование технологических процессов занимает основное место на стадии технологической подготовки производства (ТПП). Трудоемкость выполнения этой задачи может достигать 60 % трудоемкости всех этапов ТПП, т. е. труд инженеров–технологов при проектировании технологических процессов может быть равен почти 2/3 всех трудовых затрат различных специалистов на трех этапах технической подготовки [8]. В общем виде, технологический процесс производства КМ может быть представлен в качестве совокупности совместно работающих иерархических подсистем высокого уровня. Подсистемы имеют различные степени значимости, а система в целом может быть представлена в виде «древовидной» структуры (рис. 1). Формирование эффективности в структуре технологического процесса производства изделий из КМ представлена на рис. 2.

---



Рис. 1 – Структура технологического процесса производства изделий из КМ

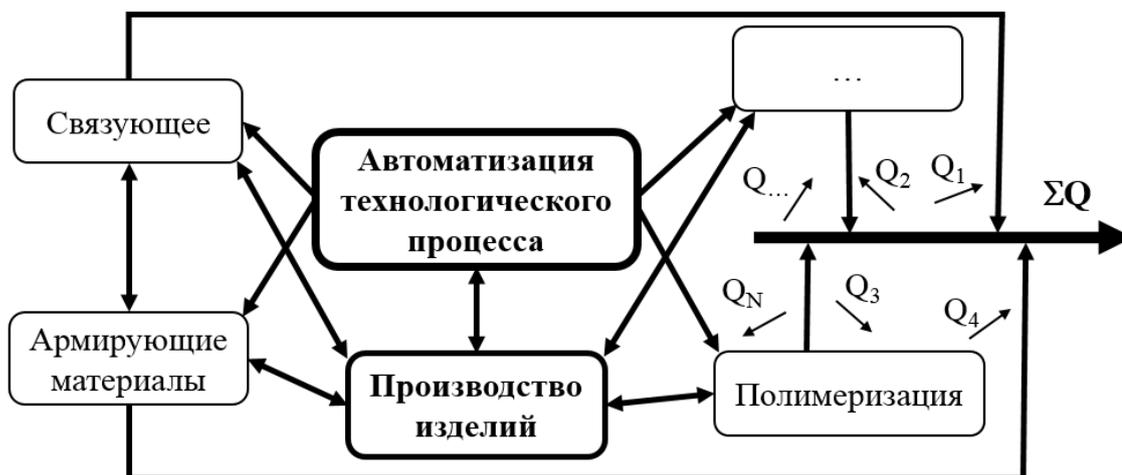


Рис. 2 – Формирование эффективности технологического процесса производства изделий из полимерных КМ

Как видно из рис. 2, технологический процесс производства изделий из полимерных КМ включает в себя целый ряд подсистем, которые вносят свое значение эффективности  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_N$  в общую эффективную работу системы. Каждая из этих подсистем содержит в себе подсистемы более низкого уровня. Они имеют свои особенности и задачи и действуют совместно для достижения общей цели – реализации производственного процесса. Каждую из этих подсистем можно рассматривать как самостоятельную систему по обеспечению производственного цикла.

Отечественные производственные предприятия различных отраслей народного хозяйства, связанные с производством изделий и конструкций из КМ, не используют средства автоматизации ТПП изделий, основанные на применении современных информационных технологий. Производство приобретает характер штучного и направлено, преимущественно, на обеспечение решения локальных задач, возникающих перед конечными потребителями продукции. Решение задачи ТПП при этом, достигается методом последовательных приближений, опираясь на профессиональный опыт ведущих сотрудников. Следствием сложившейся ситуации является то, что массовое оптимальное производство композитных конструкций является исключением из сложившейся конъюнктуры рынка, сформированным единичными случаями передовых производств, применяющих средства автоматизации на этапе ТПП. Основной причиной является отсутствие соответствующего информационного и программного обеспечения, позволяющего в максимальной степени автоматизировать процесс управления производством изделий из композитных полимерных материалов на этапе ТПП [9,10].

