

УДК 621.313

# ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАУКОЕМКОСТИ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

**А.С. Зенкин**

Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой\*

E-mail: as-zenkin@yandex.ru

**А.И. Химичева**

Доктор технических наук, профессор\*

**В.А. Годик**

Аспирант, ассистент\*

E-mail: ntsaknutd@gmail.com

**И.Т. Пухлик\***

**П.В. Иванов**

Аспирант\*

\*Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации  
Киевский национальный университет технологий и  
дизайна

ул.Немировича-Данченко, 2, корпус 3, г. Киев, 01011

Контактный тел./факс: (044) 280-34-32

*У статті розглядається можливість використання методів кластерного аналізу, для оцінки наукоємної продукції на основі частки витрат на НІОКР та показника нетрадиційності, що дозволяє оптимально організувати процес управління розробкою і створенням такої продукції*

*Ключові слова: наукоємність продукції, кластерний аналіз, оцінка, показники нетрадиційності*

*В статье рассматривается возможность использования методов кластерного анализа для оценки наукоёмкости продукции на основе доли затрат на НИОКР и показателя нетрадиционности, что позволяет оптимальным образом организовать процесс управления разработкой и созданием такой продукции*

*Ключевые слова: наукоёмкость продукции, кластерный анализ, оценка, показатели нетрадиционности*

*This article presents the possibility of using cluster methods for estimation high-tech products based on the share of expenditures and unconventional indicator, which enables optimal way to organize the management of design and development of such products*

*Key words: high-tech products, cluster analysis, evaluation, unconventional indicator*

## 1. Введение

Наиболее адекватным показателем, позволяющим оценить степень наукоёмкости новых образцов машиностроительной продукции, является количественно выраженное различие нового продукта от его прототипов, то есть показатель нетрадиционности [5]. Так как качество продукта обуславливает целый комплекс показателей, то степень наукоёмкости продукции можно интерпретировать как степень отличия технологических, организационно-экономических, информационных, экологических и социальных свойств нового продукта по сравнению с прототипами.

Анализ первых двух групп показателей показал, что в оценку технологичности нетрадиционных машиностроительных изделий входят такие параметры как:

- тип производства;
- номенклатура технических процессов;
- виды используемого сырья и материалов;
- оборудование;
- структура производственных фондов;
- регламент работ;
- энергоёмкость;
- трудоёмкость;
- фондоёмкость и фондоотдача.

Организационно – экономическая группа предусматривает сравнение между новой и выпускаемой продукцией следующих параметров:

- стоимость изделия;
- трудоемкость изделия;
- номенклатура покупных готовых изделий, дефицитных материалов;
- удельный вес импортных готовых изделий и материалов;
- отношение к запасам сырья и энергии;
- сроки эффективности использования.

Задача оценки наукоёмкости продукции на основе рассматриваемых показателей её нетрадиционности решается в два этапа: на первом этапе для каждого конкретного образца продукции необходимо сформировать множество наиболее близких прототипов, для которых имеется научно-производственная база, а на втором этапе необходимо оценить количественную степень различий разрабатываемого образца и наиболее сопряженного ему аналога. В последнее время для оценки степени наукоёмкости машиностроительной продукции все чаще используется метод кластерного анализа.

Алгоритмы кластеризации не требуют необходимости для статистических методов допущений и могут быть использованы в условиях отсутствия информации о законах распределения данных. Рассматриваемый

процесс или объект представляется в виде множества кластеров, элементы которых обладают количественными, качественными или смешанными свойствами, сгруппированными в матрице наблюдений.

## 2. Формулировка проблемы

Рассмотрим возможность и особенности использования кластерного метода для оценки степени наукоёмкости продукции более подробно. Обозначим:  $P$  - машиностроительная продукция, наукоёмкость которой необходимо оценить, а  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  - существующие образцы машиностроительной продукции наиболее сопряженные по своим показателям исследуемой продукции. Выделим в ряду прототипов  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  эталонный образец  $Q_0$ , обладающий минимальной по сравнению с другими  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  наукоёмкостью. В качестве эталонной продукции можно рассматривать ту, для которой относительная доля затрат на НИОКР минимальна.

$$C_0^* = \min(C * k), k = 0, \dots, N \quad (1)$$

Для нашего случая необходимо иметь следующие значения параметров, характеризующих все показатели наукоёмкой продукции. В частности:

$p^1, p^2, \dots, p^m$  - количественно выраженные показатели продукции  $P$ ;  
 $q_0^1, q_0^2, \dots, q_0^m$  - количественно выраженные показатели эталонной продукции  $Q_0$ ;  
 $q_1^1, q_1^2, \dots, q_1^m$  - количественно выраженные показатели продукции  $Q_1$ ;  
 $q_k^1, q_k^2, \dots, q_k^m$  - количественно выраженные показатели продукции  $Q_k$ .

