

11. Миниатюрный коаксиальный резонатор и полосо-пропускающий фильтр на его основе со сверхширокой полосой заграждения / Б. А. Беляев, А. М. Сержантов, В. В. Тюрнев, А. А. Лексиков, Ан. А. Лексиков // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38, № 1. С. 95–102.

### References

1. Chen Y.-M., Chang S.-F., Chang C.-C., and Hung T.-J. *Design of stepped-impedance combline bandpass filters with symmetric insertion-loss response and wide stopband range*. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 55, 2007, p. 2191–2199.
2. Belyaev B. A., Butakov S. V., Laletin N. L., Leksikov A. A., Tyurnev V. V. and Chesnokov O. N. *Selective properties of microstrip filters designed on quarter-wave codirectional hairpin resonators*. Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 51, 2006, N. 1, pp. 20–30.
3. Lin S.-C., Deng P.-H., Lin Y.-S., Wang C.-H., Chen C.H. *Wide-stopband microstrip bandpass filters using dissimilar quarter-wavelength stepped-impedance resonators*. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 54, 2006, p. 1011–1017.
4. Kuo J.-T., Shih E. *Microstrip stepped impedance resonator bandpass filter with an extended optimal rejection bandwidth*. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, 2003, p. 1554–1559.
5. Kuo T.-N., Li W.-C., Wang C.-H., Chen C.H. *Wide-stopband microstrip bandpass filters using quarter-wavelength stepped-impedance resonators and bandstop*

*embedded resonators*. IEEE Microwave Wireless Components Letters, Vol. 18, 2008, No. 6, p. 389–391.

6. Chen Y.-M., Chang S.-F., Chang C.-C., Hung T.-J. *Design of stepped-impedance combline bandpass filters with symmetric insertion-loss response and wide stopband range*. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 55, 2007, p. 2191–2199.

7. Kuo J.-T., Chen S.-P., Jiang M. *Parallel-coupled microstrip filters with over-coupled end stages for suppression of spurious responses*. IEEE Microwave Wireless Components Letters, Vol. 13, 2003, No. 10, p. 440–442.

8. Sánchez-Soriano M.Á., Torregrosa-Penalva G., Bronchalo E. *Multispurious suppression in parallel-coupled line filters by means of coupling control*, IET Microwaves Antennas & Propagation, Vol. 6, 2012, p. 1269–1276.

9. Belyaev B. A., Laletin N. V., Leksikov A. A., and Serzhantov A. M. *Peculiarities of coupling coefficients of a regular microstrip resonator*. Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 48, 2003, No. 1, p. 31–38.

10. Belyaev B. A., Serzhantov A. M., Tyurnev V. V., Leksikov A. A. *Miniature bandpass filter with a wide stopband up to  $40f_0$* . Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 54, 2012, p. 1117–1118.

11. Belyaev B. A., Serzhantov A. M., Tyurnev V. V., Leksikov A. A., and Leksikov An. A. *Miniature coaxial resonator and related bandpass filter with ultra-wide stopband*, Technical Physics Letters, Vol. 38, 2012, No. 1, p. 47–50.

© Бальва Я. Ф., Сержантов А. М., Ходенков С. А., Иванин В. В., Шокиров В. А., 2013

УДК 62-503.57

А. Ю. Власов<sup>1</sup>, Н. В. Филенкова<sup>2</sup>, Д. Е. Кравчук<sup>2</sup>

## РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННЫХ АНТЕННЫХ РЕФЛЕКТОРОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ\*

<sup>1</sup>ООО «СИБИНВЕНТ-КОСМОС» (МИП СибГАУ)

Россия, 660059, Красноярск, ул. Семафорная, 433, корп. 1, ЛЗ-37

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева  
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: vlasov.anton@gmail.com

*Рассматривается способ адаптивного управления технологическим процессом создания прецизионных антенных рефлекторов из полимерных композиционных материалов заключающийся в том, что последовательно на каждом технологическом этапе измеряются контролируемые и технологические параметры, уточняются экспериментальные зависимости определяющие связь контролируемых параметров с показателями качества готового изделия. На основе полученных данных оптимизируются технологические параметры последующих этапов, обеспечивающие достижения заданных показателей качества готового изделия.*

*Ключевые слова:* адаптивная система управления, технологический процесс, рефлектор, композиционный материал.

\*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 14.513.11.0014 от 11 марта 2013 г.

