

В. Г. Петряков, В. С. Наталенко, М. М. Маннанов, И. Р. Ахметьянов

ЭНТРОПИЯ В РАНЖИРОВАНИИ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

V. G. Petryakov, V. S. Natalenko, M. M. Mannanov, I. R. Akhmetyanov

ENTROPY RANKING METHODS RESTORE PARTS

А н н о т а ц и я. *Актуальность и цели.* Объектом исследования является сравнительная оценка методов восстановления деталей с применением энтропийного алгоритма и на этой основе осуществлять оптимизацию квалиметрии восстановления деталей. Целью работы является получение количественных результатов сравнительной оценке методов восстановления. *Материалы и методы.* Для сравнительной количественной оценке качества используется ранжирование методов восстановления деталей по отдельным единичным показателям качества, формирующих качество изделия в целом. *Результаты.* Предложен алгоритм энтропийной функции оценки качества, в котором наилучшее упорядочение системы, её равновесное состояние достигается при максимуме энтропии с учётом заданных ограничений на затраты. Алгоритм энтропийной функции позволяет моделировать, сравнивать альтернативные варианты и на этой основе осуществлять разработку, ранжирование и оптимизацию многосложных структур продукции с неограниченным числом показателей. *Выводы.* Применение данного алгоритма автоматизировано и реализовано в системе Mathcad. По результатам его применения дана количественная сравнительная оценка методов восстановления и сформирован вариационный ряд значений энтропийной функции откуда следует, что по технологическим показателям лучшей суммарной результативностью обладают практически два метода: электроконтактная приварка стальной ленты и наплавка под слоем флюса. Таким образом, применение энтропийной функции в ранжировании методов восстановления позволяет объективно принимать управленческое решение в применении конкретного метода и образовывать ожидаемое качество восстановленных деталей.

A b s t r a c t. *Background.* The object of the study is a comparative assessment of the methods for recovering parts using an entropy algorithm and, on this basis, optimizing the qualimetry of recovering parts. The aim of the work is to obtain quantitative results of comparative evaluation of recovery methods. *Materials and methods.* For a comparative quantitative assessment of quality, the ranking of methods for restoring parts by individual single quality indicators that form the quality of the product as a whole is used. *Results.* An algorithm for the entropy function of quality assessment is proposed, in which the best ordering of the system, its equilibrium state is achieved at the maximum of entropy, taking into account the given constraints on costs. The algorithm of the entropy function allows you to simulate, compare alternatives and on this basis to carry out the development, ranking and optimization of complex structures of products with an unlimited number of indicators. *Conclusions.* The application of this algorithm is automated and implemented in the Mathcad system. According to the results of its application, a quantitative comparative assessment of restoration methods is given and a variation range of entropic function values is formed, which implies that, according to technological indicators, almost two methods have the best total performance: electrocontact welding

of steel tape and surfacing under a flux layer. Thus, the use of the entropy function in the ranking of restoration methods makes it possible to objectively make a management decision on the application of a particular method and form the expected quality of the restored parts.

К л ю ч е в ы е с л о в а: энтропия, качественные показатели, методы восстановления, алгоритм энтропийной функции, система компьютерной алгебры Mathcad.

К e y w o r d s: entropy, quality indicators, restoration methods, algorithm of entropy function, computer algebra system Mathcad.

Важнейшим вопросом количественной оценки качества является объективное установление уровня качества исследуемого объекта. Применительно к продукции количественная оценка качества представляет собой относительную характеристику качества продукции, основанную на сравнении совокупности качественных показателей с соответствующей совокупностью базовых показателей [1].

Термин «энтропия» (от древнегреч. $\epsilon\nu$ – «в» и $\tau\rho\omicron\pi\acute{\iota}\alpha$ – «поворот», «превращение») введен немецким физиком, механиком и математиком Рудольфом Юлиусом Эмануэлем Клаузиусом в термодинамике в 1865 г. для определения меры необратимого рассеивания энергии, меры отклонения реально происходящего процесса от идеального. Со временем применение «энтропии» было расширено и стало отождествлять как меру внутренней неупорядоченности: при всех процессах, проходящих в замкнутой системе, энтропия возрастает (необратимые процессы) или остается постоянной (обратимые процессы).

