

УДК: 519.816 ГРНТИ: 82.05.21

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ УТОЧНЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПО ПРАВИЛУ ПАРЕТО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О КОЛИЧЕСТВЕ ВОЗНИКАЮЩИХ ДЕФЕКТОВ НА ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА

Г. Т. Пипия

ОАО «Радиоавионика»

Россия, 190005 г. Санкт-Петербург, Троицкий пр., 4Б

✉ Пипия Георгий Тенгизович – gogpipiy@ya.ru

В статье рассмотрен способ построения множества Парето оптимальных решений за счет использования статистических данных о количестве возникающих дефектов при производстве технической продукции.

Ключевые слова: множество Парето оптимальных решений, уточненный перечень, биномиальное распределение.

THE METHOD TO FORM THE REFINE LIST OF QUALITY INDICATORS OF PRODUCTS ACCORDING TO THE PARETO RULE WITH THE USE OF STATISTICAL DATA ON THE NUMBER OF EMERGING DEFECTS AT THE PRODUCTION STAGE

G. T. Pipia

Radioavionica corporation

4B, Troitskiy Ave., 190005 Saint Petersburg, Russia

✉ Pipia Georgy – gogpipiy@ya.ru

The article considers the method of constructing the Pareto set of optimal solutions by using statistical data on the number of emerging defects in the production of technical products.

Keywords: Pareto set of optimal solutions, refined list, binomial distribution.

Введение. Для поддержания и последующего улучшения уровня качества продукции, на этапе производства, необходимо отслеживать изменения показателей качества продукции. Данная процедура осуществляется путем контроля тех показателей, которые в наибольшей мере влияют на изменения показателей качества продукции. Так как на каждом жизненном цикле закладываются показатели качества производимой продукции, то необходимо делить показатели качества по этапам жизненного цикла с целью более точной оценки уровня качества продукции на определенном этапе его производства.

Для деления показателей качества по этапам их формирования необходимо определить перечень векторных критериев для каждого показателя качества. Данные векторные критерии будут характеризовать принадлежность показателя к тому или иному этапу жизненного цикла. После чего определить правила формирования уточненного перечня показателей качества (оптимальное множество показателей качества продукции), построить множество Парето оптимальных решений.

Постановка задачи. При выборе одного или нескольких решений из множества доступных решений по нескольким критериям, необходимо их сравнивать по предпочтительности относительно критериальных оценок в соответствии с логическим выводом «хуже, лучше». Наиболее распространенным инструментом для предварительной многокритериальной оценки альтернатив является правило Парето [1].

Для применения правила Парето необходимо определить:

1. Множество альтернатив $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$;

2. Векторный критерий для каждой альтернативы $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$;

3. Множество возможных векторных оценок $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x)\}$.

После того как множество альтернатив X определено и определено пространство критериев F , лицу принимающего решение необходимо выделить из этого множества X , по критериальным оценкам, подмножество $\text{sup}(X)$. Для выполнения данной задачи необходимо определить правило формирования подмножества $\text{sup}(X)$, на данном этапе принятия решения вступает модель множества Парето – оптимальных решений.

В процессе формирования данного подмножества все доминируемые элементы по некоторым векторным критериям исключаются, после чего остаются только те элементы, которые несравнимы между собой.

Формирование уточненного перечня показателей качества. Для примера, в данной статье будут использоваться показатели качества модуля навигационной системы. Модуль навигационной системы предназначен для автоматического определения текущих координат местоположения по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS в частотном диапазоне L1 [2]. Показатели качества приведены в таблице 1.

Определим векторные критерии показателей качества, характеризующие качество МНС на этапе производства путем определения возможности возникновения дефекта на этапе производства. Таблица векторных критериев с учетом технологического процесса изготовления модуля навигационной системы представлено в таблице 2.

Для принятия решения, выбора наилучшей альтерна-

тивы или альтернатив, необходимо ввести для каждого векторного критерия оценочное значение. Учитывая, что основной информацией является количество дефектных изделий на технологической операции, то в качестве оценочного значения следует взять частоту возникновения дефектов на каждой операции.

Таблица 1

Перечень показателей качества

Множество	Элемент множества	Наименование элемента множества
X'	X ₁	Определение топографических координат X и Y
	X ₂	Определение высоты Z
	X ₃	Захват рабочего созвездия
	X ₄	Восстановление слежения
X''	X ₁	Масса МНС
	X ₂	Габаритные размеры должны соответствовать сборочному чертежу (СБ)
	X ₃	Установочные размеры должны соответствовать (СБ)
	X ₄	Соответствие материалов и комплектующих элементов сопроводительной документации
X'''	X ₁	Отсутствие повреждений лакокрасочных и гальванических покрытий
	X ₂	Хромированный купол изделия
	X ₃	Читаемая маркировка, наличие маркировки

X' – функциональные показатели, X'' – конструкторские показатели, X''' = [x₁, ..., x₄], X''' – эстетические показатели.

