

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

## APPLICATION OF ELEMENTS OF THE THEORY OF FUZZY MODELING IN THE TASKS OF MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF COMPONENTS AND ASSEMBLIES OF MOTOR VEHICLES

**A. Chuvashov**  
**P. Kozhevnikova**  
**V. Mushinsky**

*Summary.* This paper proposes the use of the theory of fuzzy sets in the interpretation of data obtained in laboratory conditions for the analysis of lubricants that worked in the aggregates of motor vehicles. The proposed algorithms will allow you to get rid of unreliable values that are very common in data of similar origin. Reliable values of spent lubricants allow mechanics of various enterprises operating cars to take timely actions to maintain vehicles, as well as to prevent premature failure of units and assemblies, which reduces the financial costs of expensive repairs.

*Keywords:* engine oil, transmission oil, mathematical modeling, fuzzy modeling, clustering, optimization problem.

**Чувашов Артур Александрович**

Аспирант, Ухтинский государственный  
технический университет, г. Ухта  
achuvashov@ugtu.net

**Кожевникова Полина Валерьевна**

К.т.н., Ухтинский государственный технический  
университет, г. Ухта  
pkozhevnikova@ugtu.net

**Мушинский Владимир Леонидович**

Ведущий инженер, ТПП «ЛУКОЙЛ-Усинскнефтегаз»,  
г. Усинск  
pavlov0311@inbox.ru

*Аннотация.* В данной работе предлагается использование теории нечетких множеств при интерпретации полученных в лабораторных условиях данных по анализу смазочных материалов, работавших в агрегатах автотранспортных средств. Предлагаемые алгоритмы позволят избавиться от недостоверных значений, очень часто встречающихся в данных подобного происхождения. Достоверные значения показателей отработанных смазочных материалов позволяют механикам различных предприятий, эксплуатирующих автомобили, предпринимать своевременные действия по обслуживанию транспортных средств, а также предотвращению преждевременного выхода агрегатов и узлов из строя, что уменьшает финансовые затраты на дорогостоящий ремонт.

*Ключевые слова:* моторное масло, трансмиссионное масло, математическое моделирование, нечеткое моделирование, кластеризация, оптимизационная задача.

**З**адача своевременной и качественной диагностики технического состояния агрегатов транспортных средств является одной из важнейших, поскольку обнаружение проблем на ранней стадии позволяет значительно сократить затраты на дорогостоящий ремонт [1]. В настоящее время как в РФ, так и за рубежом развиваются различные методики по выявлению неисправностей в узлах транспортных средств с помощью интервального анализа работающих в них смазочных материалов (масла) в течение эксплуатации (по пробегу и (или) моточасам). Такой вид диагностики имеет ряд преимуществ:

1. проведение диагностики без разбора узлов;
2. неисправность узла (трансмиссии, двигателя, редукторов) выявляется на одной из ранних стадий, что напрямую влияет на стоимость ремонта;

3. отбор проб масла для анализа исключает необходимость транспортировки диагностического оборудования к месту работы техники, или, наоборот, доставку техники в пункт диагностики;
4. с помощью данного анализа возможно выявление фактической потери смазочными материалами эксплуатационных свойств и их оперативной замены, а не по регламентным интервалам.

Авторами [2] описывается создание цифровой системы мониторинга техники. Согласно этой системы, в узел автомобиля устанавливается разработанный датчик скорости износа, принцип работы которого основан на улавливании в работающем смазочном материале содержания продуктов износа — металлических частиц, повышенное содержание которых, как правило, образуется следующими факторами:

Таблица 1. Показатели содержания частиц железа

№	Агрегат	Содержание частиц железа	
		Нормальное значение, мг/л масла, не более	Предельно допустимое значение, мг/л масла
1	Гидравлические механизмы и системы	10	30
2	Двигатель внутреннего сгорания	30 (бензиновый ДВС) 60 (дизельный ДВС)	150 (бензиновый ДВС) 300 (дизельный ДВС)
3	Компрессоры	25	50
4	Механические трансмиссии	80	200
5	Турбинные агрегаты	20	30

- ◆ износостойкость деталей;
- ◆ эффективность системы очистки масла;
- ◆ применение некачественных (фальсифицированных) масел со сниженным содержанием противозносных компонентов;
- ◆ сильное превышение рекомендуемого производителем масла интервала замены.

