

Н. А. Алешкин¹, А. П. Алешкин², И. Р. Карпова³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет авиационного приборостроения, ² Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, ³ АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»»

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ В МАЛОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЦИКЛЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

При подготовке технико-экономического предложения на проект по созданию научно-технической продукции необходимо иметь адекватную систему прогнозной оценки себестоимости продукции. Распространенные затратные методы определения себестоимости проекта по статьям калькуляции не позволяют подготовить расчетно-калькуляционные материалы с учетом всех неопределенностей входных переменных, следовательно, привлекательность научно-технического проекта, выражающаяся в экономической эффективности и результативности в целом, приобретает стохастический характер. В статье описана разработанная модель оптимизации ресурсов в малосерийном производственном цикле с применением аппарата нечеткой логики. Оригинальность разработанного решения заключается в том, что модель позволяет использовать нечеткую или неопределенную информацию. Таким образом, за счет возможности применения в процессе формирования плановой ориентировочной цены всего объема релевантной информации повышаются достоверность и обоснованность результатов расчета.

Ключевые слова: нечеткая логика, прогнозирование себестоимости, затраты на реализацию проекта, производственный процесс

Введение

В условиях непрерывно повышающихся требований к результативности производственного процесса (ПП) изготовления малосерийных электронных компонент значительную роль при принятии решения о привлекательности проекта играет себестоимость его реализации. Особенности малосерийного производства, например, специальной электроники являются: длительность производственного цикла, наличие кооперационных связей, отсутствие априорной информации об объемах и стоимости покупных и комплектующих изделий (ПКИ) и т.д.

Таким образом, принимаемые управленческие решения носят рискованный характер для качества технологического процесса, а также могут иметь непрогнозируемые экономические последствия.

При формировании себестоимости проекта необходимо адекватное представление ориентировочных затрат на реализацию. Производственный процесс изготовления электроники характеризуется нестационарностью показателей по статьям затрат, а также неполнотой формального описания технологического цикла. Управление подобного рода процессами является сложной в прикладном

смысле задачей, поскольку для построения традиционной системы управления необходимо детальное описание планируемых операций по исполнению обязательств, а также уточнение критериев управления, сформированных на базе математического аппарата, оперирующего количественными категориями.

На практике процессом формирования себестоимости занимается инженер-экономист в кооперации с техническим специалистом. Используя собственный опыт, он принимает решения, не имеющие строгого математического описания. Поэтому построение моделей и процедур, приближенных к рассуждениям высококвалифицированного и опытного специалиста, и их последующее использование в системе оптимизации выступает в качестве одного из важнейших направлений модернизации способа формирования себестоимости.

Оптимизация процесса использования ресурсов в малосерийном производственном цикле

На сегодняшний день широко используются методы прогнозирования себестоимости работ, разработанные в соответствии с Приказом Минпромэнерго России от 23.08.2006 № 200 «Об утверждении

Порядка определения состава затрат на производство продукции оборонного назначения, поставляемой по государственному оборонному заказу», Приказом ФАС № 116/18 от 31.01.2018, типовыми рекомендациями Миннауки РФ 15.06.1994 № ОР-22-2-46 и т.д.

Существенным недостатком упомянутых нормативных актов является отсутствие релевантной информации о сложившихся взаимосвязях в организации, ее организационной структуре, географическом расположении, специфике организации ПП изготовления электроники и техническом уровне оснащения предприятия.

Одним из направлений совершенствования процесса оптимизации затрат на реализацию ПП изготовления электроники является способ, в основе которого лежит реализация аппарата нечеткого регулирования.

Теория нечеткой логики предоставляет возможность описания и прогнозирования процессов, для которых отсутствует возможность аналитической формализации исходной информации [1].

Математическое представление выявленных связей, как правило, отсутствует, однако имеется некоторый опыт управления процессом, который может быть положен в основу базы экспертных знаний.

Методы теории нечеткого управления опираются на размытую вероятностную логику и позволяют оперировать недоопределенной информацией,

нерелевантно интерпретируемой в количественных терминах [2].

