

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ (ЗАГОТОВОК) СЕКЦИЙ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА

Терешина Ю.В., Смирнов Г.В., Кокарева В.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара*

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, аддитивное производство, аддитивно-мультипликативная модель, риск, нежелательное событие, оценка, вероятность.

Аннотация. В статье приведена оценка рисков производства деталей (заготовок) секций сопловых аппаратов методом селективного лазерного сплавления металлического порошка с применением аддитивно-мультипликативной модели. Выделено 10 основных этапов выполнения производства деталей, также выделены частные риски на каждом этапе. Выявлены факторы риска, вносящие наибольший вклад в суммарный риск.

MODEL FOR ASSESSING THE RISKS OF PRODUCTION OF PARTS (PREPARATIONS) OF SECTIONS OF NOZZLES OF THE METHOD BY SELECTIVE LASER MELTING OF METAL POWDER

Tereshina Yu.V, Smirnov G.V., Kokareva V.V.

Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara

Keywords: selective laser melting, additive production, additive-multiplicative model, risk, undesirable event, assessment, probability.

Abstract. The article presents an assessment of the risks of production of parts (preparations) of sections of nozzles of the method by selective laser melting of metal powder using an additive-multiplicative model. There are 10 main stages of production of parts, as well as private risks at each stage. The risk factors that make the greatest contribution to the total risk are identified.

В основу разработки модели оценки рисков аддитивного производства положена аддитивно-мультипликативная модель [1,2]. Модель основана на трех уровнях декомпозиции риска, на нижнем уровне которого оценки рисков складываются аддитивно, т.е. суммарно, а на верхнем уровне оценка риска производства изделия рассчитывается мультипликативно, т.е. перемножением (рисунок 1).

Цель создания модели – оценка риска наступления нежелательного события при производстве деталей (заготовок) секций сопловых аппаратов методом селективного лазерного сплавления металлического порошка. Наступление нежелательного события является случайным событием – подмножеством множества всех возможных элементарных событий. Риск (нежелательное событие) – R , его числовая вероятностная оценка – Q .

Если Q – вероятность наступления нежелательного события R , то вероятность не наступления нежелательного события $P = 1 - Q$. Вероятность выполнения заказа равна произведению вероятностей нежелательных событий R_1 ,

$R_2, \dots, R_m$: $P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_m$. Если k – число событий второго уровня, тогда вероятность события R_1 примет вид:

$$P_1 = 1 - Q_{11} - Q_{12} - \dots - Q_{1k} = 1 - A_{11} \cdot X_{11} - A_{21} \cdot X_{21} - A_{31} \cdot X_{31},$$

где X_{11}, X_{21}, X_{31} – лингвистические оценки факторов риска второго порядка при оценке частного i -го риска; A_{11}, A_{21}, A_{31} – весовые коэффициенты этих факторов.

