

Хемометрический метод в спектрометрическом анализе биодизеля для таможенных целей

***П.Н. Березов, В.Е. Гольева**

Экспертно-криминалистическая служба – региональный филиал Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344019, г. Ростов-на-Дону, пр. Шолохова, 50

**Адрес для переписки: Березов Павел Николаевич, E-mail: berezov_pavel@mail.ru*

Поступила в редакцию 12 сентября 2023 г., после доработки 07 декабря 2023 г.

Статья посвящена разработке методики оперативного контроля достоверности декларирования перевозимых грузов. В последнее время наблюдается увеличение доли биотоплива на международном рынке и при экспортно-импортных операциях. При таможенном контроле топлив особое внимание уделяется проверке правильности заявленного кода в соответствии с Товарной номенклатурой внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза (далее – ТН ВЭД ЕАЭС). Топлива, содержащие биодизель, имеют особенности классификации в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС, обусловленные химическим составом товара. Стандартный метод определения состава биодизельных топлив по ГОСТ 33077-2014 спектроскопией в средней инфракрасной области имеет ограниченный диапазон измерений в таможенных целях, не позволяет осуществлять предварительную проверку достоверности декларирования товаров, требует доставки проб в лабораторию. Разработана методика экспресс-определения группы нефтяных топлив путем сочетания методов инфракрасной спектроскопии и хемометрики. Проанализированы спектроскопические данные нефтяных топлив, содержащих и не содержащих биодизель, и с помощью метода проекции на латентные структуры (PLS-DA) построены градуировочные модели. Топлива, относящиеся к различным классам или товарным позициям ТН ВЭД ЕАЭС, достаточно четко разделены на модели дискриминационного анализа с помощью регрессии на латентные структуры. При анализе пробы топлива попадание его спектра в отдельный класс свидетельствует о принадлежности топлива группе, аналогичной другим образцам этого класса. С помощью хемометрического метода решена классификационная задача анализа топлив. Предлагаемая методика позволит при таможенном досмотре товара оперативно проверять достоверность декларирования топлива.

Ключевые слова: биодизель, таможенный контроль, Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза, хемометрика, ИК спектроскопия, PLS-DA

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2023, vol. 27, no. 4, pp. 292-296

DOI: 10.15826/analitika.2023.27.4.011

Chemometric method in spectrometric analysis of biodiesel for customs purposes

***Pavel N. Berezov, Victoria E. Goleva**

Rostov-on-Don Regional Branch of Central Expert-Criminalistics Customs Administration, 50 Sholokhova Av., Rostov-on-Don, 344019, Russian Federation

**Corresponding author: Pavel N. Berezov, E-mail: berezov_pavel@mail.ru*

Submitted 12 September 2023, received in revised form 07 December 2023

The article is devoted to developing a rapid control method of transported goods declaration authenticity. Currently there is increasing share of biofuels on international market and in export-import operations. Customs control of fuels gives a particular attention to correct verification of the declared code in accordance with the Commodity Nomenclature of Foreign Economic Activity of the Eurasian Economic Union (hereinafter referred to as the CN of the EAEEU). Biodiesel-containing fuels have peculiarities of classification in accordance with the CN of the EAEEU due to specific chemical composition. The standard method of determination of biodiesel fuels' composition, according to GOST 33077-2014, using spectroscopy in the mid-infrared

region has a limited measurements range for the customs purposes, does not allow preliminary verification of authenticity of goods' declaration, and requires delivery of samples to the laboratory. A method for rapid determination of a group of petroleum fuels by combining infrared spectrometry and chemometrics methods was developed. Spectral data of petroleum fuels containing and not containing biodiesel were analyzed, and calibration models were constructed using the method of projection on the latent structures (PLS-DA). The model of discriminatory analysis using the regression on latent structures allowed to separate quite clearly fuels belonging to different classes or goods' types according to the CN of the EAEEU. Attributing a fuel sample spectrum to a separate class indicates that the fuel belongs to a group similar to other samples of this class. The problem of classification in the fuel analysis was solved using the chemometric method. The proposed method will provide rapid verification of authenticity of the fuel declaration during customs inspection of goods.