Примем наукоёмкость  $S_0$ , продукции  $Q_0$  качестве базы отсчета, то есть  $S_0 = 0$ . Тогда, для того, чтобы оценить наукоёмкость каждого из видов продукции  $P, Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  необходимо количественно выразить степень близости показателей машиностроительной продукции  $P$  и  $Q_i, i = 1, \dots, N$  и показателей эталонной продукции  $Q_0$ . То есть в рамках такого подхода предполагается, что наблюдаемое увеличение доли затрат на НИОКР для всех видов продукции  $Q_i, i = 1, \dots, N$  по сравнению с прототипом является следствием увеличения наукоёмкости продукции.

## 3. Алгоритм решения задачи

Известно, что основная цель кластерного анализа, заключается в том, чтобы разбить всю совокупность образцов на группы "схожих" объектов, называемых кластерами. Применительно к рассматриваемой проблеме оценки наукоёмкости машиностроительной продукции решение задачи кластеризации существенно упрощается так как нас интересует степень близости характеристик продукции  $P, Q_i, i = 1, \dots, N$  к характеристикам эталонного образца и не интересует степень схожести образцов продукции  $Q_i, i = 1, \dots, N$  между собой. Это существенно упрощает процедуру кластеризации и интерпретации результатов.

Методы кластеризации довольно разнообразны и различаются по реализованным в них способам определения близости между объектами, а также в

зависимости от конкретных алгоритмов вычислений.

Наибольшей наглядностью представления результатов обладают так называемые аггломеративные (объединительные) методы. Графическое изображение процесса объединения кластеров представляет деидрограмма или дерево объединения кластеров. Результаты кластеризации с использованием объединительных методов зависят от конкретного способа вычисления расстояний между объектами и между кластерами. Эта зависимость тем сильнее, чем менее явно исследуемая совокупность разбивается на группы.

Проиллюстрируем аггломеративные процедуры кластерного анализа применительно к оценке наукоёмкости машиностроительной продукции. Предметом исследований является оценки расстояний  $r_i, i = 1, \dots, N$ , характеризующих степень близости показателей продукции  $P, Q_i, i = 1, \dots, N$  к эталонному образцу продукции  $Q_0$ .

Существуют различные подходы к вычислению расстояний  $r_i$ . Для этого используют:

- 1) евклидово расстояние;
- 2) квадратичное евклидово расстояние;
- 3) расстояние, формируемое как сумма абсолютных невязок;
- 4) расстояние Чебышева;
- 5) взвешенное расстояние;
- 6) расстояние, как процентная мера числа несопадений;
- 7) оценка близости исследуемой продукции на основе коэффициента линейной регрессии Пирсона.

Евклидово расстояние, определяемое как расстояние между двумя точками в пространстве исследуемых показателей нетрадиционности. С учетом введенных выше обозначений, расстояние  $r_i$  между образцами  $P, Q_i, i = 1, \dots, N$  и эталоном  $Q_0$  определяется следующим образом:

$$r_j = \left( \sum_{t=1}^m [(q_j^t - q_0^t) / q_0^t]^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Если необходим метод, обладающий большей чувствительностью к различиям, чем рассмотренный выше используют метод квадратичного евклидового расстояния:

$$r_i = \sum_{t=1}^m [(q_i^t - q_0^t) / q_0^t]^2 \quad (3)$$

"Усредненную" оценку расстояний между образцами продукции по исследуемым признакам позволяет получить расстояние, формируемое как сумма абсолютных невязок:

$$r_j = \sum_{t=1}^m |(q_j^t - q_0^t) / q_0^t| \quad (4)$$

Во многих случаях это расстояние совпадает с евклидовым расстоянием. Однако заметим, что при таком способе вычисления расстояний влияние больших различий сглаживается.

Когда желательно определить образцы продукции как различающиеся, если они различаются по крайней мере по одному из исследуемых признаков целесообразно использовать расстояние Чебышева:

$$r_j = \max_{t=1, \dots, m} |(q_i^t - q_0^t) / q_0^t| \quad (5)$$

Взвешенное расстояние:

$$r_j = \left( \sum_{t=1}^m [(q_j^t - q_0^t) / q_0^t]^{1/k} \right)^{1/k} \quad (6)$$

где  $k_1, k_2$  - параметры, устанавливаемые исходя из конкретных условий. В этом случае, такой способ вычисления расстояний позволяет устанавливать различные веса невязок как для отдельных показателей (за счет параметра  $k_1$ ) так и взвешивать невязки по всей совокупности показателей.

Расстояние, как процентная мера числа несовпадений:

$$r_i = 1 / m \sum_{t=1}^m x_t \tag{7}$$

$$x_t = \begin{cases} 1, & q_i^t \neq q_0^t \\ 0, & q_i^t = q_0^t \end{cases} \tag{8}$$

Оценка близости исследуемой продукции на основе коэффициента линейной регрессии Пирсона:

$$r_i = 1 - R \tag{9}$$

R - выборочный коэффициент корреляции Пирсона.