Сложившаяся ситуация обусловлена тем, что на сегодняшний день локальные производственные задачи поиска оптимальных технологических параметров переработки при ТПП имеют разработанные аналитические

---

методы решения, которые в совокупности с лабораторными и производственными исследованиями способны обеспечить достижение оптимальных производственных показателей. Данный подход может иметь практическое применение при серийном производстве однотипной продукции, когда не возникает вопрос внесения изменений в режимы технологических процессов. В свою очередь, создание средств автоматизации решения производственных технологических задач требует разработки методик, практическое использование которых способно обеспечить максимальную эффективность применения в широком диапазоне возможной совокупности вариаций режимов технологических режимов.

Таким образом, разработка методологических подходов, направленных на обеспечение оптимального применения средства автоматизации ТПП композитных конструкций, является актуальной задачей, решение которой обусловлено рыночной потребностью в повышении экономической эффективности изделий из КМ.

Выбор рационального способа производства композитных конструкций зависит от материально-технологических, конструктивно-технологических и производственных факторов. Технологические факторы, в свою очередь, определяются технологическими свойствами, которые определяют выбор компонентов и осуществление процессов их переработки в изделия.

Меру технологичности композитной конструкции определяет интегральная оценка совокупности количественных показателей технологических свойств. Как правило, она может быть соотнесена с методами и средствами обеспечения технологического процесса производства.

Специфической особенностью КМ и конструкций является способность к переработке в изделия различными технологическими переходами. Это обусловлено вариабельностью технологических свойств

---

композиции, фиксируемой набором исходных компонентов. Вариация структуры, состава и других характеристических признаков материала, в подавляющем большинстве случаев приводит к изменению технологических свойств композиции. В случае достижения определенной совокупности изменений варьируемых свойств, может быть изменен класс материала и сформированы новые требования к технологическим режимам переработки, не соответствующие предыдущему состоянию композиции. Соответственно, это приведет к изменению совокупности конструкционных, эксплуатационных и прочих определяющих свойств изделия. Так, при увеличении длины волокон волокнистых наполнителей свыше критической, полимерные материалы переходят из разряда пластмасс в разряд армированных пластиков, специфика технологических свойств которых исключает возможность их переработки в изделия, например, литьем под давлением, экструзией, раздувом, вынуждая использовать для этого методы намотки, пултрузии, выкладки [8]. В общем виде, можно представить зависимость процесса переработки от свойств композитной конструкции в виде схемы, изображенной на рис. 3.

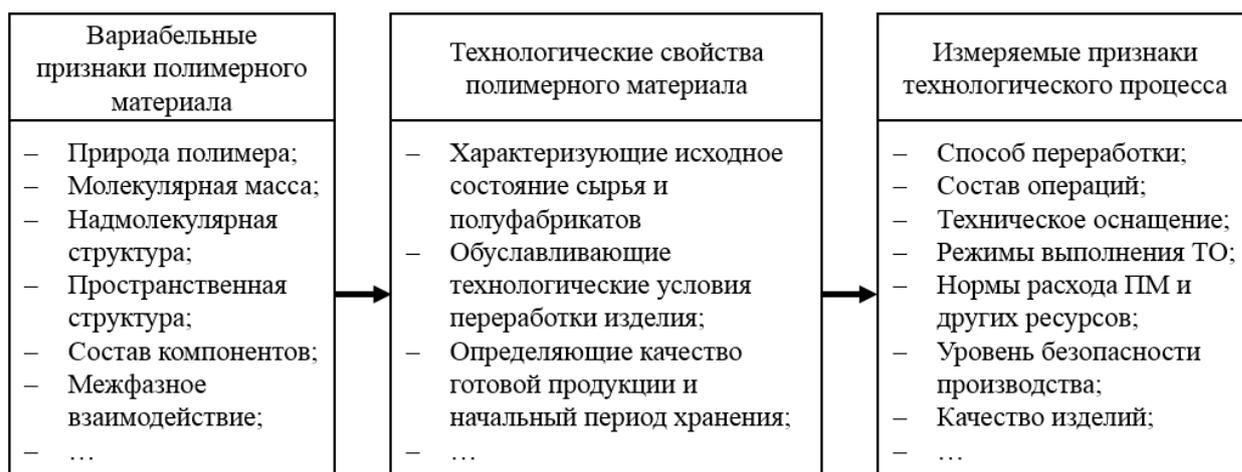


Рис. 3 – Связь технологического процесса и технологических свойств полимерного материала [8]