В таблице 1 представлены предельные (браковочные) показатели содержания частиц железа в маслах, работающих в различных агрегатах.

Затем, по беспроводному протоколу Bluetooth происходит периодическая передача показателей водителю, либо механику предприятия для дальнейшего реагирования.

В программное обеспечение встроен алгоритм, позволяющий прогнозировать дальнейшее поведение масла и давать рекомендации о необходимости его замены. Недостатком данного прогноза является то, что он выполняется на основании статистических данных, взятых из базы имеющихся замеров аналогичных узлов. Соответственно, возникает возможность наследования статистических ошибок, описанных ранее при рассмотрении классических подходов к оценке достоверности подсчетов запасов углеводородов.

Применение созданного в рамках диссертационной работы программного комплекса при анализе показателей смазочного масла может позволить повысить точность прогноза его дальнейших эксплуатационных свойств, что положительно скажется на стоимости обслуживания транспорта. Для обоснования возможности применения необходимо воспользоваться представленными в работе [3] данными по замерам количества металлических частиц в масле и прогнозами эксплуатационных свойств, выполнить собственные исследования на этих же данных с применением созданного математического аппарата, сопоставить результаты и сделать выводы.

Представленные далее расчеты проведены с использованием программного комплекса, разработанного авторами статьи на языке программирования C#, вывод графических результатов осуществлялся в среду MatLab. Данный комплекс разрабатывался для решения задачи оценки достоверности исходных данных, используемых при прогнозировании запасов углеводородов, то есть в нефтегазовом деле. Однако, учитывая, что в его основе находится математическая нечеткая модель, можно утверждать, что применение этого комплекса возможно в различных отраслях прикладной области естественных наук. Для обоснования данного утверждения проведены нижеследующие экспериментальные расчеты.

Алгоритм решения задачи оценки достоверности исходных данных состоит из двух этапов:

- ◆ на первом этапе решается задача расположения источников;
- ◆ на втором — подбор веса источников.

#### Первый этап

Для определения местоположения источников на сетке воспользуемся алгоритмом кластеризации. Кластеризация — это разбиение исходных данных на кластеры. Кластеры представляют из себя группы со схожими характеристиками, которыми, в нашем случае, являются значения одновременно измеренных параметров.

В основе алгоритмов кластеризации лежит критерий сравнения объектов, которым, как правило, является расстояние. Для расчета расстояния была выбрана метрика квадрата евклидова расстояния ( $\rho$ ) между объектами  $x$  и  $x'$ :

$$\rho(x, x') = \sum_i^n (x_i - x'_i)^2,$$

где  $n$  — количество характеристик объекта.