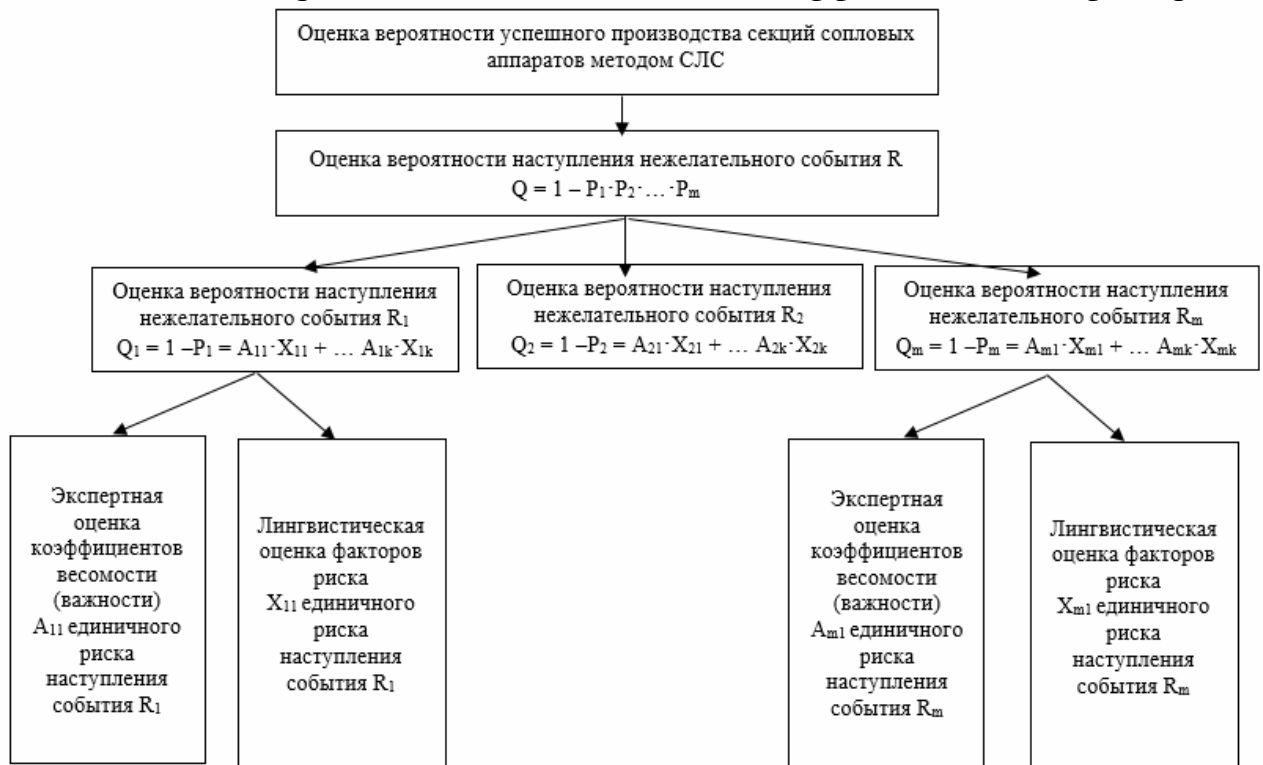


Рис. 1. Декомпозиция рисков с помощью «дерева событий»

При оценке Q_{1j} риска R_{1j} определяется важность (весовой критерий) этого вида риска A_{1j} .

Вероятность наступления нежелательного события R_{ij} можно оценить лингвистической переменной X_{ij} с помощью опроса экспертов:

- 0 – практически невозможное событие (с вероятностью не более 0,01);
- 1 – крайне маловероятное событие (с вероятностью от 0,01 до 0,05);
- 2 – маловероятное событие (вероятность от 0,05 до 0,10);
- 3 – событие с вероятностью, которой нельзя пренебречь (от 0,10 до 0,20);
- 4 – достаточно вероятное событие (вероятность от 0,20 до 0,30);
- 5 – событие с заметной вероятностью (более 0,30).

Для оценки рисков выполнения заказа по производству секций сопловых аппаратов методом СЛС процесс был разделен на этапы. На каждом этапе имеются частные риски R_{ij} второго порядка (таблица 1).

Весовые коэффициенты и оценки факторов риска определены с помощью организованного экспертного опроса [3].

По каждому из 10 этапов экспертам предлагалось распределить 10 баллов по видам рисков в соответствии с их степенью влияния на качество, сроки и стоимость выполнения соответствующего этапа. Тогда весовые коэффициенты A_{ij} факторов риска получаются делением соответствующих оценок экспертов на 50, т.к. $A_{ij} X_{ij} \leq 1$.

Табл. 1. Оценка экспертов частных рисков по этапам производства

№	Виды частных рисков по этапам	Оценки экспертов: $\sum 10$ по каждому этапу	A_{ij}	X_{ij} <i>от 1 до 5</i>	$A_{ij} \cdot X_{ij}$
1. Анализ спецификации и 3D-модели		10			0,37
	R _{1.1} – риск неверного анализа технологичности изделия	5	0,1	2	0,2
	R _{1.2} – риск отсутствия необходимого персонала (занятость инженеров-конструкторов другими проектами)	3	0,05	1	0,05
	R _{1.3} – риск неверного расчета стоимости, необходимого количества ресурсов (металлического порошка, расходных материалов, рабочих, времени печати и т.п.)	2	0,04	3	0,12
2. Адаптация геометрии, назначение материала поддержек и расположение на платформе построения		10			0,32
	R _{2.1} – риск неверных технических решений при подготовке файла печати (неверные тип поддерживающих структур, расположение и ориентация детали на платформе построения, неверная коррекция геометрии под технологические ограничения)	6	0,12	2	0,24
	R _{2.2} – риск недостаточного ресурсного обеспечения (лицензии на ПО, орг. техника, квалификация работников)	2	0,04	1	0,04
	R _{2.3} – внешний риск (отключение электричества, форс-мажор)	2	0,04	1	0,04
3. Назначение технологических режимов и стратегии печати		10			0,305
	R _{3.1} – риск неверного назначения технологических режимов и стратегии печати	5	0,105	2	0,21
	R _{3.2} – риск неверного выбора материала (хим. состав, морфологический и гранулометрический состав)	5	0,095	1	0,095
4. Подготовка установки СЛС		10			0,2
	R _{4.1} – риск недостаточного материально-технического обеспечения (отсутствие баллонов с аргоном, фильтров, расходных материалов, платформ построения)	6	0,12	1	0,12
	R _{4.2} – риск нерабочего состояния установки (на ТО, ремонте)	4	0,08	1	0,08
5. Подготовка металлического порошка (просев, анализ)		10			0,29
	R _{5.1} – риск несвоевременной поставки металлического порошка	4	0,075	2	0,15
	R _{5.2} – риск несоответствия качества металлического порошка спецификации	4	0,07	2	0,14
	R _{5.3} – риск несоблюдения пропорции перемешивания уже использованного и нового порошка	2	0,04	0	0
6. Процесс печати		10			0,325
	R _{6.1} – риск недостатка ресурсов (металлического порошка, газа, фильтров)	2	0,04	2	0,08