Современные предприятия сталкиваются с необходимостью обеспечения модификации реактопластичных полимеров исходя из требований к повышению теплопроводности (электропроводности) конечного изделия. При этом, прогнозирование и обеспечение требуемых свойств конечного изделия достигается путем определения параметров технологических процессов путем последовательного приближения. Требования к сужению диапазона разброса параметров изделий от заданных повышаются, ограничиваются сроки выпуска и объемы партий деталей. В этих условиях, отсутствие автоматизированных методик проектирования параметров операций для изделий и конструкций из КМ приводит к увеличению периода ТПП до 30-40 % от общей трудоемкости и становится соизмеримым со сроком нахождения изделия в производстве, а иногда и превышает его. В этих условиях возникает необходимость автоматизации проектных работ для сокращения длительности периода ТПП. Автоматизация технологических операции по модификации связующего на этапе ТПП изделий из КМ затруднена отсутствием моделей, характеризующих процессы диспергации наноразмерных структур в вязкой среде, меняющей вязкость нелинейно в процессе обработки, отсутствием баз данных (Рис. 4) с оптимальными режимами проведения технологических операций.

Решение задачи автоматизации ТПП композитных конструкций позволит обеспечить повышение производительности изготовления изделий из КМ при повышении экономической эффективности за счет снижения себестоимости обусловленного оптимизацией режимов переработки, снижением производственного брака и сокращения работ по подбору оптимальных технологических режимов переработки.



Рис. 4 – Схема информационного потока данных на этапе ТПП изделий из КМ

Повышение качества ТПП композитных конструкций может быть достигнуто с помощью современных методов интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ. Перспективным, на сегодняшний день, является направление ресурсного обеспечения решения задач

многофакторной автоматизации процессов, связанных с ТПП посредством использования автоматизированных систем управления, построенных с помощью искусственных нейронных сетей, основанных на массовой параллельной обработке большого объема информации и способности к самообучению по примерам обучающих выборок [11-13]. Представленные в работах [14-16] примеры решения задач интеллектуализации в машиностроении свидетельствуют о целесообразности применения средств нейросетевого моделирования.

Из вышеизложенного следует, что исследования, направленные на разработку моделей взаимосвязи качественных характеристик изделия и технологических параметров его переработки, с последующим построением алгоритмов автоматизации выбора оптимальных технологических режимов переработки КМ, являются актуальными.

### Литература

1. Брюханов В.Н., Косов М.Г., Протопопов С.П., Соломенцев Ю.М. Теория автоматического управления / Под ред. Соломенцева Ю.М. 3-е, стер. изд. М.: Высшая школа, 2000. 268 с.
2. Александровский Н.М., Егоров С.В., Кузин Р.Е. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами / Под ред. Александровского Н.М. М.: Энергия, 1973. 272 с.
3. Васильев В.И., Гусев Ю.М., Ефанов В.И. и др. Многоуровневое управление динамическими объектами / Под ред. Васильева В.И. М.: Наука, 1998. 309 с.
4. Ильясов Б.Г., Миронов В.В., Юсупова Н.И. Модели предупреждения критических режимов управления объектов в условиях неопределенности / Под ред. Ильясова Б.Г. Уфа: Препринт УНИ РАН, 1994. 245 с.



5. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 2005. 168 с.
  6. Земляков С.Д. Принципы построения и методы исследования адаптивных САУ. М.: Высшая школа, 1978. 113 с.
  7. Кашьян Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М.: Наука, 1983. 384 с.
  8. Головкин Г.С. Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов. М.: Колос, 2007. 399 с.
  9. Мамиконов А.Г. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высшая школа, 1994. 303 с.
  10. Тюков Н.И., Даутов А.И., Полякова Л.Ю., Закурдаева Е.А. Методология проектирования систем автоматизации технологических процессов производства изделий из композитов // Вестник ИжГТУ. 2007. № 2. С. 36-38.
  11. Шумихин А.Г., Бояршинова А.С. Параметрическая идентификация систем управления с обратной связью на основе нейросетевого моделирования процессов их функционирования // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4124](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4124)
  12. Кулакович А.Ю. Программная реализация однослойной нейронной сети для распознавания цифровых символов // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5119](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5119)
  13. Лиля В.Б., Костюков А.В. Экспертная система диагностики силовых трансформаторов // Инженерный вестник Дона, 2009, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/143](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/143)
  14. Nguyen D., Widrow B. Improving the learning speed of 2-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights // 1990 IJCNN International Joint Conference on Neural Networks. IEEE, 1990. pp. 21-26. doi: 10.1109/ijcnn.1990.137819
-