Исчисляя энтропию явлений, событий, процессов, можно определять вероятное направление их развития путем планирования и осуществления реальных действий (что особенно важно) путем их моделирования. Перспективность такого подхода согласуется с управлением качества в явлениях, событиях, процессах и т.д. Обеспечивая через энтропию постоянное улучшение процессов восстановления деталей представляется возможным оказывать влияние на потребительские предпочтения.

Исходя из сущности энтропии применительно к методам восстановления деталей становится возможным определять мероприятия по повышению уровня гармонизации метода, обеспечивая таким образом возрастание его эффективности.

Алгоритм энтропийной функции позволяет сравнивать альтернативные методы восстановления деталей и на этой основе осуществлять оптимизацию квалиметрии восстановления деталей.

Для того чтобы объективно количественно оценивать уровень качества, необходимо использовать соответствующую номенклатуру взаимосвязанных технико-экономических, организационных и других показателей. Ни один показатель, не связанный с другими, не может быть единственным для обоснования выводов по результатам количественной оценки качества. Поэтому каждый показатель продукции должен удовлетворять следующим требованиям: конкретизации видоизменения в зависимости от цели оценки; развития и совершенствования объекта оценки; обеспечения единства количественных и качественных характеристик; адресности; сопоставимости; взаимосвязанности; информативности; достоверности и объективности.

Ранжирование методов восстановления деталей по качеству весьма актуально и для производителей. Производитель должен знать, какие эксплуатационные свойства и показатели качества и до какого уровня необходимо улучшить. Качество становится одним из главных рычагов повышения востребованности методов восстановления деталей, эффективности производства и роста прибыли. К сожалению, часто на предприятиях, восстанавливающих детали, практически не проводится системная работа по повышению эксплуатационных свойств выпускаемой продукции, отсутствуют единые методы количественной оценки уровня качества продукции, управления качеством на этапах их жизненного цикла.

Принимая во внимание, что взаимодействие отдельных единичных показателей качества формирует качество изделия в целом и что эти взаимодействия образуют макросистему, в которой взаимодействие единичных показателей качества есть регулируемый процесс, принят способ энтропийной оценки качества восстановления деталей различными методами при фиксированном количестве сравниваемых методов и интерпретации результатов (табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества при различных методах восстановления

Наименование показателя	Обозначение показателя, q_i	Коэффициент весомости, Q_i	Сравниваемый метод					
			Плазменная наплавка	Плазменная наплавка в продольном магнитном поле	Электроконтактная приварка стальной ленты	Электроконтактная приварка сеток	Электроконтактная приварка порошковых композиционных материалов	Наплавка под слоем флюса
Глубина проплавления основного металла, мм	0,8	0,15	1,95	1,45	0,1	0,1	0,1	2,50*
Толщина наплавленного слоя, мм	0,7	0,14	1,30	1,25	1,0*	1,2	0,7	2,50*
Ширина валика, мм	0,5	0,1	10,78	12,58*	6,00	6,00	8,00	12,00
Коэффициент потерь, %	0,9	0,16	25,0	20,5	4,0*	10	20	5,0
Пористость наплавленного слоя, %	0,5	0,1	5	4	0,1*	6	10	5
Твердость наплавленного слоя, HRC	0,8	0,15	46,5	53,5	45,0	45,0	55,0	40,0
Зона термического влияния, мм	1,0	0,2	2,6	1,4	0,7	0,5*	0,1	15,0

Примечания: * – предпочтительное значение показателя; для корректной работы алгоритма энтропийной функции значения равные нулю приняты как 0,1.

Для ранжирования по количественной оценке качества методов восстановления наиболее рациональным является алгоритм энтропийной функции оценки качества. Наилучшее упорядочение системы, ее равновесное состояние достигается при максимуме энтропии с учетом заданных ограничений на затраты.

Алгоритм энтропийной функции позволяет моделировать, сравнивать альтернативные варианты и на этой основе осуществлять разработку, ранжирование и оптимизацию много-сложных структур продукции с неограниченным числом показателей [2].

Реализация энтропийного алгоритма ранжирования методов восстановления деталей осуществлена с использованием системы компьютерной алгебры Mathcad, математические выражения в которой записаны в общепринятой нотации, а в решении использован вычислительный инструмент поиска максимумов и минимумов функциональных зависимостей.