Keywords: biodiesel, customs control, Commodity nomenclature of Foreign Economic Activity of the Eurasian Economic Union, chemometrics, IR spectroscopy, PLS-DA

ВВЕДЕНИЕ

Производство и потребление биотоплив в последние годы неуклонно растет. Это обусловлено несколькими факторами, среди которых можно отметить экологические последствия от использования углеводородного сырья, рост потребления топлива, значительное истощение запасов нефти, энергетическую зависимость многих стран, переизбыток производства в сельскохозяйственной отрасли. Так, согласно статистическим данным по производству и потреблению биотоплив в США и ЕС [1], доля бензина E10 (содержание бензина 90 %, этанола 10 %) на рынке ЕС в 2021 г. достигла 33.3 %; в США в 2022 г. количество автозаправочных станций, реализующих бензин E85 (содержание бензина 15 %, этанола 85 %) составило 6.9 % от общего количества станций, включая зарядные, биодизель – около 20 %. Поскольку транспорт является основным сектором потребления энергии как в России, так и в мире, перспективным направлением получения топлива на основе возобновляемых биоресурсов является производство так называемого биодизеля.

К биодизелю относят моноалкиловые (в основном метиловые) эфиры длинноцепочечных жирных кислот (далее – FAME), полученные из растительных масел или животных жиров [2 - 4]. Биодизель имеет ряд преимуществ перед нефтяным топливом по экологическим и экономическим показателям. Так, биодизель отличается хорошей воспламеняемостью, использование биодизеля приводит к резкому сокращению выбросов в атмосферу углекислого и угарного газов, практически полному прекращению выбросов оксидов серы; при попадании в аквасреду биодизель не причиняет вреда живым организмам, подвергается биологическому распаду в почве и воде.

Метиловые эфиры жирных кислот применяют не только в качестве альтернативного топлива, но и как добавку к традиционным нефтяным топливам. Выполнение требований современных международных экологических стандартов для дизельного топлива приводит к необходимости добавления компонентов растительного происхождения. Низкотемпературные и триботехнические свойства биодизельного топлива значительно зависят от соотношения компонентов. Так, используют топливные смеси с объемной долей от 6 % FAME в дизельном топливе [2, 5].

Для классификации товаров в целях применения мер таможенно-тарифного регулирования, вывозных таможенных пошлин, запретов и ограничений, мер защиты внутреннего рынка, ведения таможенной статистики используется система описания и кодирования товаров – Единая Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза, международной основой которой являются Гармонизированная система описания и кодирования товаров Всемирной таможенной организации и единая Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Содружества Независимых Государств [6]. Т.е. товары при их таможенном декларировании подлежат классификации в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС. Выбор конкретного кода всегда основан на оценке признаков декларируемого товара, подлежащих описанию, а процесс описания связан с полнотой и достоверностью сведений о товаре (определенного набора сведений, соответствующих либо не соответствующих действительности).

Классификация дизельных топлив, содержащих и не содержащих биодизель, а также альтернативного топлива в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС осуществляют в различных подсубпозициях, экспортная пошлина на товары в которых значительно отличается [7]. Дизельные топлива при экспорте облагаются платежами в размере 4.8 долларов США за 1 тонну, биодизель и его смеси, не содержащие или содержащие менее 70 % нефтепродуктов из битуминозных пород, вывозятся беспошлинно.

Проверку правильности классификации товаров в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС осуществляют таможенные органы. Причем, в настоящее время Федеральная таможенная служба Российской Федерации (далее – ФТС России) внедряет различные технологии для ускорения процессов таможенного оформления и повышения эффективности контроля внешнеэкономической деятельности, в том числе в части проверки достоверности декларирования товаров. Одним из перспективных инструментов контроля оборота товаров на пространстве ЕАЭС представляется внедрение средств идентификации с использованием портативных приборов непосредственно при таможенном досмотре товаров.

По данным таможенной статистики внешней торговли Российской Федерации в 2022 г. основой российского экспорта традиционно являлись топлив-

но-энергетические товары, удельный вес которых в товарной структуре экспорта составил 63.5 % [8].

