УДК 622.276.05.620.193/.197

Разработка оптимальных режимов изготовления деталей из термопластичных материалов

Дж.А. Керимов, д.т.н.
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

e-mail: gunaycabirqizi@gmail.com

Ключевые слова: оптимальные режимы, пластмассовые детали, математическое моделирование, показатели качества, надежность, долговечность.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-8-31-35

Termoplastik materiallardan olan detalların optimal hazırlanma rejimlərinin işlənməsi

C.Ə. Kərimov, t.e.d.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: optimal rejimlər, plastik kütlədən olan hissələr, riyazi modelləşmə, keyfiyyət göstəriciləri, etibarlılıq, uzunömürlülük.

Plastik kütlədən hazırlanan hissələrin istehsalının optimal rejimlərinin təyini eksperimental və nəzəri tədqiqatların aparılmasını tələb edir. Bu tədqiqatların təşkili və həyata keçirilməsi böyük maddi vəsaitin və əmək ehtiyatlarının sərf olunmasına gətirib çıxarır.

Çoxlu sayda detalların içərisindən ən tipik olanlarının seçilib tədqiq olunması xərclərin azaldılması üçün ən effektiv üsul hesab olunur. Məqalədə neft maşınqayırmasında istifadə olunan detallar təhlil edilməklə daha uyğun olanlarının seçilməsi təklif olunur.

Development of optimum regimes for production of details from thermoplastic materials

J.A. Kerimov, Dr. in Tech. Sc.
Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: optimum regimes, plastic details, mathematical modeling, quality parameters, reliability, service life.

The definition of optimum regimes for production of plastic details requires the management of experimental and theoretical studies, the volume of which is significantly increases with the growth of the forms and standard sizes. The organization and management of such studies with the purpose of recommendations development on the production and exploitation of these details may lead to the significant consumption of financial and labor resources.

One of the most efficient ways of reducing mentioned costs is the selection and research of more typical details from the variety set. The paper proposes the method of formal analysis and selection of most relevant details of petroleum engineering from the great majority available.

В различных отраслях промышленности возникает необходимость изготовления многономенклатурных изделий с большой совокупностью форм и размеров. Каждое из этих изделий характеризуется набором показателей качества, формирующимся в процессе изготовления и определяющих исходное качество изделия. Установление исходного оптимального уровня качества изделия повышает надежность и долговечность его при длительной эксплуатации. Исходный уровень качества изделий в основном зависит от режимов их изготовления. Поэтому часто установление оптимального уровня качества изделия сводится к определению оптимального режима его изготовления.

Одним из эффективных путей сокращения указанных расходов является выбор и изучение наиболее типичных образцов из заданного множества изделий. Однако при наличии большого количества изделий и более двух компромиссирующих показателей качества такой выбор не только затрудняется, но иногда становится даже невозможным.

Выбор типичных образцов изделий, основанный на опыте и интуиции, в сложных ситуациях может привести к ошибочным результатам в дальнейших исследованиях. В связи с этим в данной работе предлагается способ формального анализа и выбора наиболее подходящих из большого количества деталей машиностроения вообще и нефтяного машиностроения в частности. Поскольку этот способ оперирует количественными соотношениями и использует основную характеристику – систему показателей качества изучаемых объектов-деталей, то результаты исследований в достаточной мере будут отражать качество однородных групп объектов.

Постановку задачи можно сформулировать следующим образом.

Дано множество объектов $X=(X_1, X_2, \ldots, X_m)$. Известны m свойств каждого объекта $X_i=(X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{im})$. Требуется разбить множество объектов на некоторое число групп так, чтобы в каждую группу входили объекты с наиболее близкими свойствами, и определить представителей групп, характеризующих остальные объекты каждой однородной группы.

Для решения поставленной задачи будем использовать количественные характеристики в виде меры близости, критерия оптимальности разбиения и критерия выбора типичного изделия. При группировании определенного вида изделий с несколькими показателями качества подходящей мерой близости является расстояние между любой парой объектов исходного множества [1]. Очевидно, что если задана функция расстояния $\rho=(X_i, X_j)$ для множества X, то близкие в смысле этой метрики объекты являются однородными и входят в одну группу.