Таблица 2

Матрица альтернатив

Множество	Элемент множества	Обозначение технологической операции									
		A0.1	A0.2	A0.3	A0.4	A0.5	A0.6	A0.7	A0.8	A0.9	A0.10
X'	X ₁										
	X ₂										
	X ₃										
	X ₄										
X''	X ₁										
	X ₂										
	X ₃										
	X ₄										
X'''	X ₁										
	X ₂										
	X ₃										

Расшифровка технологических операций модуля навигационной системы в таблице 3.

В качестве оценочного значения рекомендуется взять прогнозируемое численное значение возникновения дефектов.

Значения критериев будут рассчитываться как математическое ожидание числа дефектов M(x) на следующий период времени. Математическое ожидание будет опреде-

ляться по схеме Бернулли, так как необходимо определить какая часть изготовленных изделий будет иметь с определенной вероятностью однородный дефект.

Таблица 3

Расшифровка технологических операций

Обозначение технологической операции	Наименование технологической операции
A0.1	Комплектовочная
A0.2	Первичный монтаж
A0.3	Первичная сборка
A0.4	Первичное тестирование
A0.5	Вторичная сборка
A0.6	Проверка на герметичность
A0.7	Технологическая тренировка
A0.8	Вторичное тестирование
A0.9	Предъявительские испытания
A0.10	Приема-сдаточные испытания

При этом возможны два исхода: либо изделие имеет дефект, либо не имеет. Так же вероятность появления дефекта в одном изделии не зависит от вероятности появления дефекта в другом изделии. Вероятность возникновения дефекта рассчитывается как отношение дефектов одного вида к общему количеству изготовленных изделий за текущий период [3].

Математическое ожидание количества дефектов на следующий период будет рассчитываться по формуле

$$M(x) = p(x) \times n \quad (1)$$

где n – это плановое количество изделий, которые необходимо будет изготовить.

Для проверки точности математического ожидания воспользуемся неравенством Чебышёва [4]. Неравенство Чебышёва утверждает, что каково бы ни было положительное число a, вероятность того, что величина X отклоняется от своего математического ожидания не меньше чем на a, ограничена сверху величиной $\frac{D(x)}{a^2}$ и рассчитывается по формуле

$$P(|X - M(x)| \geq a) \leq \frac{D(x)}{a^2} \quad (2)$$

Дисперсия в случае биномиального распределения рассчитывается по формуле

$$D(x) = p(x) \times n \times (1 - p(x)) \quad (3)$$

где $1 - p(x) = q$

Среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле

$$Q(x) = \sqrt{p(x) \times n \times q(x)} \quad (4)$$

Составим из формулы Чебышёва минимальное и максимальное значение частоты дефектов, которое должно отклоняться от своего математического ожидания больше чем на 1,5 сигм с вероятностью не менее чем 0,5

В качестве требования к точности будет использоваться $a = 1,5 \times Q(x)$, раскроем неравенство Чебышева с учетом требования к точности оценки и определим нижний и верхний допуск математического ожидания, выражение примет

следующий вид

$$P(|X - M(x)| \geq 1,5Q(x)) \leq \frac{D(x)}{a^2} \Rightarrow M(x) - 1,5Q(x) \leq X \leq M(x) + 1,5Q(x) \geq 1 - \frac{D(x)}{1,5Q(x)^2}$$

$$\text{при } 1 - \frac{D(x)}{1,5Q(x)^2} \geq 0,5.$$

Нижний порог для выражения $1 - \frac{D(x)}{1,5Q(x)^2} \geq 0,5$ определяется экспертной группой.

Расчет векторных оценок и построение множества Парето оптимальных решений. Первичная информация по количеству дефектов на технологических операциях, за 2016 год, представлена в таблице 4.

Поделим строки технологических операций на показа-

тели качества модуля навигационной системы, это будет характеризовать количество отклонений от требований к показателям качества.

Измененная структура таблицы 3 представлена таблицей 5. Расчет вероятности возникновения дефекта представлен в таблице 6.

Найдем векторные коэффициенты как математическое ожидание числа дефектов на январь 2017 года, используя теорему о биномиальном распределении и неравенство Чебышёва.

Рассчитаем математическое ожидание по формуле (1), дисперсию по формуле (3) и среднее квадратическое отклонение по формуле (4), расчеты представлены в таблице 7.