Данная программная структура позволяет получить конечный результат ранжирования методов восстановления деталей для четырех различных методов: плазменная наплавка; плазменная наплавка в продольном магнитном поле; электроконтактная приварка ленты; наплавка под слоем флюса; электроконтактная приварка сеток; электроконтактная приварка порошковых композиционных материалов [3–5].

На рис. 1 приведены символичные операции программы Mathcad поиска экстремума функции при семи показателях результативности качества восстановления деталей на основе энтропийного алгоритма.

Процесс поиска ранжирования методов восстановления деталей осуществляется в следующей последовательности: формирование матриц коэффициентов весомости (α), значений результативности методов восстановления (R_{real}), приоритетных величин показателей (R_{norm}); вычислений значений энтропий с помощью оператора цикла по значениям результативности методов восстановления (R_{real}) и приоритетным величинам показателей (R_{norm}). На основании применения программ энтропийного алгоритма результативности качества восстановления деталей в рамках программы Mathcad представляется возможным посредством мобильного изменения величины коэффициента весомости (α) показателей (P_{ij}) определять стратегические направления управления качеством метода восстановления.

$$\begin{aligned}
 & \text{ORIGIN} := 1 \\
 & z := 1.88 \quad k := 0.37 \\
 & \alpha := \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.7 \\ 0.5 \\ 0.9 \\ 0.5 \\ 0.8 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Data} := \begin{pmatrix} 1.95 & 1.45 & 0.1 & 2.5 & 0.1 & 0.1 \\ 1.3 & 1.25 & 1 & 2.5 & 1.2 & 0.7 \\ 10.78 & 12.58 & 6 & 12.0 & 6.0 & 8.0 \\ 25.0 & 20.5 & 4 & 5 & 10 & 20 \\ 5 & 4 & 0.1 & 5 & 6 & 10 \\ 46.5 & 53.5 & 45 & 40 & 45 & 55 \\ 2.6 & 1.4 & 0.7 & 15 & 0.5 & 0.6 \end{pmatrix} \quad \text{Pnorm} := \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.5 \\ 12.58 \\ 4 \\ 0.1 \\ 55 \\ 0.5 \end{pmatrix} \\
 & \text{Preal} := \begin{pmatrix} 0.78 & 0.58 & 0.04 & 1 & 0.04 & 0.04 \\ 0.52 & 0.5 & 0.4 & 1 & 0.48 & 0.28 \\ 0.857 & 1 & 0.477 & 0.954 & 0.477 & 0.636 \\ 0.16 & 0.195 & 1 & 0.8 & 0.4 & 0.2 \\ 0.02 & 0.025 & 1 & 0.02 & 0.017 & 0.01 \\ 0.845 & 0.973 & 0.818 & 0.727 & 0.818 & 1 \\ 0.192 & 0.357 & 0.714 & 0.033 & 1 & 0.833 \end{pmatrix} \quad j := 1..6 \\
 & X := \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^7 (\alpha_i \cdot \text{Preal})_{i,j} \\
 & X = 16.71 \\
 & \text{Rnorm} := \frac{-z}{7} \cdot \sum_{i=1}^7 \left(\alpha_i \cdot k \cdot \frac{\text{Pnorm}_i}{X} \cdot \log \left(\alpha_i \cdot k \cdot \frac{\text{Pnorm}_i}{X}, 2 \right) \right) \\
 & \text{Rreal}_j := \frac{-z}{7} \cdot \sum_{i=1}^7 \left(\alpha_i \cdot k \cdot \frac{\text{Preal}_{i,j}}{X} \cdot \log \left(\alpha_i \cdot k \cdot \frac{\text{Preal}_{i,j}}{X}, 2 \right) \right) \\
 & \text{Rnorm} = 0.319 \\
 & R := \frac{\text{Rreal}}{\text{Rnorm}} \quad R = \begin{pmatrix} 0.302 \\ 0.324 \\ 0.388 \\ 0.381 \\ 0.31 \\ 0.282 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 1. Символьные операции системы компьютерной алгебры Mathcad поиска оценки качества восстановленных деталей

Из сравнения числовых значений энтропийной функции выявлено, что для метода восстановления наплавкой под слоем флюса качества восстановления деталей в основном определяется глубиной проплавления основного металла и шириной наплавленного валика, а для электроконтактной приварки ленты качества восстановления деталей достигается в основном за счет выполнения работ, обеспечивающих высокую твердость слоя и его ширину. Работы, выполняемые по обеспечению глубины проплавления основного металла и твердости слоя, являются доминантой качества в восстановлении деталей и потому используются в первоочередном совершенствовании процессов.