В качестве меры расстояния между деталями, рассматриваемыми в работе, предлагается использовать взвешенное евклидово расстояние

$$\rho_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{m} \omega_k^2 (X_{ik} - X_{jk})^2}, \qquad (1)$$

где X_{ik} – значение k-го показателя качества i-го объекта; ω_k – весовой коэффициент, учитывающий степень важности k-го показателя качества при группировании и удовлетворяющий условию

$$\sum_{k=1}^{m} \omega_k = 1 \qquad \omega_k > 0. \qquad (2)$$

Определение весовых коэффициентов ω_k только по информации, содержащейся в исходных данных (X_{ik}), не всегда дает желаемый эффект. Поэтому при решении поставленной задачи можно использовать методы экспертной оценки.

При ранжировании показателей качества экспертами для вычисления весовых коэффициентов наиболее удобной является следующая формула [2]:

$$k = \upsilon_1 + \frac{Y_k - Y_1}{Y_m - Y_1}(\upsilon_m - \upsilon_1), \qquad (3)$$

где Y_k – суммарный ранг k-го признака; Y_1, Y_m – соответственно суммарный ранг наименее важного и наиболее важного признаков; υ_1, υ_m – соответственно присвоенный вес наименее и наиболее важного признаков. Однако вычисленные по формуле (3) веса υ_k не удовлетворяют условию (2), поэтому их следует нормировать по формуле

$$\omega_k = \frac{\upsilon_k}{\sum_{k=1}^{m} -\upsilon_k}. \qquad (4)$$

В качестве критерия оптимальности группирования объектов следует использовать такой критерий, который основывается на мере расстояния (1) и обеспечивает последовательную оптимальность процедуры группирования, так как число групп не задано. Исходя из этого, можно использовать среднее расстояние между элементами однородной группы – внутригрупповое расстояние или среднее расстояние между объектами разных групп, т.е. межгрупповое расстояние [3]. Учитывая простоту нами используется критерий разбиения по минимуму среднегруппового расстояния

$$\rho = m_v in \left\{ \bar{\rho}_v = \sum_{S=1}^{\rho} \bar{\rho}_{vS} \right\}. \qquad (5)$$

Здесь $\bar{\rho}_{vS}$ – среднее расстояние между объектами группы F_S, определяемое по формуле

$$\bar{\rho}_{vS} = \frac{2}{l(l-1)} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{l} \rho_{ij}; \quad i,j \in F_S, S = \overline{1,\rho}, \qquad (6)$$

где v – номер уровня разбиения на группы; S – номер группы, полученной на v-м уровне; ρ – число групп, полученных на v-м уровне; l – число объектов в S-й группе.

Использование критерия (5) позволяет реализовать иерархическую процедуру группирования, которая отличается наглядностью результатов и дает полный анализ структуры исследуемого множества объектов. Иерархическая процедура группирования, рассматриваемая здесь, основана на переборе элементов матрицы расстояния и состоит в последовательном объединении групп элементов сначала самых близких, а затем все более отдаленных друг от друга. Хотя некоторые иерархические процедуры отличают громоздкость их вычислительной реализации, при числе объектов n<150 объем машинной памяти и время реализации, требуемые этими алгоритмами, невысоки, а при небольшом числе объектов (n≤30) их можно реализовать даже вручную.

Алгоритм иерархического последовательного объединения объектов заключается в следующем.

На первом уровне иерархического дерева каждый объект X_i рассматривается как отдельная группа. Далее на каждом уровне происходит слияние двух самых близких групп. Работа алгоритма заканчивается, когда все исходные объекты объединены в одну группу [1, 3].