Табл. 1. Продолжение

	R _{6,2} – риск отключения оборудования (отключение электричества, поломка установки и ее элементов, например рекоутора)	1	0,025	1	0,025
	R _{6,3} – риск остановки печати (трещинообразование, отрыв от платформы построения, техническая ошибка, уровень кислорода)	5	0,095	2	0,19
	R _{6,4} – риск ошибок оператора	2	0,03	1	0,03
7. Термообработка		10			0,2
	R _{7,1} – риск неверно назначенных режимов ТО	4	0,075	1	0,075
	R _{7,2} – риск отсутствия оборудования для ТО (организационный риск)	6	0,125	1	0,125
8. Удаление материала поддержек, отрезка от платформы		10			0,2
	R _{8,1} – риск поломки заготовки детали при удалении материала поддержек и отрезки от платформы построения	10	0,2	1	0,2
9. Контроль геометрических параметров и томография		10			0,135
	R _{9,1} – риск ошибок из-за нарушения работы координатно-измерительных машин, оборудования контроля (3D сканеров, томографов)	7	0,135	1	0,135
	R _{9,2} – риск ошибок контролеров	3	0,055	0	0
10. Испытания образцов-свидетелей		10			0,14
	R _{10,1} – риск ошибок из-за нарушения работы испытательного оборудования	7	0,14	1	0,14
	R _{10,2} – риск ошибок испытателей	3	0,06	0	0

Табл. 2. Вероятность успешного выполнения заказа в срок по этапам

№	Вероятность успешного выполнения i этапа - P_i	$1 - \sum A_{ij} X_{ij}$
1	Анализ спецификации и 3D-модели	0,63
2	Адаптация геометрии, назначение материала поддержек и расположение на платформе построения	0,68
3	Назначение технологических режимов и стратегии печати	0,695
4	Подготовка установки СЛС	0,8
5	Подготовка металлического порошка (просев, анализ)	0,71
6	Процесс печати	0,675
7	Термообработка	0,8
8	Удаление материала поддержек, отрезка от платформы	0,8
9	Контроль геометрических параметров и томография	0,865
10	Испытания образцов-свидетелей	0,86
Вероятность $P = P_1 \cdot \dots \cdot P_{10}$ успешного выполнения заказа		0,05435
Оценка риска невыполнения заказа в срок $Q = 1 - P$		0,94565

Таким образом, согласно таблице 2, вероятность успешного выполнения заказа равно 0,05435 – это событие маловероятно. Накапливаясь от этапа к этапу, оценка риска возрастает до явно недопустимого значения 0,94565.

С помощью аддитивно-мультипликативной модели, построенной на начальных этапах проекта, можно выделить факторы риска, вносящие наибольший вклад в суммарный риск. Управленческие воздействия, направленные на снижение соответствующих рисков, могут оказаться наиболее полезными для снижения суммарного риска.

Анализ данных таблицы показывает, что из рисков по этапам наибольшим является риск (с оценкой 0,325), соответствующий этапу 6 «Процесс печати». Именно на этот этап целесообразно обратить наибольшее внимание при управлении проектами.

Согласно данным таблицы, отдельные риски второго порядка вносят в риски по этапам заметно больший вклад, чем другие виды рисков на тех же этапах. Так, на этапе 6 «Процесс печати» в риск основной вклад вносит риск $R_{6.3}$ – риск остановки печати (трещинообразование, отрыв от платформы построения, техническая ошибка, уровень кислорода). Таким образом, можно выделить риски, управленческие воздействия на которые могут в наибольшей степени снизить общий риск.

Список литературы

1. Орлов А.И., Цисарский А.Д. Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. №43 (232). С. 37-46.
2. Орлов А.И. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 102. С. 78-111.
3. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Ч.2. Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.

Сведения об авторах:

Терешина Юлия Владимировна – магистрант, Самарский университет, г.Самара;
Смирнов Геннадий Владиславович – д.т.н., профессор кафедры технологий производства двигателей, Самарский университет, г.Самара;
Кокарева Виктория Валерьевна – старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей, Самарский университет, г.Самара.