

УДК 621.74+004.93

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.101975

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРШНЕЙ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ «СМЕЩЕНИЕ ОСИ ОТВЕРСТИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ ПОРШНЯ»

© П. С. Пензєв, А. А. Пуляєв, М. С. Гулага, В. А. Власюк, Д. Н. Макаренко

*В результате исследования установлено классифицирующее правило, позволяющее определить, относится ли поршень к классу годного, или к классу брака по критерию «смещение оси отверстия относительно оси поршня». Полученное классификационное правило имеет вид линейной дискриминантной функции и может быть применено в системах поддержки принятия решений при выборе проектно-конструкторских решений в рамках компьютерно-интегрированной технологии проектирования литых поршней*

**Ключевые слова:** поршень, система поддержки принятия решений, классификационное правило

### 1. Введение

Современные подходы к созданию машин требуют максимально возможного согласования в части конструкторской и технологической подготовки производства. Так, очевидно, что как бы глубоко ни были проработаны конструкции машин [1, 2] или выполнено компьютерное или натурное моделирование эффективности конструкций [3, 4], не учет технологических факторов приводит к тому, что реальные показатели ниже проектных [5, 6].

Поэтому актуальным является использование специальных методов исследования, позволяющих согласовывать конструкторскую и технологическую части при компьютерно-интегрированной подготовке производства деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

### 2. Анализ литературных данных

Литые детали ДВС должны рассматриваться как детали типовой технологии литейного производства, компьютерно-интегрированное проектирование которых, независимо от вида литья, предполагает разработку 3D-модели и последующее компьютерное моделирование процессов заполнения формы и кристаллизации [7, 8]. Приоритетным для создания соответствующего нового программного обеспечения или задания условий корректного использования существующих программных продуктов, является математическое обеспечение конструкторско-технологической подготовки производства [9, 10]. В числе таких методов – методы распознавания образов [11, 12]. С их помощью можно классифицировать литые поршни по тем или иным геометрическим критериям.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является получение классифицирующего правила, позволяющее определить, относится ли поршень к классу годного, или к классу брака по критерию «смещение оси отверстия относительно оси поршня».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить параметры пространства признаков, существенно влияющих на классификацию;
- выбрать вид классифицирующего правила для системы поддержки принятия решений при выборе проектно-конструкторских решений в рамках компьютерно-интегрированной технологии проектирования литых поршней.

### 4. Методы исследования

Для исследования применялись параметрические методы классификации, суть которой описана в работах [13, 14], а опыт применения для изготовления литых деталей, в том числе ДВС, – в работах [15, 16]. Данные методы основаны на следующей процедуре. Если  $m^A$  и  $m^B$  – математические ожидания вектора  $X$  для классов  $A$  и  $B$ , и ковариационные матрицы распределения вектора  $X$  для классов  $A$  и  $B$  равны ( $cov^A(X) = cov^B(X)$ ), плотности распределения вероятностей  $p_A(X)$  и  $p_B(X)$  могут быть представлены в виде:

$$p_A(X) = ke^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^A)'cov^{-1}(x)(x-m^A)\right)},$$

$$p_B(X) = ke^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^B)'cov^{-1}(x)(x-m^B)\right)}, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянный множитель.

Общий вид классифицирующего правила:

$$x^j \in A \text{ если } F(A|x^j) \geq y_0,$$

$$x^j \in B \text{ если } F(B|x^j) < y_0. \quad (2)$$

где  $F(x^j)$  – дискриминантная функция, определяемая по уравнению (3), а  $y_0$  – пороговое значение дискриминантной функции.