При управлении процессами, не имеющими аналитического описания, корректно выстроенные нечеткие системы, по сравнению с традиционными, имеют более высокие показатели по устойчивости и точности благодаря более адекватному учету дестабилизирующих воздействий со стороны реальной среды, в которой они функционируют.

Использование аппарата нечеткой логики позволяет построить некоторое множество лингвистических заключений, положенных в основу функционирования нечеткого регулятора (НР), который осуществляет управление в соответствии с базой продукционных правил на основе лингвистических переменных, определяющих текущее состояние объекта, а цель управления задается достижением его желаемого значения.

Конфигурация системы с НР, реализующей управление по состоянию, изображена на рис. 1.

Для выполнения процедуры фаззификации числовых значений входных данных в среде компьютерного моделирования MATLAB использован пакет FuzzyLogicToolbox, иллюстрация НР представлена на рис. 2.

Нечеткий вывод представляет собой процесс получения заключений в нечеткой форме о величине трудоемкости выполнения работ, сформированной

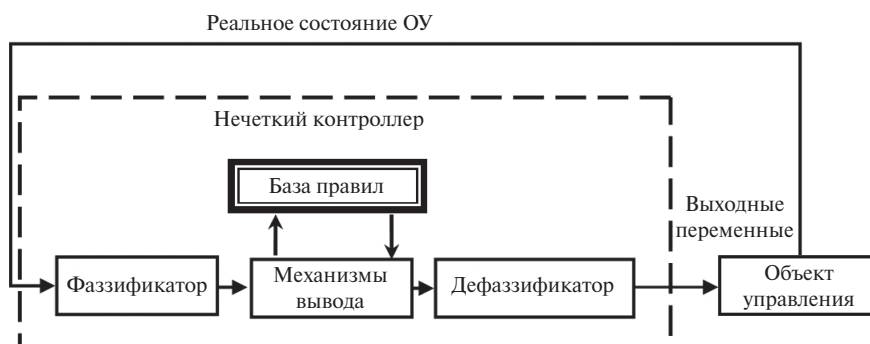


Рисунок 1. Система управления с НР и управлением по состоянию

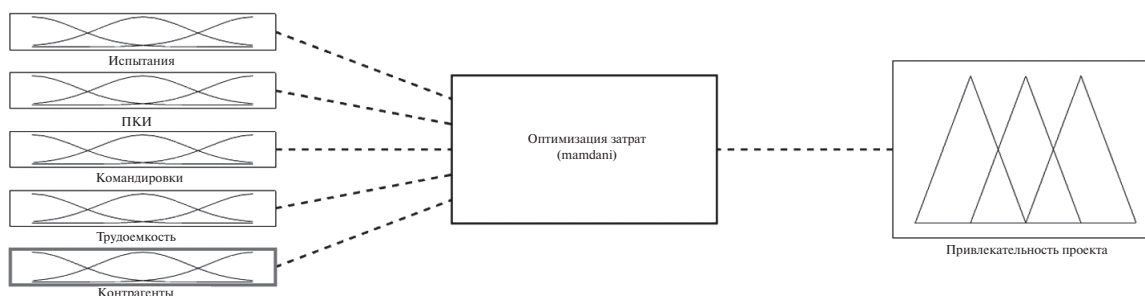


Рисунок 2. Модель НР в пакете FuzzyLogicToolbox

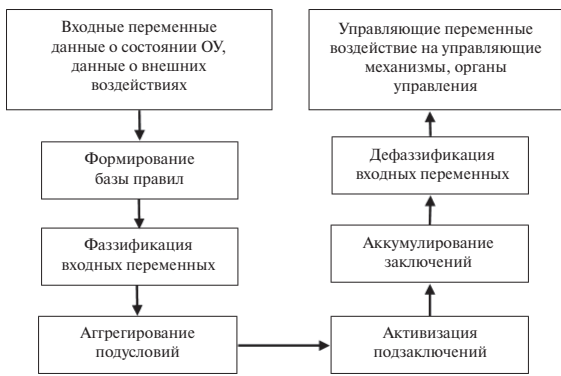


Рисунок 3. Принцип формирования нечеткого вывода

с помощью лингвистических переменных, в основе которых лежит информация о текущем состоянии реализации проекта. Разработка и применение систем нечеткого вывода должны реализовываться в соответствии с определенными этапами теории нечеткой логики (рис. 3) [3, 4].

