

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <http://www.agequal.ru>  
2019, №1 [http://www.agequal.ru/pdf/2019/AGE\\_QUALITY\\_1\\_2019.pdf](http://www.agequal.ru/pdf/2019/AGE_QUALITY_1_2019.pdf)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Ильичева Н.М., Салмин П.С., Салмина Н.А. Управление качеством литых деталей машин в условиях оптимизации себестоимости производства // Электронный научный журнал «Век качества». 2019. №1. С. 77-99. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2019/119005.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 658.562.4**

**Управление качеством литых деталей машин в условиях  
оптимизации себестоимости производства**

***Ильичева Нина Михайловна***

*к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»,  
603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23  
8477225@rambler.ru*

***Салмин Павел Сергеевич***

*к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»,  
603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23  
salmin@bk.ru*

***Салмина Наталья Александровна***

*к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»,  
603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23  
salmina\_nataly@mail.ru*

### **Аннотация.**

В статье рассмотрена концепция моделирования качества деталей машин, основанная на минимизации себестоимости их производства. Проблема управления качеством производимых деталей заключается в сложности подбора параметров технологических процессов. Для решения этой проблемы предлагается подход, позволяющий построить оптимизационную модель, в которой функцией цели является минимум изменчивости (дисперсии) заданной себестоимости детали. В качестве параметров предлагаемой модели выступает многомерный массив данных, получаемый в ходе статистических экспериментов. Данный массив характеризует качественные характеристики литых деталей, поэтому задача оптимизации себестоимости решается без потери качества выпускаемого изделия.

### **Ключевые слова:**

качество промышленной продукции; экономико-математические методы; минимизация себестоимости литых деталей машин; корреляционно-регрессионный анализ.

Методы снижения производственной себестоимости промышленной продукции (в частности, деталей машин) с развитием современных технологий подвержены постоянным изменениям и модернизации. Эти методы можно условно разделить на технологические и организационные. Для технологических методов характерно изменение процесса производства, использование нового оборудования и технологий и тому подобные инновации. Организационные методы снижения себестоимости включают в себя такие модели, как оптимизация межпроизводственного или межотраслевого потребления, внутренняя производственная логистика на уровне отдельных цехов и/или производств и так далее [1].

Однако традиционные методы могут оказаться низкоэффективными или неприменимыми вовсе в силу высокой сложности технологических процессов, применяемых в современных производствах. Поэтому возникает насущная необходимость разработки и изучения нетиповых методов оптимизации структуры производственных затрат при условии поддержания и повышения качества производимой продукции. В качестве таких методов авторами предлагается концепция экономико-математической модели, позволяющей оптимизировать себестоимость независимо от состава изделия и процессов, происходящих при его изготовлении.

Использование экономико-математических методов для повышения качества продукции может осуществляться в следующих ситуациях:

- для обобщенной оценки технико-экономических свойств и показателей качества продукции;
- для анализа факторов, которые обеспечивает требуемый уровень качества;
- для моделирования технологических процессов, обеспечивающих заданный уровень качества;
- для статистического регулирования качества [2].

Рассмотрим некоторые из перечисленных факторов с методической точки зрения, основываясь на практике получения высококачественных деталей машин.

В основу моделирования качества деталей машин положена системная концепция. Качество заготовок для деталей машин в процессе изготовления формируется под действием многочисленных технологических факторов, которые образуют самостоятельные подсистемы качества, в конечном итоге замыкающиеся на качество готовой заготовки [3].

Факторы качества литых деталей могут быть подконтрольными и неподконтрольными. Трудность управления качеством заготовок заключается в

наличии большого количества неконтролируемых параметров технологических процессов.

В общем виде оптимизация определяется как перевод системы в состояние, приближающее ее к экстремуму целевой функции при заданных ограничениях. В зависимости от критерия оптимальности можно выделить несколько основных видов задач для оптимизации технологических процессов:

1. минимизация себестоимости сплавов при сохранении их прочностных характеристик;
2. повышение уровня физико-механических свойств сплавов при заданной производительности и себестоимости;
3. повышение производительности за счет оптимизации технологических параметров при обеспечении требуемых свойств и снижении производственной себестоимости;
4. разработка новых композиций сплавов и технологических процессов [4].