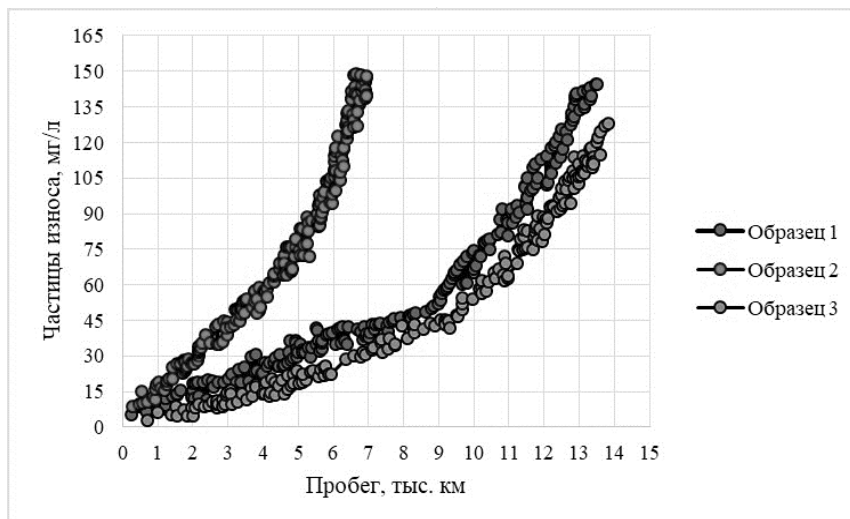


Рис. 1. Данные по исследованиям образцов моторного масла

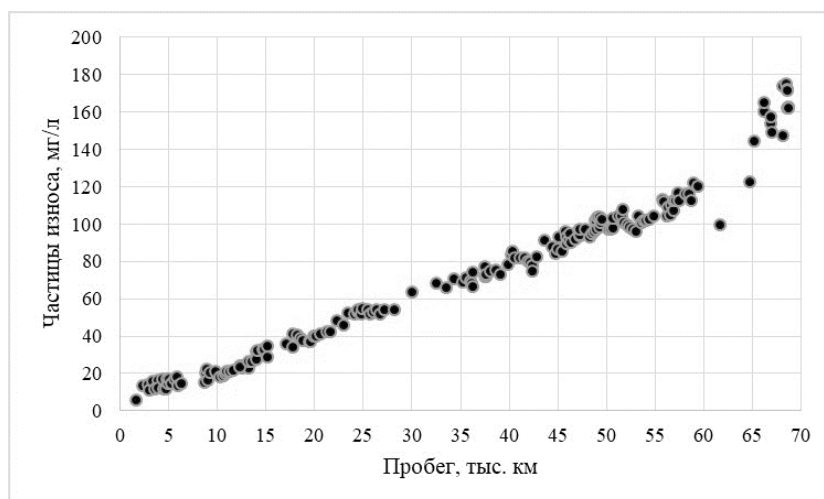


Рис. 2. Данные по исследованиям образца трансмиссионного масла

В качестве алгоритма кластеризации для решения поставленной задачи был выбран метод *k*-средних, позволяющий построить оптимальное решение (выбор координат источников) на основе минимизации суммарного квадратичного отклонения объектов кластера от центров данных кластеров:

$$\min_C \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \rho(\mathbf{a}_i, \mathbf{s}^k),$$

здесь  $C = \{\mathbf{s}^k; k = 1 \div K\}$  — набор кластеров.

Входными данными для решения задачи кластеризации являются вектор значений параметров и коли-

чество источников. Выбранный метод удобен тем, что рассчитанные центры кластеров будут использованы в качестве координат источников данных.

### Второй этап

Для решения задачи (1) в рамках второго этапа с целью расчета весов источников в точках (центров кластеров), полученных на первом этапе, можно воспользоваться алгоритмом Хука-Дживса. Данный метод относится к методам прямого поиска экстремума функции и состоит из исследующего поиска и поиска по образцу. Исследующий поиск предназначен для определения направления минимизации. Поиск по образцу заключается в изменении параметров функции вдоль