Чем более полно и скрупулезно составлена база правил, тем менее размытым и более точным будет результат управления (рис. 4).

Следует принимать во внимание тот факт, что ориентировочная оценка продукции проводится экспертным методом на основании технических предложений при отсутствии разработанной технической документации. Как правило, информация о проекте ограничена одной или несколькими технико-эксплуатационными характеристиками, что приводит к значительному отличию ориентировочных затрат от фактических [1].

При планировании материальных затрат точность прогноза повышается с увеличением коммерческих предложений от организаций поставщиков (контрагентов), в случае же оценки трудоемкости выполнения работ, от которой непосредственно зависит стоимость проекта, допустимо использование нескольких значимых параметров, определяющих трудозатраты при управлении ПП [5].

Себестоимость научно-технической продукции (НТП) состоит из затрат, непосредственно связанных с ее изготовлением и производством (материальные затраты, а также трудоемкость выполнения работ), которые предусматриваются техническими условиями (методиками, исходными данными, договором иным аналогичным документом).

В качестве входных переменных НР, отражающих минимальный набор параметров, с помощью которого возможен процесс оптимизации затрат, были выбраны следующие характеристики процесса:

- затраты на проведение испытаний (в качестве термина лингвистической переменной «Затраты на проведение испытаний» будем использовать множество {«низкие», «приемлемые», «значительные»});
- материальные затраты – покупные и комплектующие изделия, сырье и основные материалы, используемые в ПП изготовления НТП (в качестве термина лингвистической переменной «Материальные затраты» будем использовать множество {«низкие», «приемлемые», «значительные»});
- трудоемкость выполнения работ – собственные затраты на проект (в качестве термина лингвистической переменной «Трудоемкость выполнения



Рисунок 4. Задание базы правил модели НР

- работ» будем использовать множество {«недостаточная», «покрывающая», «достаточная»});
- затраты на контрагентов – отражаются затраты на привлечение сторонних организаций для выполнения работ и услуг (в качестве термина лингвистической переменной «Затраты на контрагентов» будем использовать множество {«низкие», «приемлемые», «значительные»} (рис. 5);
- затраты на командировки – расходы, связанные со служебными командировками (в качестве термина лингвистической переменной «Затраты на командировки» будем использовать множество {«низкие», «приемлемые», «значительные»}).

В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать терм-множество «Привлекательность реализации проекта» со значениями {«самая низкая», «низкая», «средняя», «высокая», «самая высокая»} (рис. 6).

Для формирования базы знаний используются лексические категории (информация, которой оперирует специалист, осуществляющий управление ПП), преобразуемые в лингвистические переменные. Графическое представление процедуры определения привлекательности проекта

в зависимости от входных характеристик приведено на рис. 7.

На основе приобретенного специалистом опыта формируются лексические категории, благодаря которым может быть составлена таблица отношений нечетких переменных (см. таблицу).

Преимущество разработанного способа заключается в автоматизации возможности применения простых продукционных правил, содержащихся в составленной элементарной базе знаний.

Управление процессом формирования себестоимости НТП с использованием НР возможно только при наличии базы правил, которая составлена на основании мнений квалифицированных специалистов, полученных опытным путем посредством мониторинга исследуемого процесса.

При формировании себестоимости и группировке статей затрат вручную задача инженера-экономиста заключается в выборе оптимальных значений статей себестоимости с использованием разработанной базы правил.