Таким образом, с учетом наличия рисков ситуации при экспорте нефтепродуктов, содержащих биодизель, с целью сокращения сроков совершения таможенных операций и их упрощения требуется экспресс-методика идентификации товаров определенного класса в соответствии с химическим составом. Распространенными методами определения состава дизельных топлив являются тонкослойная хроматография, ИК-Фурье спектроскопия, газовая хроматография с масс-детектированием и высокоэффективная жидкостная хроматография [9]. Стандартный метод определения содержания метиловых эфиров жирных кислот в смеси базового биодизельного топлива с нефтяным дизельным топливом [10] в таможенных целях ограниченно применим вследствие узкого диапазона определяемых содержаний и необходимости лабораторного исследования проб. В научной литературе много работ посвящено использованию методов многомерного анализа к данным оптических методов, в том числе ИК спектроскопического эксперимента

[11 - 13]. Поэтому представляется перспективным для исследования биодизеля использовать сочетание методов ИК спектроскопии и хемометрики.

Целью настоящей работы является разработка методики спектрометрического анализа топлива с применением хемометрических моделей расчета для последующей реализации ее на портативных спектрометрах, применяющихся для целей таможенного контроля.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты исследований с учетом поставленных задач были разделены на три группы:

- нефтепродукты, в которых содержание биодизеля 0 % (субпозиции 271012-271019 ТН ВЭД ЕАЭС);
- нефтепродукты, в которых содержание биодизеля более 0 % и менее 30 % (субпозиция 271020 ТН ВЭД ЕАЭС);
- топливо, в котором содержание биодизеля более 30 % (субпозиция 382600 ТН ВЭД ЕАЭС).

Поскольку стандартные образцы топлив, содержащих биодизель, отсутствуют, для экспериментов

Таблица 1

Состав калибровочных и тестовых образцов для обучающего и проверочного наборов

Table 1

Composition of calibration and test samples for training and verification sets

№ образца	Объемная доля FAME, %	Топливо	Обучающий набор	Проверочный набор
	0.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 1)	+	-
	0.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	0.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	+	-
	0.0	ДТ-3-К5 (изготовитель 1)	-	+
	0.0	ДТ-3-К5 (изготовитель 2)	-	+
	0.0	ДТ-3-К5 (изготовитель 3)	-	+
	0.0	Судовое топливо, DMX (изготовитель 1)	-	+
	0.0	Судовое топливо, DMX (изготовитель 2)	+	-
	0.0	Судовое топливо, DMX (изготовитель 3)	-	+
	0.0	Судовое топливо, DMA	+	-
	5.2	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	4.9	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	10.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	10.2	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	14.6	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	15.1	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)		
	20.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	20.1	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	29.2	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	28.9	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	30.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	30.1	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	50.2	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	49.9	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	70.2	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	70.0	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	90.5	ДТ-Л-К5 (изготовитель 2)	+	-
	90.1	ДТ-Л-К5 (изготовитель 3)	-	+
	100.0	-	+	-
	100.0	-	-	+