В связи с использованием в данной работе меры близости в виде расстояния строим матрицу сходства объектов так

$$R = \left\| \rho_{ij} \right\| j \quad (i, j = 1,2,\ldots,n). \qquad (7)$$

Так как $\rho_{ij}=\rho_{ji}$ при $i \neq j$ и $\rho_{ij}=0$ при $i=j$ то матрица (7) будет треугольной с нулевыми элементами на главной диагонали. Минимальный элемент матрицы R обозначим через C_1, второй после C_1 минимальный элемент – через C_2 и т.д. Составим из элементов C_i возрастающий ряд [3]

$$c_1 < c_2 < \ldots < c_t, \qquad (8)$$

где

$$t = \frac{1}{2}n(n-1) - 1.$$

Множество пар объектов, соответствующих членам ряда (8) обозначим через

$$A_{ij}^1, A_{ij}^2, \ldots, A_{ij}^*. \qquad (9)$$

Будем считать связанными две пары объектов:

– если эти пары имеют общий объект;

– если существует такая пара A_{ij}^*, с которой как первая, так и вторая пара имеют общий объект.

Рассматривая на первом шаге пару A_{ij}^1, определяем состав первой группы, образованной на первом уровне иерархического дерева, т.е. группу Γ_n. Далее рассматриваем пару A_{ij}^2. Если пара A_{ij}^2 окажется связанной с A_{ij}^1, то объекты из A_{ij}^2 включаем в состав группы Γ_n и вместо нее получаем Γ_{21} с большим числом элементов. Если пара A_{ij}^2 окажется не связанной с парой A_{ij}^1, то из объектов пары A_{ij}^2 образуем новую группу Γ_{22} и соответственно получаем группы второго уровня $\Gamma_{21} = \Gamma_n$ и Γ_{22}.

Продолжая, таким образом, на некотором уровне $v < n$ иерархического разбиения получим слияние всех объектов в единую группу $\Gamma_{v1}(X_1, X_2, \ldots, X_n)$. Обычно число таких уровней невелико по сравнению с числом объектов n. После получения конечного числа разбиений, начиная со второго, для каждого разбиения вычисляем значения $\bar{\rho}_{vS}$, ρ_v и определяем оптимальное разбиение.

Пусть определено некоторое число групп $\Gamma_{v1}, \Gamma_{v2}, \ldots, \Gamma_{v\rho}$. Из каждой группы необходимо выбрать такой объект, который является наиболее характерным для анализа качества всех объектов данной группы. Если представители полученных групп исследуются для проектирования оптимального режима изготовления каждого набора изделий, то следует использовать основной показатель качества, подлежащий улучшению, причем можно выбрать изделие с наихудшим показателем качества.

Дело в том, что при обеспечении оптимальности качества такого изделия, остальные однородные изделия в одном и том же режиме будут тем более удовлетворять условию оптимальности. Процедура выбора типичного представителя может быть формализована в следующем виде:

если основной показатель подлежит минимизации

$$n = \max_i \{n_i\}, \quad i \in \Gamma_{vS}; \quad S \in \{1, \rho\}. \qquad (10)$$

если основной показатель качества подлежит максимизации

$$n = \min_i \{n_i\}, \quad i \in F_{vS}; \quad S \in \{1, \rho\}. \qquad (11)$$

Решение задачи при n>10 целесообразно выполнять на компьютере. Изложенная нами методика была применена для решения задачи группирования и выбора типичных деталей нефтяного машиностроения при значительном количестве форм и размеров $n=1, 2, \ldots, v$, что позволило проектировать оптимальные режимы прессования и литья под давлением при относительно меньших затратах.

Задача была промоделирована на алгоритмическом языке и реализована на компьютере.

Полученные результаты подтвердили достоверность и эффективность предлагаемого метода.

При решении конкретной задачи в качестве исходных данных были взяты усредненные относительные значения следующих показателей качества деталей: X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}.

NEFT-MƏDƏN AVADANLIĞI
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ / OIL FIELD EQUIPMENT

На основе экспертного ранжирования и анализа этих показателей были получены следующие значения весовых коэффициентов:

$$\omega_1 = \frac{11}{S_2};\ \omega_2 = \frac{4}{13};\ \omega_3 = \frac{4}{13};\ \omega_4 = \frac{5}{13};\ \omega_5 = \frac{11}{13}.$$

Для удобства представления результатов в качестве примера приведем данные группирования десяти деталей.