Общий вид правила:

$$F(x) = x'cov^{-1}(x)(m^A - m^B) =$$

$$= \frac{1}{2}(m^A + m^B)'cov^{-1}(x)(m^A - m^B) - \ln \frac{P(A)}{P(B)}. \quad (3)$$

### 5. Результаты параметрической классификации поршней по критерию «смещение оси отверстия относительно оси поршня»

Показателями размерной точности поршней, позволяющими отнести их к годному или браку, являются диаметр базового пояска, биение диаметра базового пояска относительно оси головки поршня, высота торца базового пояска от торца головки, диаметр отверстия под палец, конусообразность и овальность отверстия под палец, смещение оси отверстия относительно оси поршня и др. конструктивные параметры. Некоторые из них, при несоответствии заданным раз-

мерам, могут не только формировать брак, но и вызывать поломки режущего инструмента, снижать надёжность металлообрабатывающего оборудования. Для анализа этих параметров необходимо на основе их измерений по партии готовых деталей определять статистические характеристики – математическое ожидание (M) и его среднеквадратическое отклонение (S). На основании полученных результатов определяется фактическая доля брака и годного.

В табл. 1 приведены некоторые показатели точности изготовления поршней на автоматической линии и фактическая величина брака.

Таблица 1

Некоторые показатели точности изготовления поршней на автоматической линии и фактическая величина брака

Конструктивный параметр	Поле допуска $\pm \delta$ , мм	Расчётные статистические характеристики		Доля брака, %
		M, мм	S, мм	
Диаметр базового пояска	$\pm 0,0095$	72,02	0,008	50
Биевание диаметра базового пояска относительно оси головки поршня	$\pm 0,0215$	0,012	0,017	4
Высота торца базового пояска от торца головки	$\pm 0,05$	83,911	0,029	8,3
Диаметр отверстия под палец	$\pm 0,005$	21,992	0,0014	0
Конусообразность отверстия под палец	$\pm 0,0025$	0,0001	0,0009	0
Овальность отверстия под палец	$\pm 0,0025$	0,0013	0,0009	0
Смещение оси отверстия относительно оси поршня	$\pm 0,1$	1,452	0,061	18,9

Решим эту задачу применительно к параметру качества «Смещение оси отверстия относительно оси поршня» («дезаксиал»). Из табл. 1 видно, что технологический процесс обеспечивает величину брака по заданному параметру 18,9 %. Будем считать, что увеличение этого показателя недопустимо. Если же это происходит, необходимо установить, по каким причинам оно произошло. Проанализировав конструкцию поршня, можно прийти к выводу, что основными факторами, определяющими взаимное расположение осей, являются положение оси отверстия под палец на отливке (т. е. после её извлечения из кокиля) и на готовой детали после механической обработки. Положение осей отверстий задаётся полем допуска соответственно для отливки и готовой детали. Конечное положение оси отверстия под палец в готовой детали формируется за счёт отклонения оси отверстия на отливке и в процессе механической обработки. Фактическое положение оси отверстия на отливке определяется степенью износа элементов оснастки, кокиля, случайными погрешностями при сборке кокиля и установке стержней и т. п. Фактическое положение оси отверстия на детали определяется в основном погрешностью настройки станка и износом режущего инструмента. После построения размерной цепи нетрудно увидеть, что наиболее существенными факторами, позволяющими идентифицировать причину брака, является фактическая величина дезакси-

ала на готовой детали и фактический радиус отверстия в отливке после её извлечения из кокиля.

Для выявления причины фактических отклонений исследуемого параметра от заданного значения необходимо провести обмеры его фактической величины на готовых деталях «поршень» и расстояния от оси поршня до крайней точки отверстия в отливке «поршень». На основании этих результатов расчётом размерных цепей получены фактические отклонения оси отверстия под палец в отливке от оси поршня и отклонения оси отверстия в детали «поршень» от оси поршня (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что при некоторых наборах значений  $X_1$  и  $X_2$  доля брака превышает установленную величину. Следовательно, необходимо построить границу, отделяющую годные поршни от бракованных. График распределения значения дискриминантной функции приведен на рис. 1.

Уравнение, описывающее граничное значение, имеет вид:

$$5,8024X_1 - 5,7286X_2 = -0,3708. \quad (4)$$

Графически это уравнение описывается прямой в координатах « $X_1$ – $X_2$ », отделяющей наборы значений параметров пространства признаков, характеризующих брак от набора факторов, характеризующих годное.