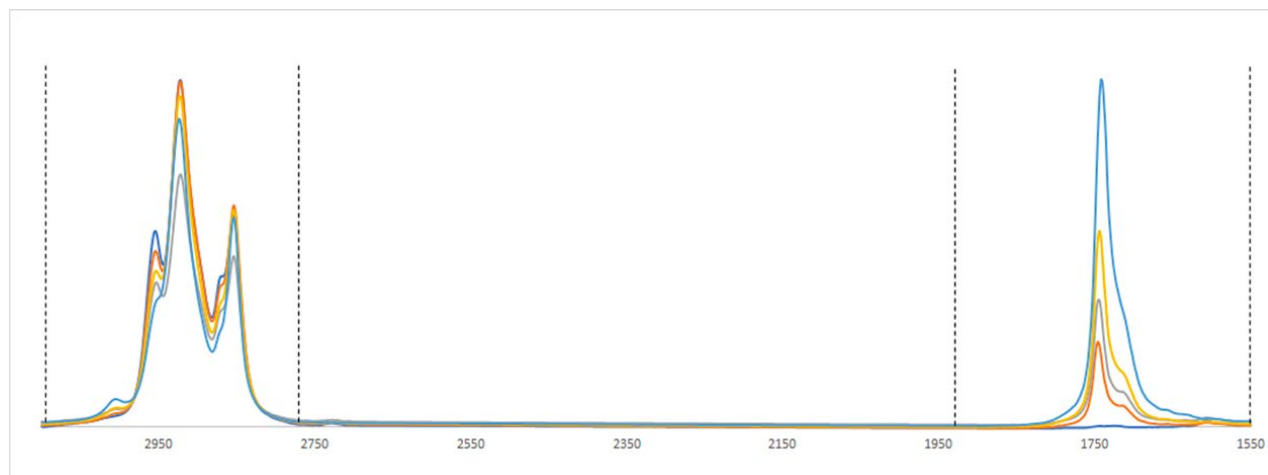


Рис. 1. ИК-спектры модельных смесей с содержанием FAME 0 (синий), 20 (оранжевый), 30 (серый), 50 (желтый) и 100 % (голубой). Использовано 377 точек (столбцов матрицы данных PLS-DA)

Fig. 1. IR-spectra of model mixtures with FAME content of 0 (dark blue), 20 (orange), 30 (grey), 50 (yellow) and 100 % (blue). 377 points (columns of the PLS-DA data matrix) were used

готовили смеси FAME с коммерческими образцами дизельных и судовых маловязких топлив с содержанием компонентов, соответствующим каждой группе товаров (не менее 10 модельных смесей для каждой группы). Точное содержание метиловых эфиров в смесях определяли в соответствии с модифицированным стандартным методом [10], сущность которого заключается в построении калибровочных зависимостей оптической плотности в области спектра от 1800 до 1692 cm^{-1} и от 1327 до 940 cm^{-1} от концентрации FAME для трёх диапазонов концентрации (от 0 до 10 %, от 10 до 30% и от 30 до 100 %) и последующем измерении оптической плотности в смесях указанных диапазонов и расчете объемной доли FAME по калибровочной зависимости. Составы калибровочных и тестовых образцов, использовавшихся в работе, представлены в табл. 1. В качестве топлив, не содержащих биодизель, использовали нативные образцы нефтяных дизельных и судовых топлив.

Аппаратура и методика измерений.

Исследование модельных смесей проводили с применением инфракрасного Фурье-спектрометра Nicolet 6700 («Thermo Fisher Scientific», США) в диапазоне 4000-600 cm^{-1} (условия регистрации спектра – 16 сканирований, разрешение 4.0 cm^{-1}), с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения на германиевом кристалле и кюветы жидкостной разборной с комплектом прокладок 0.1–1 мм (фиксированная толщина поглощающего слоя) с окнами из бромида калия.

Для проведения расчетов было выбрано два диапазона ИК-спектра: 3100-2700 cm^{-1} и 1900-1550 cm^{-1} как наиболее специфичные для нефтяных топлив и биодизеля (рис. 1). Отличие ИК-спектров топлив, содержащих биодизель, от ИК-спектров традиционных топлив заключается в наличии полосы поглощения в области 1700-1740 cm^{-1} , характерной для сложноэфирной связи. Причем установлено, что

функциональные присадки и продукты окисления топлив не оказывают влияния на результаты анализа.

В указанных условиях зарегистрировали ИК-спектры для модельных смесей известного состава. Использовали 10 образцов на каждую группу топлив, т.е. фактически три группы образцов – без содержания FAME (0 %), с содержанием FAME 5-29 %, с содержанием FAME 30-100 %. Для каждой из 30 смесей с различным содержанием FAME проводили 5 параллельных измерений. После регистрации ИК-спектров с использованием программного обеспечения к спектрометру спектры пропускания преобразовывали в спектры поглощения, а также проводили предварительную подготовку данных путем стандартизации спектров. Для устранения «эффекта рассеяния» проводили коррекцию с использованием алгоритма множественной коррекции рассеяния, для нивелирования фонового поглощения в спектрах проводили кусочно-линейную коррекцию базовой линии [14].