Аналогичным образом рассчитывается расстояние  $r_p$ , характеризующее степень отличий образца P и  $Q_0$ .

Рассчитанные в соответствии с приведенными выше значениями расстояния значений  $r_p, r_i, i = 1, \dots, N$ , количественно выражают степень нетрадиционности, то есть отличий показателей продукции P,  $Q_i, i = 1, \dots, N$  от эталона, обусловленных как мы предполагаем возрастанием наукоемкости.

Как видно из зависимости, представленной на рис. 1, расстояния  $r_p, r_i, i = 1, \dots, N$  будут различными для различных способов оценки нетрадиционности на основе приведенных выше соотношений. С тем, чтобы ослабить влияние метода, то есть сделать оценку универсальной, для оценки наукоемкости  $S_p, S_i, i = 1, \dots, N$  на основе показателей нетрадиционности  $r_p, r_i, i = 1, \dots, N$  удобнее использовать относительную величину

$$S_p = r_p / r_{\max} \tag{10}$$

$$S_i = r_i / r_{\max} \tag{11}$$

где  $r_{\max} = \max(r_p, r_i, i = 1, \dots, N)$  (12)

Графические результаты вычисления степени наукоемкости представлены на рис. 1.

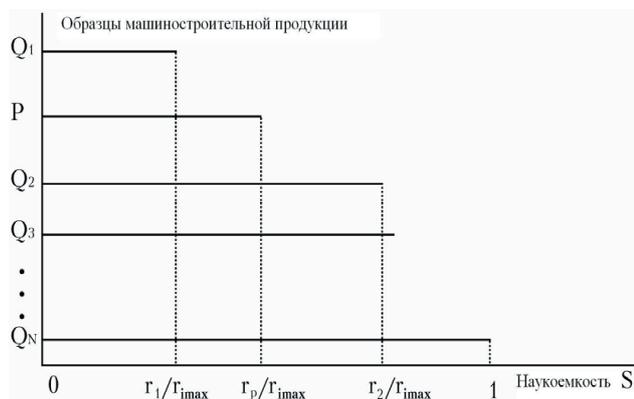


Рис. 1. Оценка степени наукоемкости продукции с использованием кластерного анализа

Таким образом, предлагаемый метод оценки наукоемкости позволяет решить две важные с точки

зрения разработки и создания машиностроительной продукции задачи:

- оценить степень наукоемкости продукции на основе ее нетрадиционности и, как следствие, обосновать структуру управления производством;

- оценить образы машиностроительной продукции, наиболее близкие по совокупности своих показателей к исследуемому образцу и тем самым обоснованно определить источники унификации с целью сокращения сроков и затрат на разработку наукоемкой продукции.

В принципе используя рассмотренный подход к оценке наукоемкости на основе нетрадиционности позволяет реализовать комбинированный подход к оценке наукоемкости на основе доли затрат на НИОКР и показателя нетрадиционности.

#### 4. Выводы

Предлагаемый метод оценки наукоемкости на основе кластерного анализа позволяет решить две важные с точки зрения разработки и создания машиностроительной продукции задачи:

- оценить степень наукоемкости продукции на основе её нетрадиционности и, как следствие, обосновать структуру управления производством;

- оценить образцы машиностроительной продукции, наиболее близкие по совокупности своих показателей к исследуемому образцу и тем самым обоснованно определить источники унификации с целью сокращения сроков и затрат на разработку наукоемкой продукции.

Рассмотренный подход к оценке наукоемкости на основе нетрадиционности и метод кластерного анализа позволяют реализовать комбинированный подход к оценке наукоемкости на основе доли затрат на НИОКР и показателя нетрадиционности и перейти к решению другой проблемы: как на основе оценок наукоемкости продукции оптимальным образом организовать процесс управления разработкой и созданием такой продукции.

#### Література

1. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. – 176с.
2. Уваров В.В., Пятибратов И.Н. Стратегический менеджмент и глобализация мировой экономики. - М.: Международный университет бизнеса и управления, 2001. - 283с.
3. Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности /РАН Центр, математ. Институт. - М.: Наука, 2002. - 181с.
4. Науменко П., Крахмальова Т. Від ідеї створення нового продукту до реалізації інноваційного проекту // Інтелектуальна власність. - 2004. - №1. - С.33-38.
5. Шлезингер М.И., Главач В. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. – Киев: Наук. думка, 2004.– 546 с.
6. Шуметов В. Г. Шуметова Л. В. «Кластерный анализ: подход с применением ЭВМ». ОрелГТУ, Орел, 2000.— 118 с.
7. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебник для вузов. – М.: Экзамен, 2006. – 576 с.