Сформулируем некоторые правила, описывающие способ оптимизации затрат:

$$1. \text{ IF } \langle Z_{\text{исп}} \rangle = \langle N \rangle \text{ And } \langle Z_{\text{ПКИ}} \rangle = \langle Z \rangle \text{ And } \langle \text{Tr} \rangle = \langle P \rangle, \\ \text{ THEN } \langle \text{AtP} \rangle = \langle SP \rangle;$$

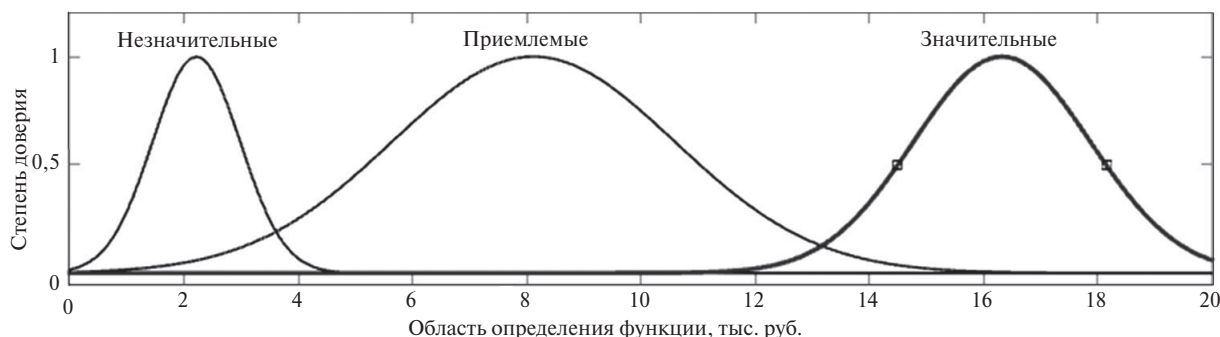


Рисунок 5. Иллюстрация диапазона функций принадлежности для термов лингвистической переменной «Затраты на контрагентов»

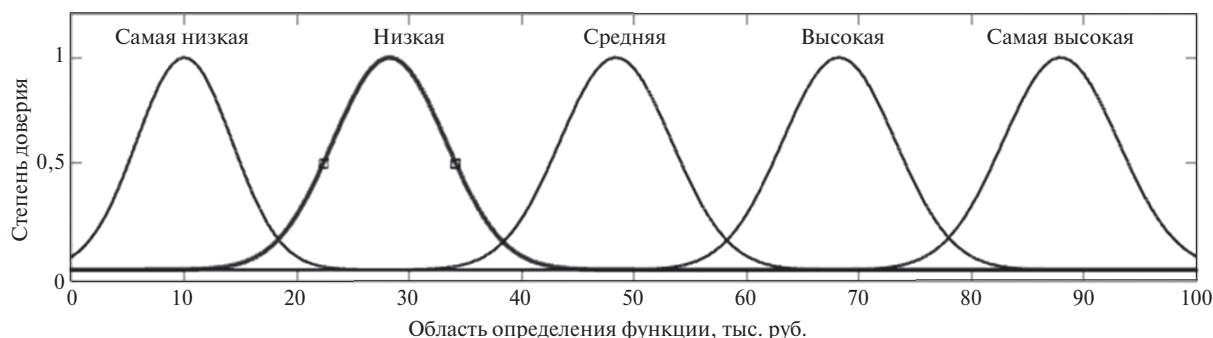
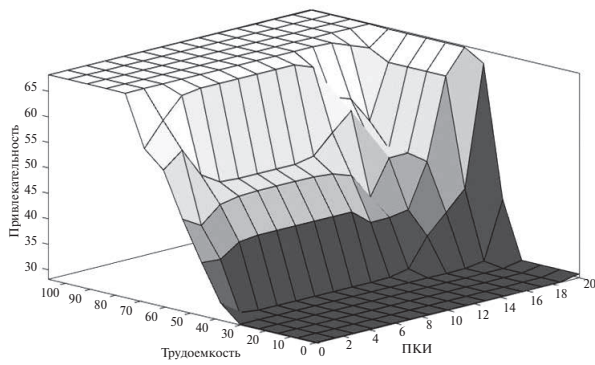
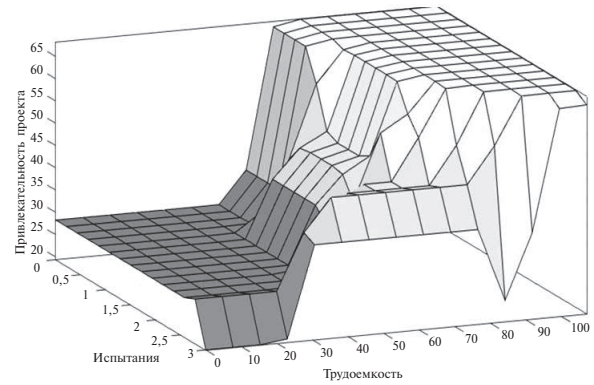


