

2.3.3

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

ESTIMATION OF THE CYLINDER-PISTON GROUP RESIDUAL LIFE FOR A DIESEL ENGINE BASED ON FUZZY LOGIC

Лариса Анатольевна Симонова, доктор технических наук, профессор

Демьянов Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Капитонов Александр Александрович, аспирант

**Набережночелнинский институт (филиал) федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

Аннотация: В работе рассмотрена реализация предложенной ранее методики, позволяющей оценить фактическое состояние основных узлов двигателя внутреннего сгорания, для определения величины остаточного ресурса на примере цилиндропоршневой группы. Приведен перечень основных диагностических параметров и диапазоны их изменения, выявлена зависимость между значениями диагностических параметров и степенью износа, формализованная в виде базы правил подсистемы нечеткого логического вывода.

Abstract: The paper considers the implementation of the previously proposed methodology, which allows to assess the actual condition of the main components of the internal combustion engine, to determine the value of the residual life of the cylinder piston group. The list of the main diagnostic parameters and ranges of their changes is given, the dependence between the values of diagnostic parameters and the degree of wear is revealed, formalized in the form of a rule base of the fuzzy inference subsystem.

Ключевые слова: дизельный двигатель, цилиндропоршневая группа, остаточный ресурс, нечеткий логический вывод, база правил.

Keywords: diesel engine, cylinder-piston group, residual life, fuzzy logical conclusion, rule base.

Введение. Одним из важных элементов дизельного двигателя является цилиндропоршневая группа (ЦПГ), обеспечивающая преобразование тепловой энергии сгорания топлива в механическую энергию движения поршней. В связи с этим оценка фактического состояния ЦПГ представляет собой важную практическую задачу, для решения которой был предложен целый ряд методик [1-3].

Однако, большинство известных методик требует для своей реализации применения специализированного диагностического оборудования или же позволяет получать лишь достаточно грубые оценки. Поэтому перспективным способом определения фактической величины остаточного ресурса ЦПГ представляется использование интеллектуальных алгоритмов анализа данных.

Ранее авторами была предложена общая методика определения величины остаточного ресурса основных узлов ДВС на основе нечеткой логики [4]. В данной работе рассматривается ее применение к задаче оценки величины остаточного ресурса ЦПГ дизельного двигателя грузового автомобиля.

Оценка остаточного ресурса ЦПГ. В соответствии с общей методикой [4] на начальном этапе путем анализа статистических данных и экспертного мнения опытных специалистов по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту автомобилей семейства КАМАЗ, был определен перечень основных диагностических параметров, характеризующих степень изношенности ЦПГ: крутящий момент двигателя, удельный расход топлива, температура охлаждающей жидкости, давление картерных газов.

Далее в соответствии с мнением экспертов были определены закономерности изменения диагностических параметров в процессе износа ЦПГ (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень диагностических параметров

Наименование диагностического параметра	Малый износ	Средний износ	Значительный износ
Крутящий момент двигателя, M	Номинальный	Пониженный	Низкий
Удельный расход топлива, g	Номинальный	Повышенный	Высокий
Температура охлаждающей жидкости, $t_{ож}$	Номинальная	Повышенная	Высокая
Давление картерных газов, $p_{кг}$	Номинальное	Повышенное	Высокое

На основе экспертной оценки для одной из моделей двигателей были определены конкретные числовые значения диапазонов изменения диагностических параметров при скорости вращения 1100 об/мин в установившемся режиме. С целью упрощения дальнейшей программной реализации методики была проведена нормировка рассматриваемых величин в соответствии с формулой:

$$x = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}$$

Здесь обозначено: A – натуральное значение диагностического параметра, выраженное в соответствующих физических величинах; A_{\max} и A_{\min} – соответственно наибольшее и наименьшее значения диагностического параметра; x – нормированное значение диагностического параметра, выраженное в безразмерных величинах и находящееся в диапазоне от 0 до 1.

В таблице 2 представлены полученные диапазоны изменений диагностических параметров.

Таблица 2 – Диапазоны изменения диагностических параметров

Диагностический параметр	Номинальный	Пониженный	Низкий
Крутящий момент двигателя M , Н*м	2350 - 1900	2000 - 1600	1690 - 1350

Нормированный крутящий момент двигателя x_1	1 - 0,55	0,65 - 0,25	0,34 - 0
Удельный расход топлива g , г/кВт*ч	180 - 191	190 - 204	203 - 220
Нормированный удельный расход топлива x_2	0 - 0,275	0,25 - 0,6	0,575 - 1
Температура охлаждающей жидкости $t_{ож}$, °С	90 - 103	98 - 110	107 - 115
Нормированная температура охлаждающей жидкости x_3	0 - 0,52	0,32 - 0,8	0,68 - 1
Давление картерных газов $p_{кг}$, кПа	0,48 - 0,6	0,57 - 0,8	0,75 - 0,88
Нормированное давление картерных газов x_4	0 - 0,3	0,225 - 0,8	0,675 - 1

Для всех выбранных входных переменных была принята трапецеидальная форма функции принадлежности.