Таблица 4

Первичная информация

Месяц (t)	Частота дефектных единиц продукции на технологических операциях, шт.									
	A0.1	A0.2	A0.3	A0.4	A0.5	A0.6	A0.7	A0.8	A0.9	A0.10
1	0	2	3	12	0	0	0	0	0	0
2	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0
3	0	8	0	0	0	18	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	14	0	0	0	0
5	0	7	6	22	0	35	0	0	0	0
6	0	12	10	1	0	4	0	0	0	0
7	0	1	126	0	0	8	0	0	0	0
8	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	8	0	0	19	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 5

Измененная структура таблицы 4

Множество	Элемент множества	Частота дефектов, шт.			
		A0.2	A0.3	A0.4	A0.6
X'	X ₁	0	0	41	0
	X ₂	33	0	0	0
	X ₃	2	0	0	0
X''	X ₁	0	8	0	0
	X ₂	0	3	0	0
	X ₃	0	136	0	98
Итого изготовлено изделий на операции, шт.		2500	4000	2000	2000

Таблица 6

Вероятность возникновения дефектов в январе 2017 года

Множество	Элемент множества	Частота дефектов, шт.			
		A0.2	A0.3	A0.4	A0.6
X'	X ₁	0	0	0,021	0
	X ₂	0,013	0	0	0
	X ₃	0,001	0	0	0
X''	X ₁	0	0,002	0	0
	X ₂	0	0,001	0	0
	X ₃	0	0,034	0	0,049
Итого изготовлено изделий на операции, шт.		2500	4000	2000	2000

Таблица 7

Численные значения математического ожидания, дисперсии и квадратического отклонения

Мно- жество	Эле- мент множе- ства	Частота дефектов, шт.											
		A0.2			A0.3			A0.4			A0.6		
		M	D	Q	M	D	Q	M	D	Q	M	D	Q
X'	X ₁	0	0	0	0	0	0	31	30	5	0	0	0
	X ₂	26	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	X ₃	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X''	X ₁	0	0	0	6	5	2	0	0	0	0	0	0
	X ₂	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0
	X ₃	0	0	0	102	98	9	0	0	0	73	70	8
Запланировано изготовить		2000			3000			1500			1500		

Таблица 8

Точность векторных критериев

Мно- жество	Эле- мент множе- ства	Частота дефектов, шт.											
		A0.2			A0.3			A0.4			A0.6		
		p	min	max	p	min	max	p	min	max	p	min	max
X'	X ₁	0	0	0	0	0	0	0,5	26	36	0	0	0
	X ₂	0,5	18	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	X ₃	0,6	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X''	X ₁	0	0	0	0,5	4	8	0	0	0	0	0	0
	X ₂	0	0	0	0,7	1	4	0	0	0	0	0	0
	X ₃	0	0	0	0,5	93	111	0	0	0	0,5	65	81

Применим неравенство Чебышева, чтобы определить точность оценки. Расчеты представлены в таблице 8.

Все значения математических ожиданий входят в предел 1,5 сигм с вероятностью не меньше 0,5, что соответствует требованиям к точности расчета векторных критериальных значений.

Составим по таблице 24 варианты альтернатив. Первое множество состоит из 3 альтернатив, это

$$x_1 = [0; 0; 0; 31], \quad x_2 = [26; 0; 0; 0], \quad x_3 = [2; 0; 0; 0].$$

Второе множество так же состоит из 3 альтернатив, это

$$x_1 = [0; 6; 0; 0], \quad x_2 = [0; 3; 0; 0], \quad x_3 = [0; 102; 0; 73].$$

Применим правило Парето для первого множества, получим

$$x_1 = [0; 0; 0; 31] > x_2 = [26; 0; 0; 0] > x_3 = [2; 0; 0; 0]$$

Применим правило Парето для второго множества, получим

$$x_3 = [0; 102; 0; 73] > x_1 = [0; 6; 0; 0] > x_2 = [0; 3; 0; 0]$$

Отсюда множество Парето оптимальных решений $\sup(X)$ равен, для первого множества $\sup(X') = x_1$, а для второго множества $\sup(X'') = x_3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ногин В.Д. *Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето* // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. **2002**. Т. 42. №7. С. 951-957.
2. Каплин А.Ю. *Результаты разработки и направления модернизации комплекса разведки, управления и связи «Стрелец»*: Сб. науч. тр.: Издательство политехника, **2011**. 400 с.
3. Ефимов В.В., Барт Т.В. *Статистические методы в управлении качеством продукции*. М.: Кнорус, **2006**. 156 с.
4. Райгородский А.М. *Вероятность и алгебра в комбинаторике*. М.: МЦНМО, **2008**. 48 с.

Поступила в редакцию 27.06.2017