В отличие от традиционных методов, направленных на определение оптимальных условий состояния объекта, экономико-математическая модель способна замещать реальные объекты и обеспечивает исследование экономической информацией для управления процессами в определенные сроки.

Математическое моделирование технологических процессов включает такие вопросы, как постановка целей и задач исследования, определение соответствующего критерия оптимальности, выбор методов решения поставленной задачи [5].

Корректное решение задачи оптимизации определяется правильным выбором входных и выходных параметров, которые должны отражать физико-химическую природу и особенности протекания технологических процессов. Изучение основных закономерностей выполнения технологических процессов является необходимым условием построения математической модели.

Выбор критерия оптимальности определяется целью исследования. Например, в качестве параметра оптимизации при разработке новых литейных сплавов могут использоваться показатели физико-механических и литейных свойств, себестоимости легирующих элементов и т.п. Главное требование к выходному параметру – наиболее точное отражение поставленной цели. Параметры оптимизации должны быть количественно измеримыми и однозначными, хотя на практике при каждом состоянии объекта параметр оптимизации принимает определенные значения в заданном интервале [6].

Основные требования к входным параметрам-факторам заключаются в том, что они не должны находиться в функциональной связи между собой. При ее отсутствии создается возможность установления каждого фактора на любой уровень независимо от значения другого. При выборе входных факторов часто приходится ограничиваться данными, регистрируемыми контрольно-измерительной аппаратурой в производственных условиях. Полученный таким образом материал обобщается, анализируется, определяется погрешность, т.к. многие значения зависят от состояния контрольно-измерительной аппаратуры [7].

В основе управления качеством изделий с помощью экономико-математических методов и средств вычислительной техники лежит построение математической модели технологического процесса, проверка ее адекватности, решение задачи оптимизации и корректировка полученных результатов.

Рациональное управление качеством деталей машин зависит от качества информации, вида и качества построенной модели, числа параметров оптимизации. Для построения адекватной технологическому процессу математической модели нами используются методы корреляционно-регрессионного анализа с применением средств вычислительной техники.

В экономико-статистических исследованиях с помощью корреляционно-регрессионного анализа выделяются следующие этапы:

- сбор статистических данных, их обработка и качественная оценка;
- отбор основных факторов с помощью методов корреляционного анализа;
- выбор формы регрессионного уравнения и его построение;
- оценка точности полученных результатов, построение доверительных интервалов;
- интерпретация полученной зависимости [8].

Уравнение регрессии, являющееся математической моделью технологического процесса, не должно противоречить теориям и гипотезам, существующим относительно изучаемого процесса или явления. Модель отражает только необходимые для исследования характеристики объектов.

При анализе экономических явлений модельный эксперимент более эффективен, так как он заменяет дорогостоящие, а иногда и невозможные эксперименты в экономике.

В случае создания новых сплавов объем реальных экспериментов значительно сокращается и заменяется вычислительными процедурами над его моделью. Построение адекватной модели технологическому процессу дает возможность получить приближенную количественную оценку влияния факторов-аргументов на результирующий признак, оценить направление и степень влияния [9].

Перечень вопросов, решаемых с помощью корреляционно-регрессионного анализа в заготовительном производстве, чрезвычайно широк. Обзор литературы показывает об увеличении применения этих методов во многих отраслях промышленности.

Алгоритм программы по множественному корреляционному и регрессионному анализу, конкретизированный нами для анализа качества изделий, включает модель имитации и построения зависимости себестоимости от параметров качества выпускаемых деталей. Переменными величинами выступают удельные веса компонентов деталей. При помощи имитации

определяются все возможные (в заданном интервале) значения себестоимости и корреляционные зависимости компонентов, входящих в состав изделия.

Решение задачи сводится к определению оптимального состава литой детали, где в качестве функции цели выступает дисперсия себестоимости изделия. Смысл такого подхода заключается в следующем. Чем меньше вероятность отклонения фактической себестоимости от заданного значения, тем ниже риск выхода за рамки заданных параметров качества и плановой себестоимости. В результате оптимизационная модель будет выглядеть следующим образом:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i X_j \sigma_{i,j} \rightarrow \min,$$

где  $D$  – дисперсия себестоимости литой детали, состоящей из  $n$  компонентов;

$X_i$  – доля  $i$ -го компонента;

$X_j$  – доля  $j$ -го компонента;

$\sigma_{ij}$  – ковариация.