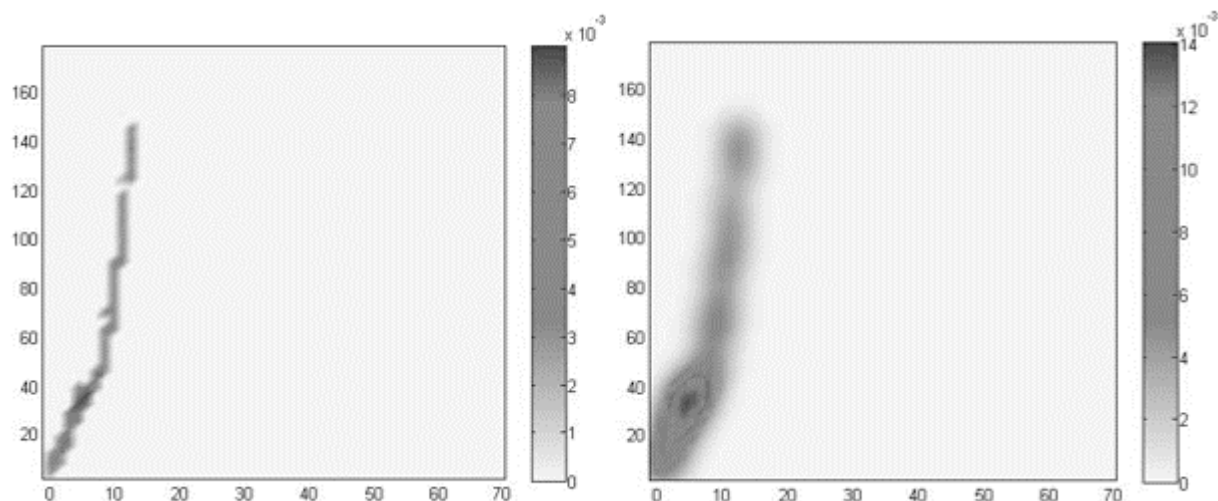


Рис. 3. Исследование исходных данных образца моторного масла 1:  
карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

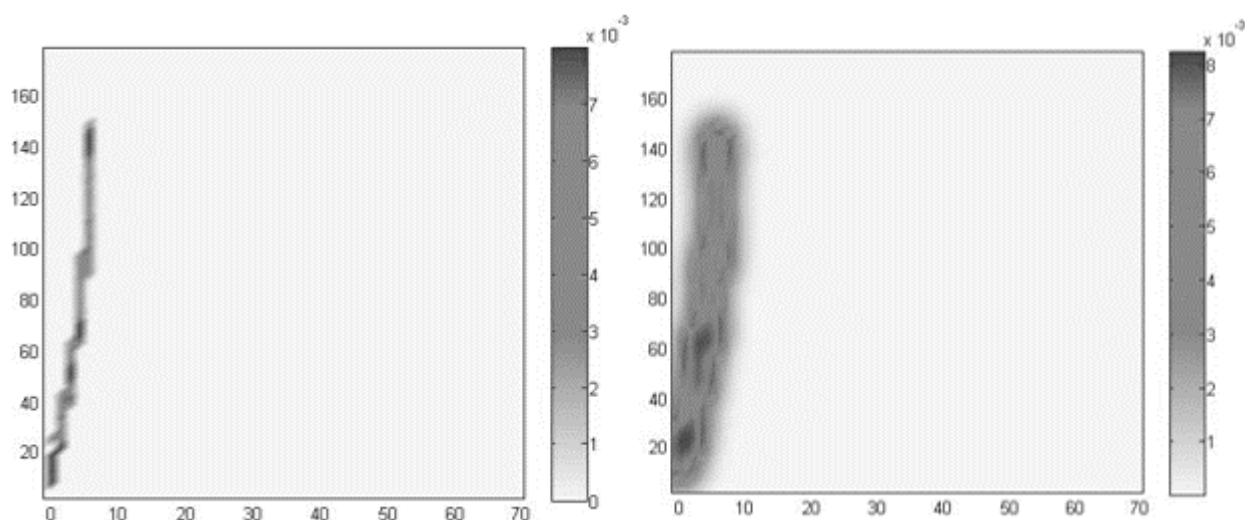


Рис. 4. Исследование исходных данных образца моторного масла 2:  
карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

выбранного направления. Метод Хука-Дживса широко применяется при решении инженерных задач [4].