Матрица расстояния для десяти деталей имеет вид

2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.236	0.234	0.325	0.250	0.174	0.272	0.374	0.240	0.320	1
	0.182	0.195	0.152	0.400	0.161	0.251	0.322	0.184	2
		0.105	0.189	0.239	0.118	0.201	0.298	0.140	3
			0.135	0.307	0.139	0.138	0.363	0.088	4
				0.218	0.183	0.128	0.194	0.124	5
					0.321	0.314	0.099	0.313	6
						0.219	0.391	0.119	7
							0.373	0.146	8
								0.372	9

Минимальное значение критерия разбиения получено на шестом шаге процедуры группирования

$$\min \rho_v = \rho_{6.1} + \rho_{6.2} = 0.156 + 0.099 = 0.255.$$

Следовательно, на этом шаге получено наилучшее разбиение со следующими составами групп:

$$Г_1 = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 10\};\ Г_2 = \{6, 9\};\ Г_3 = \{1\};\ Г_4 = \{2\}.$$

Такой результат хорошо согласуется с данными физического анализа десяти деталей и результатами многочисленных исследований [4, 5].

Поскольку группы $Г_3$ и $Г_4$ состоят только из одного элемента, критерий выбора представителя рассмотрен для групп $Г_1$ и $Г_2$. В данном примере усадка деталей играет доминирующую роль и имеет наибольшее значение весового коэффициента, поэтому при определении оптимального режима целесообразно минимизировать усадку деталей с ограничением остальных показателей качества. Следовательно, для выбора образцов используем критерий (10) и выбираем детали с максимальной усадкой $i = 7$ из группы $Г_1$ и $i = 9$ из группы $Г_2$.

Как видно из приведенного примера, вместо геометрии десяти деталей достаточно изучить детали *1* и *2*, которые составили отдельные группы и геометрии деталей *7* и *9* из групп $Г_1$ и $Г_2$, т.е. всего четыре детали. Следовательно, число деталей, подлежащих дальнейшему исследованию, сократилось в 2.5 раза.

Очевидно, что с ростом исходного количества деталей эффективность предлагаемого подхода становится более значительной.

Список литературы

1. *Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г.* Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974, 263 с.
2. *Бабанлы А.Ю.* Группирование коррелированных данных // Доклады научно-технической конференции по итогам НИР за 1968–1969 гг. Московский энергетический институт, 1970.
3. *Керимов Дж.А.* Научные основы и практические методы оптимизации показателей качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования: автореф. дисс. д-ра техн. наук. – Баку, 1985.
4. *Керимов Д.А., Мустафаев А.Д.* Группирование пластмассовых деталей по критериям качественных показателей // Тезисы научно-технической конференции. Развитие нефтяного машиностроения в Азербайджане в X пятилетке. – Баку, 1978.
5. *Kerimov D.A., Gasanova N.A.* Determination of quality of plastic details without disruptions. 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2018, Warsaw, Poland, August 27–28, 2018 Springer Nature Switzerland AG 2019, Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC), 2019, Springer, Cham, vol. 896, pp. 848-851.

References

1. *Beshelev S.D., Gukvich F.G.* Matematiko-staticheskie metody expertnykh otsenok. – M.: Statistika, 1974, 263 s.
2. *Babanly A.Yu.* Gruppirovanie korrelirovannykh dannykh // Doklady nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR za 1968–1969 gg. Moskovskiy energeticheskiy institut, 1970.
3. *Kerimov D.A.* Nauchnye osnovy i prakticheskie metody optimizatsii pokazateley kachestva plastmassovykh detaley neftepromyslovogo oborudovaniya: avtoref. diss. d-ra tekhn. nauk. – Baku, 1985.
4. *Kerimov D.A., Mustafaev A.D.* Gruppirovanie plastmassovykh detaley po kriteriyam kachestva pokazateley // Tezisy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Razvitie neftyanogo mashinostroeniya v Azerbaidzhane v X pyatiletke. – Baku, 1978.
5. *Kerimov D.A., Gasanova N.A.* Determination of quality of plastic details without disruptions. 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2018, Warsaw, Poland, August 27–28, 2018 Springer Nature Switzerland AG 2019, Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC), 2019, Springer, Cham, vol. 896, pp. 848-851.