Рисунок 6. Иллюстрация диапазона функций принадлежности для термов лингвистической переменной «Привлекательность проекта»



а)



б)

Рисунок 7. Определение привлекательности проекта в зависимости от входных данных: а – трудоёмкости и затрат на ПКИ; б – испытаний и трудоёмкости

Таблица. Описание характеристик процесса формирования и управления себестоимостью проекта в терминах нечеткого управления

Физическая величина	Значение величины	Лингвистическая переменная	Термы лингвистической переменной	Характеристика термина
Входная переменная				
Затраты на проведение испытаний образца изделия, руб.	(0; 1)	Затраты на испытания ($Z_{исп}$)	N	Низкие
	(1; 2)		Sn	Приемлемые
	(2; 3)		P	Значительные
Материальные затраты, покупные и комплектующие изделия, руб.	(0; 4)	Затраты на ПКИ ($Z_{пкИ}$)	N	Низкие
	(3; 13)		Z	Приемлемые
	(10; 20)		P	Значительные
Трудоёмкость выполнения работ, собственные и привнесенные, чел./ч	(0; 45)	Трудоёмкость работ (Tr)	N	Недостаточная
	(40; 65)		Z	Покрывающая
	(65; 110)		P	Достаточная
Затраты на контрагентов, соисполнители работ, руб.	(0; 4)	Контрагентские затраты ($Z_{к/а}$)	N	Низкие
	(3; 14)		Z	Приемлемые
	(12; 20)		P	Значительные
Командировочные расходы, руб.	(0; 1)	Командировочные расходы ($Z_{ком/р}$)	N	Низкие
	(1; 2)		Sn	Приемлемые
	(2; 3)		P	Значительные
Выходная переменная				
Привлекательность реализации проекта	0–20	Привлекательность проекта (AtP)	N	Самая низкая
	20–40		SN	Низкая
	40–60		Z	Средняя
	60–80		SP	Высокая
	80–100		P	Самая высокая

2. IF « $Z_{исп}$ » = « Sn » And « $Z_{пкИ}$ » = « Z » And « $Z_{к/а}$ » = (« N » ИЛИ « Z »), THEN « AtP » = « Sp »;
3. IF « $Z_{исп}$ » = « P » And « $Z_{пкИ}$ » = « P » And « Tr » = (« N » ИЛИ « Z »), THEN « AtP » = « SN »;

4. IF « $Z_{пкИ}$ » = « P » And « $Z_{ком/р}$ » = « P » And « $Z_{к/а}$ » = « P », And « Tr » = « N » THEN « AtP » = « N »;
5. IF « $Z_{пкИ}$ » = « N » And « $Z_{ком/р}$ » = « Sn » And « Tr » = « P », THEN « AtP » = « P »;