Ограничения:

1. Математическое ожидание себестоимости готового изделия равно сумме мат. ожиданий себестоимости каждого компонента

$$M(C) = \sum_{i=1}^n X_i M(C_i);$$

2. Сумма удельных весов компонентов литой детали равна единице

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1;$$

Для решения этой задачи воспользуемся методом неопределенных множителей Лагранжа [10].

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i X_j \sigma_{i,j} + \lambda_1 \left( \sum_{i=1}^n X_i M(C_i) - M(C) \right) + \lambda_2 \left( \sum_{i=1}^n X_i - 1 \right) \quad (1),$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – множители Лагранжа.

Набор компонентов литой детали, минимизирующий дисперсию себестоимости определяется решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \partial L / \partial X_i = 0, \\ \partial L / \partial \lambda_l = 0 \end{cases} \quad (2),$$

где  $l = \{1, 2\}$ .

Модель работает для любого количества компонентов, начиная с 3-х. Для двух компонентов задача сводится к анализу функции дисперсии двух случайных величин на наличие экстремума, для одного – теряет смысл.

Рассмотрим пример решения задачи с тремя компонентами.

$$L = X_1^2 \sigma_{1,1} + X_2^2 \sigma_{2,2} + X_3^2 \sigma_{3,3} + 2X_1 X_2 \sigma_{1,2} + 2X_1 X_3 \sigma_{1,3} + 2X_2 X_3 \sigma_{2,3} + \lambda_1 (X_1 M(C_1) + X_2 M(C_2) + X_3 M(C_3) - M(C)) + \lambda_2 (X_1 + X_2 + X_3 - 1) \quad (3)$$

Тогда система уравнений (2) примет вид:

$$\begin{cases} \partial L / \partial X_1 = 2X_1 \sigma_{1,1} + 2X_2 \sigma_{1,2} + 2X_3 \sigma_{1,3} + \lambda_1 M(C_1) + \lambda_2 = 0, \\ \partial L / \partial X_2 = 2X_1 \sigma_{1,2} + 2X_2 \sigma_{2,2} + 2X_3 \sigma_{2,3} + \lambda_1 M(C_2) + \lambda_2 = 0, \\ \partial L / \partial X_3 = 2X_1 \sigma_{1,3} + 2X_2 \sigma_{2,3} + 2X_3 \sigma_{3,3} + \lambda_1 M(C_3) + \lambda_2 = 0, \\ \partial L / \partial \lambda_1 = X_1 M(C_1) + X_2 M(C_2) + X_3 M(C_3) - M(C) = 0, \\ \partial L / \partial \lambda_2 = X_1 + X_2 + X_3 - 1 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Представим систему в матричном виде:

$$\begin{vmatrix} 2\sigma_{1,1} & 2\sigma_{1,2} & 2\sigma_{1,3} & M(C_1) & 1 \\ 2\sigma_{1,2} & 2\sigma_{2,2} & 2\sigma_{2,3} & M(C_2) & 1 \\ 2\sigma_{1,3} & 2\sigma_{2,3} & 2\sigma_{3,3} & M(C_3) & 1 \\ M(C_1) & M(C_2) & M(C_3) & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ M(C) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Обозначим матрицу через  $E$ , вектор в левой части – через  $W$ , вектор в правой части – через  $G$ , тогда матричное уравнение будет иметь вид:



$$E \times W = G \quad (6),$$

$$W = E^{-1} \times G \quad (7).$$

То есть, задавая значения требуемой себестоимости и моделируя значения коэффициентов ковариации и дисперсии для стоимостей каждого компонента детали, определяются удельные веса компонентов, минимизирующие отклонения от заданной себестоимости векторного уравнения (7).

Для создания новых композиций сплавов использование регрессионных моделей целесообразно при наличии достаточного количества экспериментальных данных. Применение методов планирования эксперимента позволяет сократить большинство трудностей регрессионного анализа. Однако этот метод имеет ограничения - он применим к объектам, обладающим хорошей воспроизводимостью результатов. Поэтому для исследования технологических процессов метод планирования эксперимента находит значительно меньшее применение, чем регрессионный анализ.