15. Grabusts P., Zorins A. The Influence of Hidden Neurons Factor on Neural Network Training Quality Assurance // Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Volume III. 2015. Vol. 76. P. 81. doi: 10.17770/etr2015vol3.213

16. Papageorgiou E.I., Poczęta K. A two-stage model for time series prediction based on fuzzy cognitive maps and neural networks // Neurocomputing. 2017. Vol. 232. pp. 113-121. doi: 10.1016/j.neucom.2016.10.072

### References

1. Bryukhanov V.N., Kosov M.G., Protopopov S.P., Solomentsev Yu.M. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Automatic Control Theory]. Pod redakciej Solomentseva Yu.M. 3-e, ster. izd. M.: Vysshaya shkola, 2000. 268 p.

2. Aleksandrovskiy N.M., Egorov S.V., Kuzin R.E. Adaptivnyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya slozhnymi tekhnologicheskimi protsessami [Adaptive systems of automatic control of complex technological processes]. Pod redakciej Aleksandrovskogo N.M. M.: Energiya, 1973. 272 p.

3. Vasil'yev V.I., Gusev YU.M., Efanov V.I. I dr. Mnogourovnevoye upravleniye dinamicheskimi ob'yektami [Multilevel management of dynamic objects]. Pod redakciej Vasil'yeva V.I. M.: Nauka, 1998. 309 p.

4. Il'yasov B.G., Mironov V.V., YUsupova N.I. Modeli preduprezhdeniya kriticheskikh rezhimov upravleniya ob'yektov v usloviyakh neopredelennosti [Models of prevention of critical facilities management regimes in the face of uncertainty]. Pod redakciej Il'yasova B.G. Ufa: Preprint UNI RAN, 1994. 245 p.

5. Volchkevich L.I. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov [Automation of production processes]. M.: Mashinostroyeniye, 2005. 168 p.

6. Zemljakov S.D. Principy postroeniya i metody issledovaniya adaptivnykh SAU [The principles of construction and research methods of adaptive automatic control systems]. M.: Vysshaya shkola, 1978. 113 p.

7. Kash'yan R.L., Rao A.R. Postroyeniye dinamicheskikh stokhasticheskikh modeley po eksperimental'nym dannym [Construction of dynamic stochastic models from experimental data]. M.: Nauka, 1983. 384 p.
8. Golovkin G.S. Proyektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya izdeliy iz polimernykh materialov [Design of technological processes for the manufacture of products from polymeric materials]. M.: Kolos, 2007. 399 p.
9. Mamikonov A.G. Teoreticheskiye osnovy avtomatizirovannogo upravleniya [Theoretical Foundations of Automated Control]. M.: Vysshaya shkola, 1994. 303 p.
10. Tyukov N.I. et al. Vestnik IZhGTU imeni M.T. Kalašnikova. 2007. № 2. pp. 36-38.
11. Shumihin A.G., Bojarshinova A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4124](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4124)
12. Kulakovich A.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5119](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5119)
13. Lila V.B., Kostjukov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2009, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/143](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/143)
14. Nguyen D., Widrow B. IJCNN International Joint Conference on Neural Networks. IEEE, 1990. pp. 21-26. doi: 10.1109/ijcnn.1990.137819
15. Grabusts P., Zorins A. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Volume III. 2015. Vol. 76. P. 81. doi: 10.17770/etr2015vol3.213
16. Papageorgiou E.I., Poczęta K. Neurocomputing. 2017. Vol. 232. pp. 113-121. doi: 10.1016/j.neucom.2016.10.072