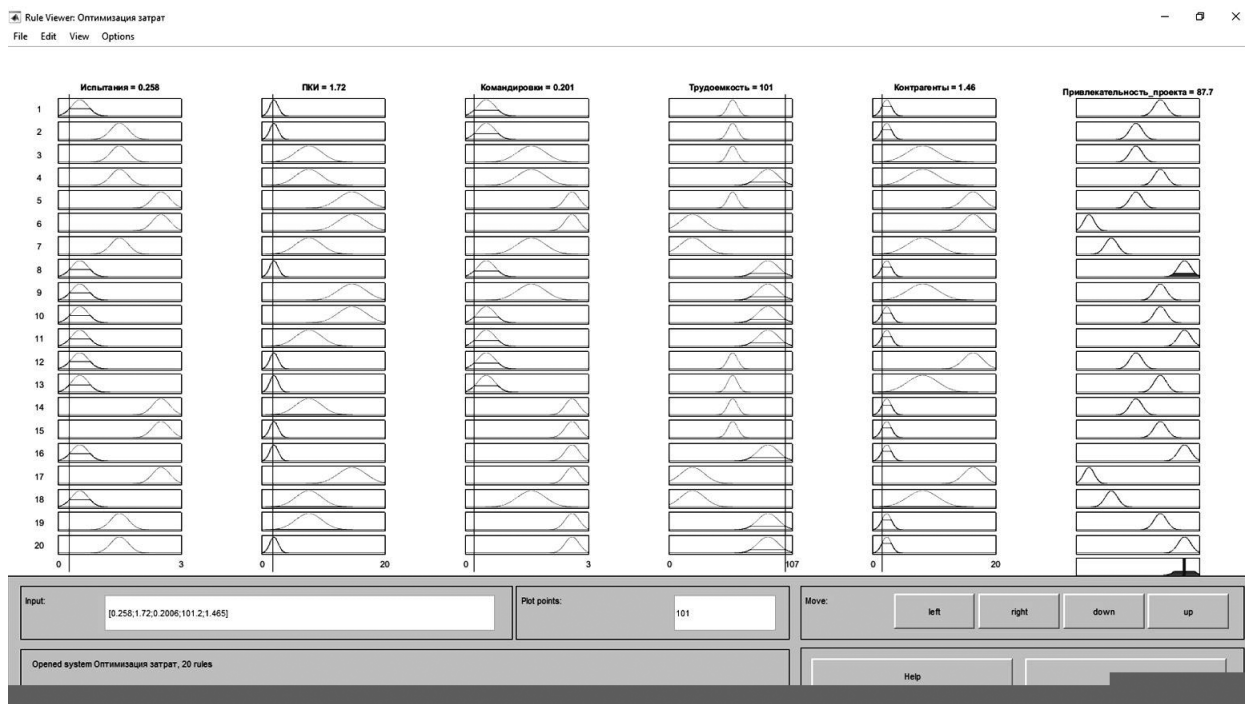


Рисунок 8. Иллюстрация процедуры дефаззификации в пакете FuzzyLogicToolbox

где $\langle Z_{ПКИ} \rangle$, $\langle Z_{Исп} \rangle$, $\langle Z_{к/а} \rangle$ и $\langle Z_{ком/р} \rangle$, $\langle AtP \rangle$, $\langle Tr \rangle$ – лингвистические переменные процесса; $\langle P \rangle$, $\langle N \rangle$, $\langle Sn \rangle$, $\langle Z \rangle$, $\langle Sp \rangle$, $\langle P \rangle$ – термы лингвистических переменных.

В качестве метода дефаззификации используем метод центра тяжести.

На рис. 8 представлена операция дефаззификации лингвистических переменных в MATLAB.

Применение разработанного способа в рамках теории нечеткого управления позволяет учесть в процессе прогнозирования затрат на реализацию проекта по созданию НТП качественные факторы, характеризующие конкретные технологические особенности производственных предприятий.