## DEVELOPMENT OF THE PRECISION SATELLITE REFLECTORS OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS: ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF MANUFACTURING PROCESS

A. Yu. Vlasov<sup>1</sup>, N. V. Filenkova<sup>2</sup>, D. E. Kravchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«SibINVENT-KOSMOS», Ltd

433/1 Semaforная str., Krasnoyarsk, 660059, Russia

<sup>2</sup>Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31 “Krasnoyarskiy Rabochiy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: vlasov.anton@gmail.com

*The way of the adaptive management process of development of the high-precision antenna reflectors, made of polymer composites, is considered. The process proceeds in a successive order, at the each process step the process parameters are measured and controlled, experimental curves defining the relationship of monitored parameters with quality of the finished product, are refined. On the basis of the obtained data the process parameters of the following stages, providing for the finished product quality target value, are optimized.*

*Keywords: adaptive control system, manufacturing process, parabolic reflector, composite material.*

Процесс производства изделий сложной формы из полимерных композиционных материалов (ПКМ) достаточно трудоемок, в ходе производства требуется контролировать множество параметров, образующих между собой нелинейные зависимости, причем от характера эволюции процесса в прошлом зависят его статистические характеристики в будущем. Таким образом, технологическому процессу производства изделий из ПКМ присущи все признаки немарковского процесса. В конечном счете, определенное сочетание технологических параметров определяет эксплуатационные качества изделия. Обеспечить соответствие эксплуатационных качеств готового изделия заданным призвана адаптивная система управления технологическим процессом. При выходе значений хотя бы одного параметра за пределы допустимого диапазона, изделие не будет иметь требуемых от него свойств и будет отбраковано, что приведет к временным и материальным потерям.

Построение интегрированной автоматизированной системы управления позволит на более высоком уровне решать задачи автоматизации производства изделий из ПКМ. Такая система способна не только поддерживать рассчитанные ранее параметры режима получения изделий, но и следить за ходом процесса, корректировать технологический режим при разбросе свойств исходных материалов и изменении требований к изделию, реагировать на возникновение нестандартных ситуаций [1].

В настоящей работе обозначенная проблема решается путем измерения на каждом этапе технологического процесса контролируемых параметров, характерных для данного этапа, определения по известным экспериментальным зависимостям качества готового изделия от этих параметров путем оптимизационных вычислений значения возможных показателей качества изделия, сравнивают их с заданными и производят корректировку технологических параметров последующего этапа.

Таким образом, ориентируясь на один из ключевых показателей качества готового изделия – СКО

(среднеквадратичное отклонение) определяются коэффициенты функции показывающей вероятность достижения желаемого СКО образца в зависимости от числа слоев [2]. После получения зависимостей для функций определяющих вероятность достижения желаемого СКО от относительной вязкости и числа слоев строим обобщенную зависимость в мультипликативной форме

$$R(\eta_{rel}, n) = \left(1 - \frac{\eta_{rel}^m}{A + \eta_{rel}^m}\right) \cdot \left(1 - \frac{B}{B + \eta_{rel}}\right) \times \\ \times \left(1 - \frac{t_1}{t_2 + n^3}\right) \cdot \left(1 - \frac{n^2}{D + n^2}\right),$$

где  $\eta_{rel}$  – относительная вязкость, как отношение текущего значения вязкости к предельно возможному для данного вида связующего,  $n$  – количество слоев материала характеризующего пропускную способность связующего. Поверхности функции  $R(\eta_{rel}, n)$  показаны на рис. 1.

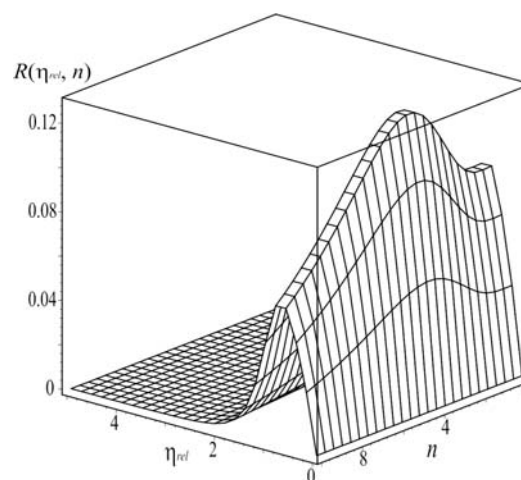


Рис. 1. Вероятность достижения целевого показателя качества изделия из ПКМ от контролируемых параметров вязкости и числа слоев