Заключение

Таким образом, формируя вариационный ряд значений энтропийной функции (0,282; 0,31; 0,302; 0,324; 0,381; 0,388), следует, что по технологическим показателям лучшей суммарной результативностью обладают практически два метода: электроконтактная приварка стальной ленты ($R = 0,388$) и наплавка под слоем флюса ($R = 0,381$). Плазменная наплавка в продольном магнитном поле при применении проволоочной токоведущей присадки имеет ограничения, поскольку не дает возможности выполнить равномерный и тонкий наплавочный слой ($R = 0,324$).

Другие два метода – плазменная наплавка ($R = 0,302$) и электроконтактная приварка сеток ($R = 0,31$) – практически имеют одинаковые результативности в восстановлении деталей. Метод электроконтактной приварки композиционных материалов ($R = 0,282$) ранжирован последним, поскольку имеет ограниченное применение, исследуется и совершенствуется.

Таким образом, применение энтропийной функции в ранжировании методов восстановления позволяет объективно принимать управленческое решение в применении конкретного метода и образовывать ожидаемое качество восстановленных деталей.

Библиографический список

1. Гличев, А. В. Реформирование экономики и фактор качества / А. В. Гличев. – М. : Стандарты и качество, 1997. – 218 с.
2. Вильсон, А. Д. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А. Д. Вильсон. – М. : Наука, 1987. – 146 с.
3. Рафиков, И. А. Технология восстановления деталей плазменной наплавкой в продольном магнитном поле : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Рафиков И. А. – Уфа : РИО ФГБОУ ВПО БГАУ, 2013. – 20 с.
4. Юферов, К. В. Повышение ресурса деталей машин восстанавливаемых электроконтактной приваркой стальных лент : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Юферов К. В. – Уфа : РИО ФГБОУ ВПО БГАУ, 2013. – 20 с.
5. Черноиванов, В. И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве : учеб. пособие / В. И. Черноиванов, В. В. Бледных ; под. ред. В. И. Черноиванова. – М. ; Челябинск : ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 987 с.
6. Петряков, В. Г. Энтропия в квалиметрии эксплуатационных свойств строительной керамики / В. Г. Петряков // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 1–2.

Петряков Валерий Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии металлов и ремонта машин,
Башкирский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34)
E-mail: V.petryakov@mail.ru

Petryakov Valery Georgievich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technology metals
and repair of machines,
Bashkir State Agrarian University
(34 50-th Anniversary of October street, Ufa, Russia)

Наталенко Валерий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии металлов и ремонта машин,
Башкирский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34)
E-mail: nvs1971@mail.ru

Natalenko Valery Sergeevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technology metals
and repair of machines,
Bashkir State Agrarian University
(34 50-th Anniversary of October street, Ufa, Russia)

Маннанов Марат Миргарифович

кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра математики,
Башкирский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34)
E-mail: mmm060958@mail.ru

Mannanov Marat Mirgarifovich

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor,
sub-department of mathematics,
Bashkir State Agrarian University
(34 50-th Anniversary of October street, Ufa, Russia)

Ахметьянов Ильшат Расимович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра механики и инженерной графики,
Башкирский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34)
E-mail: ahmetir09@rambler.ru

Akhmetyanov Ilshat Rasimovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of mechanics and engineering graphics,
Bashkir State Agrarian University
(34 50-th Anniversary of October street, Ufa, Russia)

УДК 303.71

Петряков, В. Г.

Энтропия в ранжировании методов восстановления деталей / В. Г. Петряков, В. С. Наталенко, М. М. Маннанов, И. Р. Ахметьянов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 3 (25). – С. 24–29. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-3-3.