Расчет и валидацию калибровочной модели осуществляли с использованием надстройки Chemometrics2 [14] в программном продукте Microsoft® Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для идентификации топлив использован метод ИК спектроскопии в сочетании с хемометрическим методом обработки экспериментальных данных – методом проекции на латентные структуры (PLS), в частности методом PLS дискриминации (PLS-Discriminant Analysis, PLS-DA), с помощью которого осуществлена многомерная градуировка экспериментальных данных. Данный метод разделен на две группы: нестрогую (Soft) и строгую (Hard) классификацию. В случае Hard-классификации каждый образец помещается в один из исследуемых классов и принадлежит только одному классу. В

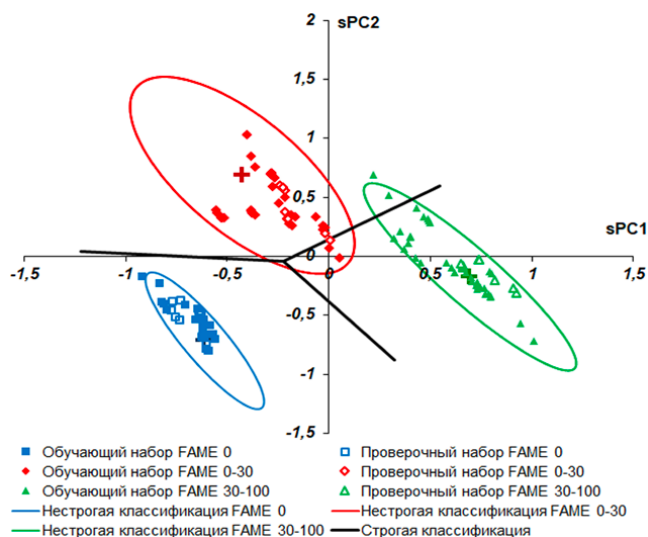


Рис. 2. Результаты построения модели дискриминационного анализа с помощью регрессии на латентные структуры (строгая (Hard) и нестрогая (Soft) классификация)

Fig. 2. The results of constructing a model of discriminatory analysis using regression on latent structures (strict (Hard) and non-strict (Soft) classification)

случае Soft-классификации, каждый образец может одновременно принадлежать нескольким классам, или не принадлежать ни одному из классов [15].

Полученные спектральные данные разделены на два набора – обучающий (для построения градуировки), и проверочный (тестовый), по результатам анализа которого судят о применимости метода для распознавания группы топлива. Результаты построения модели дискриминационного анализа с помощью регрессии на латентные структуры в строгой (Hard) и нестрогой (Soft) классификации представлены на рис. 2. Результаты для топлив, не содержащих биодизель, а также топлив с со-

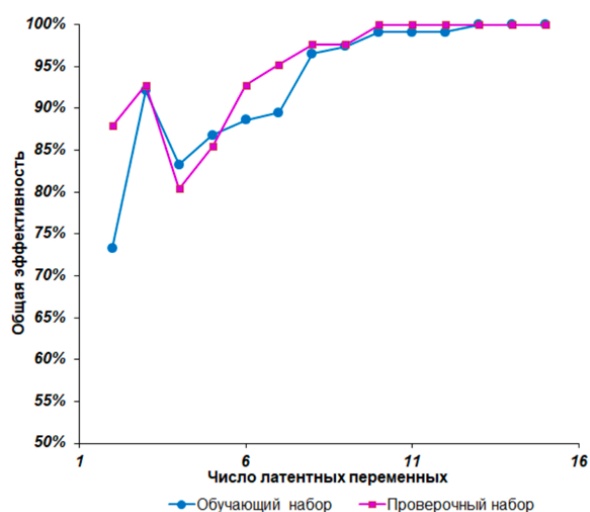


Рис. 3. Зависимость общей эффективности от числа латентных переменных при строгой классификации

Fig. 3. The dependence of the total efficiency on the number of latent variables under a strict classification

Таблица 2
Оценка результатов: общие чувствительность, специфичность и эффективность обучающего и проверочного наборов

Table 2
Evaluation of the results: general sensitivity, specificity and effectiveness of the training and verification sets

Набор	Обучающий		Проверочный	
	Строгая	Нестрогая	Строгая	Нестрогая
Классификация				
Общая чувствительность (TSNS), %	95	98	96	100
Общая специфичность (TSPC), %	98	100	99	100
Общая эффективность (TEFF), %	97	99	98	100

держанием метиловых эфиров жирных кислот до 30 % и свыше 30 %, группируются в разделённые границами классы. При этом ИК-спектры топлив, не содержащих биодизель, на модели представлены в виде отдельной группы.