#### Проведение экспериментальных расчетов

В качестве исходных данных для исследования были выбран графики зависимости содержания частиц износа от пробега двигателя внутреннего сгорания в трех образцах моторного масла разных одного и того же класса (10W40 API SG/CD) разных производителей (рисунок 1), а также зависимость содержания частиц износа от пробега трансмиссионного масла 85W90 API GL4

механической трансмиссии переключения передач автомобиля семейства «ГАЗель» (рисунок 2). По утверждениям авторов [3], данные значения получены путем исследования реальных образцов масел.

Затем, с помощью программы Graph2Digit, была произведена оцифровка данных графиков в таблицы Microsoft Excel. На следующем шаге данные таблицы загружались в созданный программный комплекс, и производился расчет. Для вычислений была выбрана расчетная сетка  $S$  размером  $50 \times 50$  (согласно проводившимся ранее исследованиям по подбору расчетной

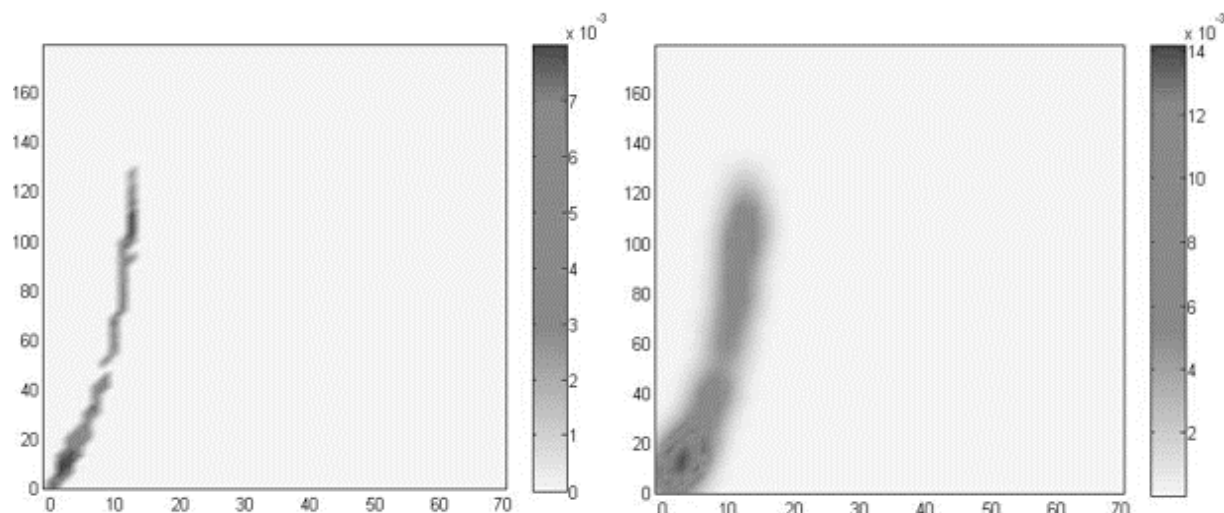


Рис. 5. Исследование исходных данных образца моторного масла 3:  
карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