Таблица 2

Фактические положения осей отверстия под палец в отливке и в детали «поршень» и величина брака

Номер поршня	Отклонение оси отверстия в отливке от оси поршня ( $X_1$ )	Отклонение оси отверстия в детали от оси поршня ( $X_2$ )	Фактический процент брака
1	0,5	0,56	25,52
2	0,2	0,44	10,04
3	-0,1	0,13	31,08
4	-0,2	-0,22	11,45
5	0,4	0,58	11,45
6	0,6	0,72	13,6
7	0,1	0,045	20,95
8	0	0,03	13,6
9	0,3	0,21	43,33
10	0,7	0,7	50,04
11	-0,4	-0,24	43,33
12	-0,4	-0,595	90,82
13	0,5	0,35	50,04
14	-0,2	-0,28	13,6
15	0,2	0,27	13,6
16	0	0,24	16,86
17	0,1	0,28	31,08
18	0,4	0,325	20,95
19	0,7	0,48	87,9
20	-0,1	-0,1	16,85

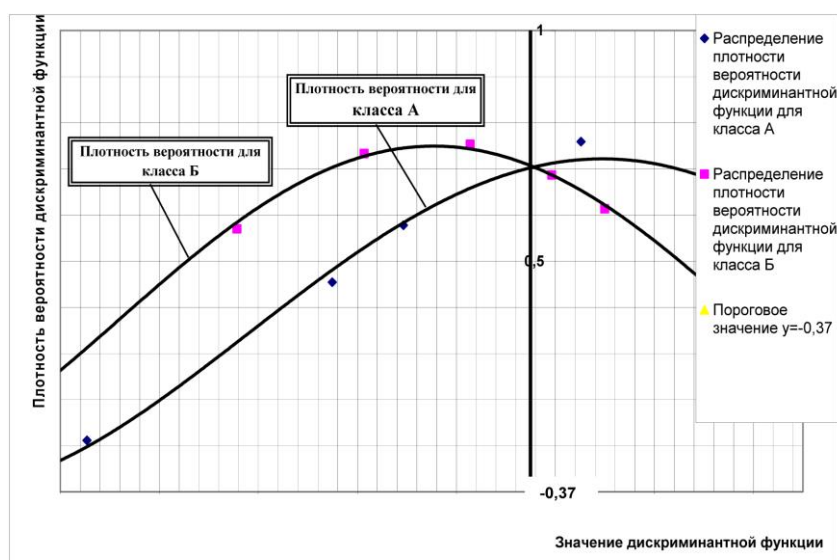


Рис. 1. Распределение дискриминантной функции для классов А и В: класс А – годное, класс В – брак

## 6. Обсуждение результатов

Полученная линейная дискриминантная функция позволяет классифицировать поршни как годные или как брак, задавая в качестве параметров пространства признаков отклонение оси отверстия в отливке от оси поршня ( $X_1$ ) и отклонение оси отверстия в детали от оси поршня ( $X_2$ ). Такой способ классификации может быть использован при оценке качества технологического процесса изготовления литых поршней ДВС или для систем поддержки принятия решений (СППР) при управлении технологическими процессами литья поршней в кокиль. Учитывая, что параметрические методы классификации не всегда позволяют проводить качественную классификацию, необходимо использовать модифицированные методы, например основанные на использовании методов

планирования экспериментов, как описано в работе [17]. Это может быть направлением развития данного исследования.

## 7. Выводы

Показано, что для повышения качества изготовления литых поршней ДВС необходимо использовать систему поддержки, основанную на использовании классифицирующего правила в виде линейной дискриминантной функции. Полученная линейная дискриминантная функция позволяет классифицировать поршни как годные или как брак, задавая в качестве параметров пространства признаков отклонение оси отверстия в отливке от оси поршня ( $X_1$ ) и отклонение оси отверстия в детали от оси поршня ( $X_2$ ).