Планирование эксперимента предполагает проведение опытов по заранее выбранной оптимальной схеме. Построению линейных зависимостей предшествует выбор факторов, включаемых в матрицу планирования, определение их основного уровня и интервалов варьирования. Метод планирования эксперимента позволяет получить регрессионные зависимости физико-механических свойств сплавов от химического состава при небольшом числе опытов, проанализировать влияние каждого элемента и затем перейти к решению задачи оптимизации на основе построенной модели.

Таким образом, качество нового сплава может характеризоваться несколькими параметрами оптимизации. Учитывая то, что одни и те же факторы влияют на различные параметры неодинаково, ставить задачу оптимизации нескольких функций нельзя. Поэтому все методы оптимизации в таких задачах сводятся к отысканию экстремума одной функции,

определяющей заданный уровень качества литой детали при ограничениях, накладываемых изменениями других параметров.

В заключении следует отметить, что предлагаемая концепция моделирования качества деталей машин основана на минимизации себестоимости их производства. Управление качеством производимых деталей заключается в сложности подбора параметров технологических процессов. Поэтому, для решения этой проблемы предложен подход, позволяющий построить оптимизационную модель, в которой функцией цели является минимум дисперсии себестоимости детали. В качестве параметров предлагаемой модели выступает многомерный массив данных, получаемый в ходе статистических экспериментов. Данный массив характеризует качественные характеристики литых деталей, поэтому задача оптимизации себестоимости решена без потери качества выпускаемого изделия.

### **Литература**

1. Салмин П.С., Салмина Н.А. Оптимальное распределение ресурсов смежных производств (на примере ОАО «ГАЗ») // Финансы и кредит. Научно-практический и теоретический журнал. – 2014. – №41(617). – С. 25-36.
2. Ефимычев Ю.И., Ильичева Н.М., Стрелкова Л.В. Современные проблемы управления качеством. Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2008. – 292 с.
3. Басовский Л.Е. Управление качеством: Учебник / Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 231 с.
4. Жариков А.В., Ильичева Н.М. Оценка и обеспечение надежности технологических процессов на различных этапах инновационного цикла // Экономика и предпринимательство. 2015. № 7(60). С. 660-663.

5. Сергеева И.И., Чекулина Т.А., Тимофеева С.А. Статистика: Учебник / Сергеева И.И., Чекулина Т.А., Тимофеева С.А. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 304 с.

6. Ефимычев Ю.И., Трофимов О.В. Основные направления развития предприятия (на примере ОАО «РУМО») // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Экономика и финансы, 2005. № 1. С. 81-86.

7. Аристов О.В. Управление качеством: учебник / О.В. Аристов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 224 с.

8. Годин А.М. Статистика: Учебник / Годин А.М. - 11-е изд., перераб. и испр. – М.: Дашков и К, 2018. – 412 с.

9. Салмин П.С., Салмина Н.А. Концепция межпроизводственного баланса для оптимизации структуры затрат промышленных предприятий // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экономики, менеджмента и инноваций»; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. 2018. – С. 239-242.

10. Салмин П.С., Олюнин В.И. Сборник задач по финансовым вычислениям в транспортной отрасли. Учебное пособие для студентов экономических специальностей высших учебных заведений водного транспорта. – Нижний Новгород, 2006.

**Quality management of cast details of cars in conditions  
optimization of cost of production**

**Plyicheva Nina M.**

Cand. Of Econ.Sci., Associate Professor National Research  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
603950, N. Novgorod, Gagarin Ave., 23

*8477225@rambler.ru*

**Salmin Pavel S.**

Cand. Of Econ.Sci., Associate Professor National Research  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
603950, N. Novgorod, Gagarin Ave., 23

*salmin@bk.ru*

**Salmina Natalya A.**

Cand. Of Econ.Sci., Associate Professor National Research  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
603950, N. Novgorod, Gagarin Ave., 23

*salmina\_nataly@mail.ru*

**Abstract.** In article the concept of modeling of quality of details of cars based on minimization of cost of their production is considered. The problem of quality management of the made details consists in complexity of selection of parameters of technological processes. For the solution of this problem the approach allowing to construct optimizing model in which function of the purpose is the minimum of variability (dispersion) of the set prime cost of a detail is offered. The multidimensional data array received during the statistical experiments acts as parameters of the offered model. This massif characterizes qualitative characteristics of cast details therefore the problem of optimization of prime cost is solved without loss of quality of product.

**Key words:** quality of industrial output; economic-mathematical methods; minimization of prime cost of cast details of cars; correlation and regression analysis.