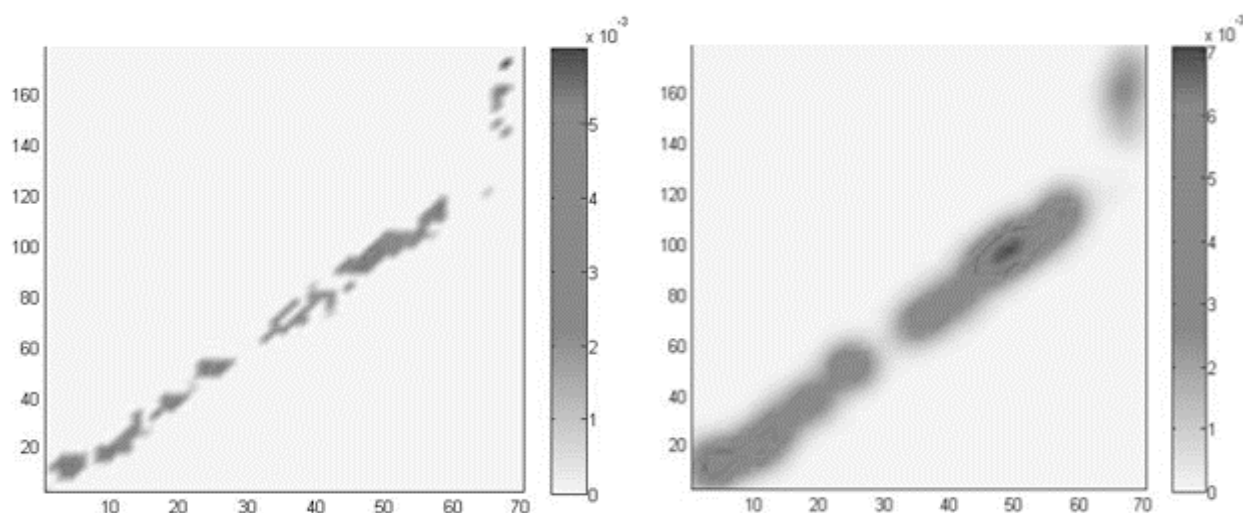


Рис. 6. Исследование исходных данных образца трансмиссионного масла:  
карта источников (слева), поле рассеяния (справа)

сетки [5]). Расчеты были выполнены по трем образцам моторных масел, и по образцу трансмиссионного масла. На рисунках 3–6 представлены результаты.

Карта источников отображает местоположение источников, полученное на первом этапе, и веса источников, полученные на втором этапе. Поле рассеяния является основой представления данных в форме нечетких отношений и используется для оценки алгоритма сжатия информации путем сравнения данного поля с картой плотности. Вертикальная цветовая шкала справа на рисунках отображает числовые значения источников и поля рассеяния в палитру.

Анализируя результаты анализов образцов моторных масел, можно сделать вывод о том, что образец № 2 потерял удовлетворительные смазочные свойства, проработав около 60% от заявленного ресурсного времени. Для вынесения окончательного заключения необходима дополнительная информация об условиях эксплуатации, а также о происхождении данного масла. По общей оценке остальных образцов, видно, что количество металлических частиц в масле увеличивается прямо пропорционально пробегу.

В ходе выполнения экспериментальных расчетов были сделаны следующие выводы:

1. Для распределения источников информации при представлении набора одновременно измеренных значений параметров можно использовать алгоритм кластеризации, в частности, основанный на метрике квадрата евклидова расстояния.
2. Для расчета весов источников допустимо использовать метод Хука-Дживса.
3. Алгоритм, созданный изначально для решения задач нефтяной промышленности, допустимо использовать в прикладных областях естественных наук, что свидетельствует об его универсальности.
4. Следующим этапом является определение критерия уменьшения количества источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Криони Н.К., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г., Мигранов А.М. Смазочные материалы в машинах и при лезвийной обработке: учеб. пособие. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 221 с.
2. Мигранов, А.М. Мониторинг состояния узлов трения по анализу смазочных материалов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». № 2 (10), 2021. — С. 29–38.
3. Салахов Т.З., Мигранов М.Ш., Нигматуллин Р.Г. Увеличение эффективности технического обслуживания промышленного оборудования на основе анализа состояния масла // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 5. № 2. С. 50–54.
4. Р. Хук, Т.А. Дживс «Прямой поиск решения для числовых и статических проблем». — М.: Мир, 1961. — С. 212–219.
5. Кожевникова П.В., Кунцев В.Е., Чувашов А.А. Влияние шага расчетной сетки при построении функций принадлежности отношений между петрофизическими параметрами // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2021. — № 7. — С. 65–70.

© Чувашов Артур Александрович ( achuvashov@ugtu.net ), Кожевникова Полина Валерьевна ( pkozhevnikova@ugtu.net ),  
Мушинский Владимир Леонидович ( pavlov0311@inbox.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Ухтинский государственный технический университет