## Литература

1. Самородов, В. Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на выходе” [Текст] / В. Б. Самородов, А. И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 7 (57). – С. 4–12. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4049>
2. Самородов, В. Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на входе” [Текст] / В. Б. Самородов, А. И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 2, № 7 (56). – С. 21–24. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3753>
3. Самородов, В. Б. Результаты экспериментального исследования процесса торможения колесного трактора «FENDT 936 VARIO» [Текст] / В. Б. Самородов, А. И. Бондаренко // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 3, № 2 (17). – С. 54–59. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/26215>
4. Самородов, В. Б. Результаты моделирования процесса разгона трактора-аналога «БЕЛАРУС 3022 ДВ» с гидрообъемно-механической трансмиссией [Текст] / В. Б. Самородов, А. И. Бондаренко // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 2, № 1 (10). – С. 11–15. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/12950>
5. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей [Текст] / О. В. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – № 3 (3). – С. 16–24. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2003\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2003_3_4)
6. Акимов, О. В. Повышение качества литых деталей ДВС: учет технологических аспектов автоматизированного литейного производства [Текст] / О. В. Акимов, О. С. Коваль, А. А. Пуляев, Е. П. Дымко, Т. А. Егоренко, С. В. Высоцкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 6, № 1 (78). – С. 56–62. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56039
7. Сапегина, Е. Н. Использование компьютерно-интегрированных технологий проектирования в литейном производстве [Текст] / Сапегина, Е. Н. // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – Т. 5, № 2 (7). – С. 61–62. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4850>
8. Насырова, В. А. Выявление резервов повышения качества корпусных отливок на основе компьютерно-интегрированного проектирования оснастки [Текст] / В. А. Насырова // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 6, № 2 (14). – С. 41–43. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19531>
9. Дёмин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4 (67). – С. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203
10. Дёмин, Д. А. Адаптивное моделирование в задаче поиска оптимального управления термовременной обработкой чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 6, № 4 (66). – С. 31–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19453/17110>
11. Фразе-Фразенко, О. Алгоритм навчання нейронної мережі при розпізнаванні зображень [Текст] / О. Фразе-Фразенко // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – Т. 4, № 1 (6). – С. 33–34. – Режим доступа: <http://dspace.oneyu.edu.ua/jspui/handle/123456789/259>
12. Unglert, K. Principal component analysis vs. self-organizing maps combined with hierarchical clustering for pattern recognition in volcano seismic spectra [Text] / K. Unglert, V. Radic, A. M. Jellinek // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2016. – Vol. 320. – P. 58–74. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2016.04.014
13. Дёмин, Д. А. Принятие решений в процессе управления электроплавкой с учетом факторов нестабильности технологического процесса [Текст] / Д. А. Дёмин // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2010. – № 17. – С. 67–72.
14. Дёмин, Д. А. Идентификация чугуна для определения рациональных режимов легирования [Текст] / Д. А. Дёмин, А. Б. Божко, А. В. Зрайченко, А. Г. Некрасов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – Т. 4, № 1 (22). – С. 29–32.
15. Васенко, Ю. А. Совершенствование технологии получения износостойкого чугуна [Текст] / Ю. А. Васенко // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – № 1 (3). – С. 17–21. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/viewFile/4870/4521>
16. Пономаренко, О. И. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации как резерв повышения качества поршней ДВС [Текст] / О. И. Пономаренко, Н. С. Тренёв // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 6, № 2 (14). – С. 36–40. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/viewFile/19529/17205>
17. Mourad, A. Localization of vectors–patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy [Text] / A. Mourad // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, Issue 4 (82). – P. 10–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.76171

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Хорошилов О. М.  
Дата надходження рукопису 27.03.2017*

**Пензев Павел Сергеевич**, ассистент, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002  
E-mail: [litov11@kpi.kharkov.ua](mailto:litov11@kpi.kharkov.ua)

**Пуляев Антон Анатольевич**, аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

**Гулага Михаил Сергеевич**, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

**Власюк Владислав Андреевич**, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

**Макаренко Дмитрий Николаевич**, старший преподаватель, кафедра химии, экологии и экспертных технологий, Национальный Аэрокосмический Университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070  
E-mail: [d.makarenko@khai.edu](mailto:d.makarenko@khai.edu)