Для проверки адекватности хемометрической модели использован метод валидации с помощью тестовых образцов, в качестве которых использовали смеси топлив с метиловыми эфирами жирных кислот в различных соотношениях, приготовленные независимо от калибровочного набора. Для полученной модели рассчитаны значения общей

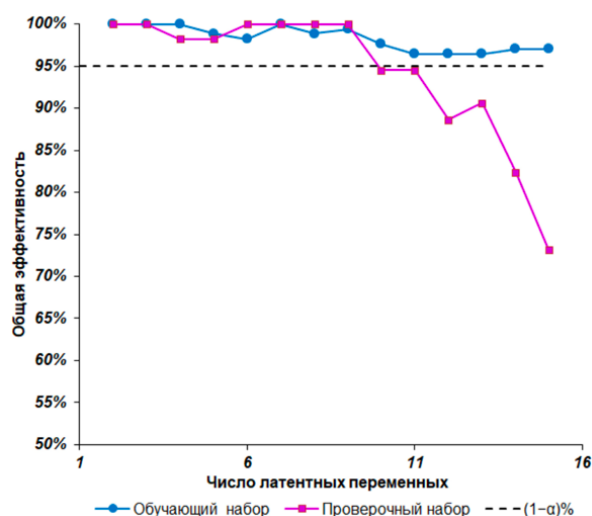


Рис. 4. Зависимость общей эффективности от числа латентных переменных при нестрогой классификации

Fig. 4. The dependence of the total efficiency on the number of latent variables under a non-strict classification

Таблица 3

Результаты анализа коммерческих образцов топлив

Table 3

Results of analysis of commercial fuel samples

Заявленные сведения о товаре	Заявленный код ТН ВЭД ЕАЭС	Концентрация FAME, установленная стандартным методом, %	Выявленное наименование товара – группа топлив	Правильность классификации в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС
Дизельное топливо летнее ДТ-Л-К5	2710 19 421 0	0.0	Нефтепродукты, в которых содержание биодизеля 0 %	Подтверждена
Дизельное топливо зимнее ДТ-З-К5	2710 19 422 0	0.0	Нефтепродукты, в которых содержание биодизеля 0 %	Подтверждена
Судовое топливо – газойль с содержанием серы менее 0,05 %	2710 20 110 0	10.2	Нефтепродукты, в которых содержание биодизеля более 0 % и менее 30 %	Подтверждена
Биодизель В20	2710 20 110 0	0.0	Нефтепродукты, в которых содержание биодизеля 0%	Не подтверждена (субпозиция 2710 19)
Биодизель	3826 00 900 0	98.5	Топливо, в котором содержание биодизеля более 30 %	Подтверждена

чувствительности, общей специфичности и общей эффективности в соответствии с [14]. Полученные результаты матриц ошибок обучающего и проверочного классов, представленные в табл. 2, показывают, что во всех случаях полученная модель имеет общую чувствительность, общую специфичность и общую эффективность более 95 % как в строгой, так и в нестрогой классификации, что подтверждает правильность выбора метода и модели расчета.

Для определения числа смесей с различным содержанием биодизеля, которое позволяет анализировать реальные объекты с погрешностью, не превышающей заданное значение, проведена оценка зависимости общей эффективности от числа латентных переменных при строгой и нестрогой классификации. Как видно из представленных данных (рис. 3, 4), в предложенной модели оптимальным числом латентных переменных является число восемь.

Апробацию разработанной методики проводили на коммерческих образцах дизельного и судового топлив. Результаты анализа представлены в табл. 3. Установлено, что при среднем времени исследования каждого образца около 3 мин возможно однозначно определить правильность классификации товара в соответствии с ТН ВЭД ЕАЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье приведены результаты исследования образцов нефтяных топлив, содержащих и не содержащих биодизель, методом ИК спектроскопии

с обработкой полученных данных хемометрическим методом, совместное использование которых, как показано в работе, позволяет эффективно идентифицировать топлива в таможенных целях.