Заключение

Таким образом, применение адаптированной технологии нечеткого описания недоопределенных аналитических процедур в малосерийном производственном цикле позволяет сформировать математическую модель исследуемого явления. Полученная модель также может служить не только средством оценивания эффективности предложенных решений, но и источником новых знаний. Иными словами, речь может идти о привлечении соответствующего инструментария для реализации когнитивных цифровых технологий управления малосерийным производством и, таким образом, внедрения инновационных подходов, укладывающихся в русло концепции четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин М. Ю., Раев В. В. Прогнозирование себестоимости постройки судна с использованием аппарата теории нечетких множеств // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2012. № 2. С. 74–80.
2. Алешкин Н. А., Семенова Е. Г. Совершенствование систем автоматического регулирования климатических параметров технологического процесса при производстве микроэлектроники в условиях возмущений // Вопросы радиоэлектроники. 2016. Вып. 6. С. 57–61.
3. Алиев Р. А., Церковный А. Э., Мамедов Г. А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.
4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
5. Балашов В. М., Морозов С. А., Смирнова М. С. Управление производственно-технологическими комплексами в условиях неопределенности // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 2. С. 86–89.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алешкин Никита Андреевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, тел.: 8 (921) 892-58-57, e-mail: ales_nikita@mail.ru.

Алешкин Андрей Петрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры передающих, антенно-фидерных устройств и средств СЕВ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, тел.: 8 (921) 940-21-22, e-mail: a_aleshkin@mail.ru.

Карпова Ирина Руслановна, к.т.н., доцент, начальник отдела, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, тел.: 8 (911) 924-28-05, e-mail: karpova_ir@radar-mms.com.

For citation: Aleshkin N.A., Aleshkin A.P., Karpova I.R. The model of optimizing resources in a limited-edition production cycle based on the application of fuzzy logic. Voprosy radioelektroniki, 2018, no. 9, pp. 84–90. DOI 10.21778/2218-5453-2018-9-84-90

N. A. Aleshkin, A. P. Aleshkin, I. R. Karpova

THE MODEL OF OPTIMIZING RESOURCES IN A LIMITED-EDITION PRODUCTION CYCLE BASED ON THE APPLICATION OF FUZZY LOGIC

When preparing a technical and economic proposal for a project for the creation of scientific and technical products, it's necessary to have an adequate system of predictive evaluation of the cost of production. The widespread cost methods of determining the cost of the project by calculation items don't allow preparing calculation and calculation materials taking into account all the uncertainties of the input variables, therefore, the attractiveness of the scientific and technical project, expressed in economic efficiency and effectiveness in general, acquires a stochastic character. In the article a model for optimization of resources in a small-series production cycle with the use of a fuzzy logic apparatus is developed. The originality of the developed solution lies in the fact that the model allows using fuzzy or indefinite information, and, consequently, the validity and reliability of the calculation results is increased due to the possibility of using all relevant information in the process of forming the forecast price.

Keywords: fuzzy logic, forecasting of cost, the cost of the project, the production process

REFERENCES

1. Alekhin M. Yu., Raev V. V. Forecasting the ship building cost with the use of the apparatus of fuzzy sets theory. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*, 2012, no. 2, pp. 74–80 (In Russian).
2. Aleshkin N. A., Semenova E. G. Improvement of systems for automatic regulation of process climatic parameters in manufacture of microelectronics in disturbances conditions. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, iss. 6, pp. 57–61 (In Russian).
3. Aliev R. A., Cerkovnyj A. E., Mamedov G. A. *Upravlenie proizvodstvom pri nechetkoj iskhodnoj informacii* [Production management with fuzzy source information]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991, 240 p. (In Russian).
4. Leonenkov A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH environments]. Saint-Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2005, 736 p. (In Russian).
5. Balashov V. M., Morozov S. A., Smirnova M. S. Management of production and technology complexes in conditions of uncertainty. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 2, pp. 86–89 (In Russian).

AUTHORS

Aleshkin Nikita, PhD, senior tutor of the department, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67A, Bolshaya Morskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation, tel.: +7 (921) 892-58-57, e-mail: ales_nikita@mail.ru.

Aleshkin Andrey, Dr., professor, professor of the Department of broadcasting, antenna-feeder devices and means of UTS, Mozhaisky Military Space Academy, 13, Zhdanovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197198, Russian Federation, tel.: +7 (921) 940-21-22, e-mail: a_aleshkin@mail.ru.

Karpova Irina, PhD, associate professor, head of the department, JSC Research and Production Enterprise Radar mms, 37 A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, tel.: 8 (911) 924-28-05, e-mail: karpova_ir@radar-mms.com.