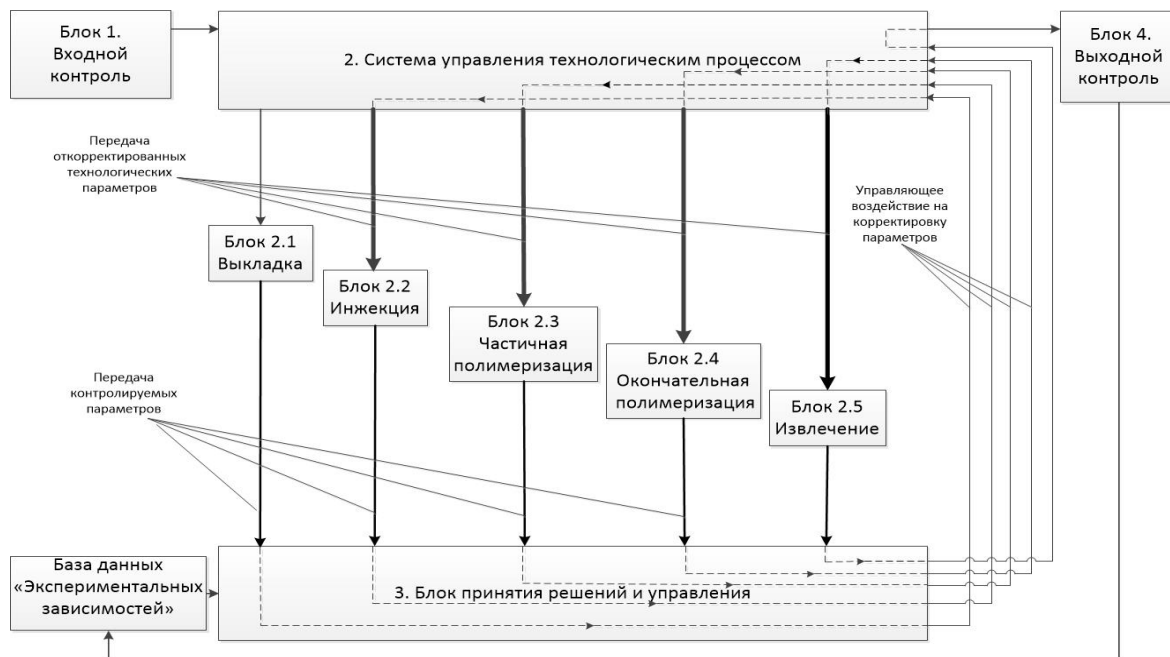


Рис. 2. Принципиальная схема адаптивной системы управления технологическим процессом

Логарифмируя  $R(\eta_{rel}, n)$ , получаем зависимость  $W(\eta_{rel}, n) = \ln(R(\eta_{rel}, n))$  и находим абсолютный максимум этой функции для каждого вида связующего, дифференцируя функцию по параметрам  $\eta_{rel}$  и  $n$  и численно решая систему полученных двух уравнений. Таким образом, определяем оптимальные значения для числа слоев и относительной вязкости, используя экспериментальные зависимости и вычисленные по ним значения константы  $A, B, D, t_1$  и  $t_2$ , которые в свою очередь связаны и параметрами технологического процесса, такими как давление, температура, влажность необходимые для обеспечения оптимального выполнения последующего этапа технологического процесса.

Таким образом, при адаптивном управлении технологическим процессом изготовления антенного рефлектора, осуществляется оптимальный подбор параметров конкретного технологического этапа, что определяет заданное конечное качество изделия. На рис. 2 приведена схема системы адаптивного управления.

Особенностью данной системы управления является последовательная корректировка технологических параметров этапов изготовления изделия. Так получив информацию о контролируемых параметрах первого этапа при определенных технологических параметрах блок принятия решения, основываясь на описанном выше способе оптимизации, выдает управляющее воздействие на корректировку технологических параметров последующего этапа. Таким правилам поведения подчинены все этапы технологического процесса. По завершению технологического процесса полученный опыт в виде уточненных параметров дополняет экспериментальную базу данных зависимостей показателей качества от контролируемых

параметров, которая в свою очередь выдает начальные данные новому изготавливаемому экземпляру. Таким образом, система имеет возможность адаптироваться не только в рамках этапа, но и в рамках технологических процессов при серийном выпуске продукции.

В работе рассмотрен подход к построению системы адаптивного управления технологическим процессом изготовления прецизионных изделий из ПКМ. Данный подход основан на использовании экспертных зависимостей показателей качества от параметров составных частей изделия в качестве базовых элементов, относительно которых строится оптимизация технологических параметров.

#### Библиографические ссылки

1. Семенова Е. Г. Основы моделирования и диагностики антенных устройств бортовых комплексов. СПб.: Политехника, 2003. 186 с.
2. Суховольский, В. Г. Экономика живого: Оптимизационный подход к описанию процессов в экологических сообществах и системах. Новосибирск: Наука, 2004. 140 с.

#### References

1. Semenova E. G. *Osnovy modelirovaniya i diagnostiki antennykh ustroystv bortovykh kompleksov* (Fundamentals of modeling and diagnostics of antenna devices airborne systems). SPb., Politekhnik, 2003, 186 p.
2. Soukhovolsky V. G. *Ekonomika zhivogo: Optimizatsionnyy podkhod k opisaniyu protsessov v ekologicheskikh soobshchestvakh i sistemakh* (The living economy: An optimization approach to the description of processes in ecological communities and systems). Novosibirsk, Nauka, 2004, 140 p.