Предлагаемая модель расчета позволяет проводить анализ нефтяных топлив, биодизеля, а также их смесей в различном соотношении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь в подготовке настоящей работы доктору физико-математических наук, главному научному сотруднику Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии наук Алексею Леонидовичу Померанцеву и доктору физико-математических наук, главному научному сотруднику Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии наук Оксане Евгеньевне Родионовой.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their sincere gratitude to Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Principal Researcher of the Institute of Chemical Physics named after N.N. Semenov of the Russian Academy of Sciences Aleksey L. Pomerantsev and Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Principal Researcher of the Institute of Chemical Physics named after N.N. Semenov of the Russian Academy of Sciences Oksana E. Rodionova for the help in preparing this work.

ЛИТЕРАТУРА

1. Специальный бюллетень МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА, 2023, № 2 [Электронный ресурс]: <https://www.ntwc.ru/post/fuels-digest-2-2023> (дата обращения: 12.06.2023).
2. Аблаев А.Р. и др. Производство и применение биодизеля: справочное пособие. М.: АПК и ППРО, 2006. 80 с.
3. Виноградова А.В., Козлова Г.А., Аникина Л.В. Биотехнология топлива: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 212 с.
4. Василев Р.Г. Биотопливо: биодизель, биоэтанол, биогаз. // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2007. Т. 3, № 1.
5. ГОСТ 33131-2014 «Смеси биодизельного топлива (B6-B20). Технические требования».
6. «Таможенный кодекс Евразийского экономического союза» (приложение N 1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 05.06.2023).
7. Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 16.07.2012 № 54 «Об утверждении единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и Единого таможенного тарифа Евразийского экономического союза» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 05.06.2023).
8. [Электронный ресурс]: <https://customs.gov.ru/statistic/> сайт Федеральной таможенной службы Российской Федерации (дата обращения: 05.06.2023).
9. Иванова Ю.А. и др. Определение полимерных функциональных присадок в дизельном топливе методом гель-проникающей хроматографии // Аналитика и контроль. 2021. Т. 25, № 1. С. 53-62.
10. ГОСТ 33077-2014 Топливо биодизельное. Определение содержания метиловых эфиров жирных кислот (FAME) спектроскопией в средней инфракрасной области (метод FTIR-ATR-PLS).
11. Родионова О.Е., Померанцев А.Л. Хемометрика в аналитической химии. М.: Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, 2004. 60 с.
12. Цикин А.М. и др. Хемометрический и ИК спектроскопический анализ клейких лент // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 3. С. 339-344.
13. Колесникова С.С. Хемометрические методы в спектроскопическом анализе некоторых объектов, содержащих металлы: автореферат дис. ... канд. хим. наук: 02.01.04. Саратов, 2012. 23 с.
14. Померанцев А.Л. Хемометрика в Excel: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 435 с.
15. Pomerantsev A.L., Rodionova O.Ye. Multiclass partial least squares discriminant analysis: Taking the right way - A critical tutorial. *J. Chemometrics*. 2018. V. 32, № 8. Article 3030.

REFERENCES

1. Spetsial'nyi bulleten' MOTORNYE TOPLIVA [Special bulletin MOTOR FUELS]. 2023, no. 2. Available at: <https://www.ntwc.ru/post/fuels-digest-2-2023> (Accessed 12 June 2023).
2. Ablaev A.R. *Proizvodstvo i primeneniye biodizeliya: spravochnoe posobie* [Production and application of biodiesel: a reference manual]. Moscow, Academy of Advanced Training and Professional Retraining of Education Workers, 2006. 80 p. (In Russian).
3. Vinogradova A.V., Kozlova G.A., Anikina L.V. *Biotehnologiya topliva: ucheb. posobie* [Fuel biotechnology: textbook. stipend.].