По совокупности значений диагностических параметров может быть определена нормированная величина степени износа ЦПГ (таблица 3). Вид функции принадлежности выходной величины был принят треугольным.

Таблица 3 – Диапазоны изменения степени износа

Наименование выходной величины	близк ая к нулю	низкая	ниже средней	средняя	выше средней	повышенная	высокая
Степень износа, P	0 - 0,2	0,1 - 0,3	0,2 - 0,5	0,3 - 0,7	0,5 - 0,8	0,7 - 0,9	0,8 - 1

Величина остаточного ресурса определяется по формуле:

$$R = R_0(1 - P).$$

Здесь R – расчетное значение величины остаточного ресурса в километрах пробега; R_0 – регламентное значение ресурса ЦПГ (для данной модели автомобиля принято равным 1 млн. км.); P – нормированное значение степени износа.

Взаимосвязь между значениями диагностических параметров и степенью износа ЦПГ была получена путем обработки экспертных оценок и формализована в виде базы, включающей в себя 81 правило. В таблице

4приведен фрагмент разработанной базы, веса всех правил в базе были приняты равными единице.

Таблица 4 – Фрагмент база правил подсистемы нечеткого вывода

№	Крутящий момент двигателя	Удельный расход топлива	Температура охлаждающей жидкости	Давление картерных газов	Степень износа
1	номинальный	номинальный	номинальная	номинальное	близкая к нулю
2	номинальный	номинальный	номинальная	повышенное	низкая
3	номинальный	номинальный	номинальная	высокое	средняя
...
80	низкий	высокий	высокая	повышенное	высокая
81	низкий	высокий	высокая	высокое	высокая

Описанная подсистема нечеткого логического вывода была реализована в системе компьютерной математики MATLAB с использованием пакета расширений Fuzzy Logic Toolbox [5]. На рисунке 1 приведен пример поверхности, показывающей зависимость степени износа ЦПГ от нормированных значений температуры охлаждающей жидкости и давления картерных газов при некоторых промежуточных значениях крутящего момента и удельного расхода топлива.

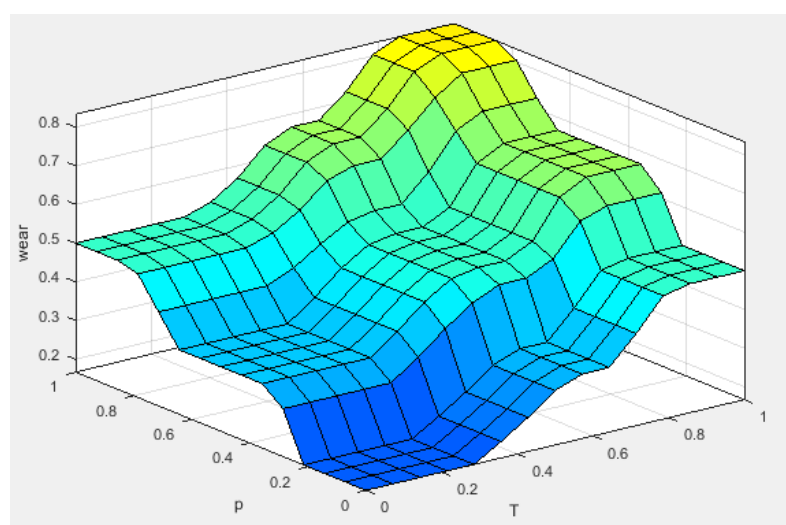


Рис. 1 – Зависимость степени износа от значения диагностических параметров x_3 и x_4

Для предварительной оценки разработанной подсистемы нечеткого логического вывода была проведена серия вычислительных экспериментов с использованием реальных данных, соответствующих пробегу 150 и 300 тыс. км. Полученные результаты являются адекватными и соответствуют экспертным оценкам степени износа и величины остаточного ресурса ЦПГ.

Заключение. В представленной работе разработана и реализована подсистема нечеткого логического вывода, позволяющая оценивать величину остаточного ресурса по известным значениям диагностических параметров. После незначительной подстройки параметров подсистемы нечеткого логического вывода, полученные результаты могут быть использованы для оценки фактического состояния ЦПГ дизельных двигателей иных моделей.

Список литературы

1. *Агеев Е.В., Кудрявцев А.Л., Севостьянов А.Л.* Алгоритм диагностирования цилиндропоршневой группы с применением технического эндоскопа // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 1. С. 116-122.
2. *Грунин К.Е.* Совершенствование диагностики цилиндропоршневой группы методом пневмотестирования // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 4. С. 13-21.
3. *Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А., Корниенко В.Н., Галынский А.А.* Совершенствование способа оценки технического состояния цилиндропоршневой группы на основе внешней импульсно-силовой характеристики двигателя // АПК России. 2022. Т. 29. № 1. С. 36-41.
4. *Симонова Л.А., Демьянов Д.Н., Капитонов А.А.* Методика оценки величины остаточного ресурса основных узлов ДВС на основе нечеткой логики // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 12. С. 136-139.
5. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. 288 с.