- Perm': Izdatel'stvo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2008. 212 p. (In Russian).
4. Vasilov R.G. *Bioplivo: biodizel', bioetanol, biogaz* [Biofuels: biodiesel, bioethanol, biogas]. Vestnik biotekhnologii i fiziko-khimicheskoi biologii im. Iu.A. Ovchinnikova [Society of Biotechnologists of Russia named after Yu.A. Ovchinnikov], 2007, vol.3, no.1. (In Russian).
5. GOST 33131-2014. *Smesi biodizel'nogo topliva (B6-B20). Tekhnicheskie trebovaniia* [State Standard. 33131-2014. Mixtures of biodiesel (B6-B20). Technical requirements]. (In Russian).
6. Tamozhenni kodeks Evraziiskogo ekonomicheskogo soiuz (prilozhenie N 1 k Dogovoru o Tamozhennom kodekse Evraziiskogo ekonomicheskogo soiuz) [Customs Code of the Eurasian Economic Union (Appendix No. 1 to the Agreement on the Customs Code of the Eurasian Economic Union)] *Official Internet portal of legal information*. Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (Accessed: 5 June 2023). (In Russian).
7. Reshenie Soveta Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii ot 16.07.2012 № 54 Ob utverzhdenii edinoi Tovarnoi nomenklatury vneshneekonomicheskoi deiatel'nosti Evraziiskogo ekonomicheskogo soiuz i Edinogo tamozhennogo tarifa Evraziiskogo ekonomicheskogo soiuz» [Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission No. 54 dated 16.07.2012 On approval of the Unified Commodity Nomenclature of Foreign Economic Activity of the Eurasian Economic Union and the Unified Customs Tariff of the Eurasian Economic Union]. *Official Internet portal of Legal Information*. Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (Accessed: 5 June 2023). (In Russian).
8. [Electronic resource]: <https://customs.gov.ru/statistic/> website of the Federal Customs Service of the Russian Federation (Accessed: 5 June 2023). (In Russian).
9. Ivanova Iu.A., Temerdashev Z. A., Kolychev, I. A., Kiseleva N. V. [Determination of polymer functional additives in diesel fuel by gel-penetrating chromatography]. *Analitika i kontrol' [Analytics and control]*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 53-62. (In Russian). doi: 10.15826/analitika.2020.25.1.003.
10. GOST 33077-2014. *Toplivo biodizel'noe. Opredelenie soderzhanii metilovykh efirov zhirnykh kislot (FAME) spektroskopiei v srednei infrakrasnoi oblasti (metod FTIR-ATR-PLS)* [State Standard 33077-2014. Biodiesel fuel. Determination of the content of fatty acid methyl esters (FAME) by spectroscopy in the mid-infrared region (FTIR-ATR-PLS method)]. (In Russian).
11. Rodionova O.E., Pomerantsev A.L. *Khemometrika v analiticheskoi khimii* [Chemometrics in Analytical Chemistry]. Moscow, Institute of Chemical Physics named after N.N. Semenov of the Russian Academy of Sciences, 2004. 60 p. (In Russian).
12. Tsikin A.M., Monakhova Y.B., Kurchatkin S.P., Mushtakova S.P. *Khemometricheskii i IK spektroskopicheskii analiz kleikikh lent* [Chemometric and IR spectroscopic analysis of adhesive tapes]. *Analitika i kontrol' [Analytics and control]*, 2013, vol. 17, no. 3, pp. 339-344. (In Russian).
13. Kolesnikova S.S. *Khemometricheskie metody v spektroskopicheskom analize nekotorykh ob"ektov, soderzhashchikh metally: avtoreferat dis.* [Chemometric methods in spectroscopic analysis of some objects containing metals. Cand. Chem. Sc. abstract of the dis. Saratov, 2012. 23 p. (In Russian).
14. Pomerantsev A.L. *Khemometrika v Excel*. [Chemometrics in Excel], Tomsk, Tomsk, Publishing house TPU, 2014, 435 p. (In Russian).
15. Pomerantsev A.L., Rodionova O.Ye. Multiclass partial least squares discriminant analysis: Taking the right way - A critical tutorial. *J. Chemometrics*, 2018, vol. 32, no.8, article 3030. doi:10.1002/CEM.3076.