
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

НЕЙРОСЕТЕВОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Ф.В. Отгон;

Ф.А. Дементьев, кандидат технических наук, доцент;

А.В. Иванов, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены результаты исследований идентификации светлых нефтепродуктов методом комбинационного рассеяния через различные промежутки времени в целях пожарно-технической экспертизы. Для оценки результатов применялся метод моделирования с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: светлые нефтепродукты, спектроскопия комбинационного рассеяния, нейронные сети, пожарно-техническая экспертиза

NEURAL NETWORK SOLUTION OF INVERSE PROBLEM OF IDENTIFICATION OF LIGHT PETROLEUM PRODUCTS BY RAMAN SPECTROSCOPY FOR FIRE INVESTIGATION

F.V. Otgon; F.A. Dementiev; A.V. Ivanov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Present results of research of the identification of light petroleum products by the Raman scattering method at different intervals for the purposes of fire investigation. A simulation method was used to evaluate results with the help of neural networks.

Keywords: light petroleum products, Raman spectrometry, neural network architecture, fire investigation

С появлением лазеров, более доступных и чувствительных CCD-матриц, голографических фильтров и применение Фурье-преобразования в приборах положили начало возрождению Рамановской спектроскопии как основного средства бесконтактного неразрушающего анализа веществ. Спектры комбинационного рассеяния чувствительны к природе химических связей – как в органических молекулах и полимерных материалах, так и в неорганических кристаллических решетках и кластерах.

Поскольку Рамановская спектроскопия обеспечивает проведение бесконтактных и удаленных измерений и при этом полностью совместима с анализом светлых

нефтепродуктов, данный метод оптимален для идентификации светлых нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы [1].

Принципиальная необходимость наличия классификации (рис. 1) любых объектов экспертных исследований определяется многоуровневостью решаемых экспертных задач. При экспертном исследовании легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) решаются диагностические и идентификационные задачи. Диагностические задачи подразумевают обнаружение на месте пожара следов ЛВЖ и горючих жидкостей (ГЖ) и установление их групповой принадлежности вплоть до типа и марки найденной ЛВЖ. Идентификационные задачи включают подробный анализ химического состава обнаруженных ЛВЖ, ГЖ и сравнение его с конкретными аналогами для установления их общности.

Инфракрасная спектроскопия является одним из наиболее мощных аналитических методов и повседневно используется в фундаментальных и прикладных исследованиях, а также для контроля производственных процессов. Наиболее широко применяется в настоящее время методика спектрального анализа в инфракрасной (ИК) области – Фурье-ИК.

Особенностью лабораторного инструментального изучения образцов по поводу наличия следов ГЖ является то, что этот вид анализа требует пробоподготовки, то есть перевод образца в аналитически приемлемую форму. Поэтому недостатком метода ИК-спектроскопии является сложность пробоподготовки и приведение образца в аналитическую форму [2].

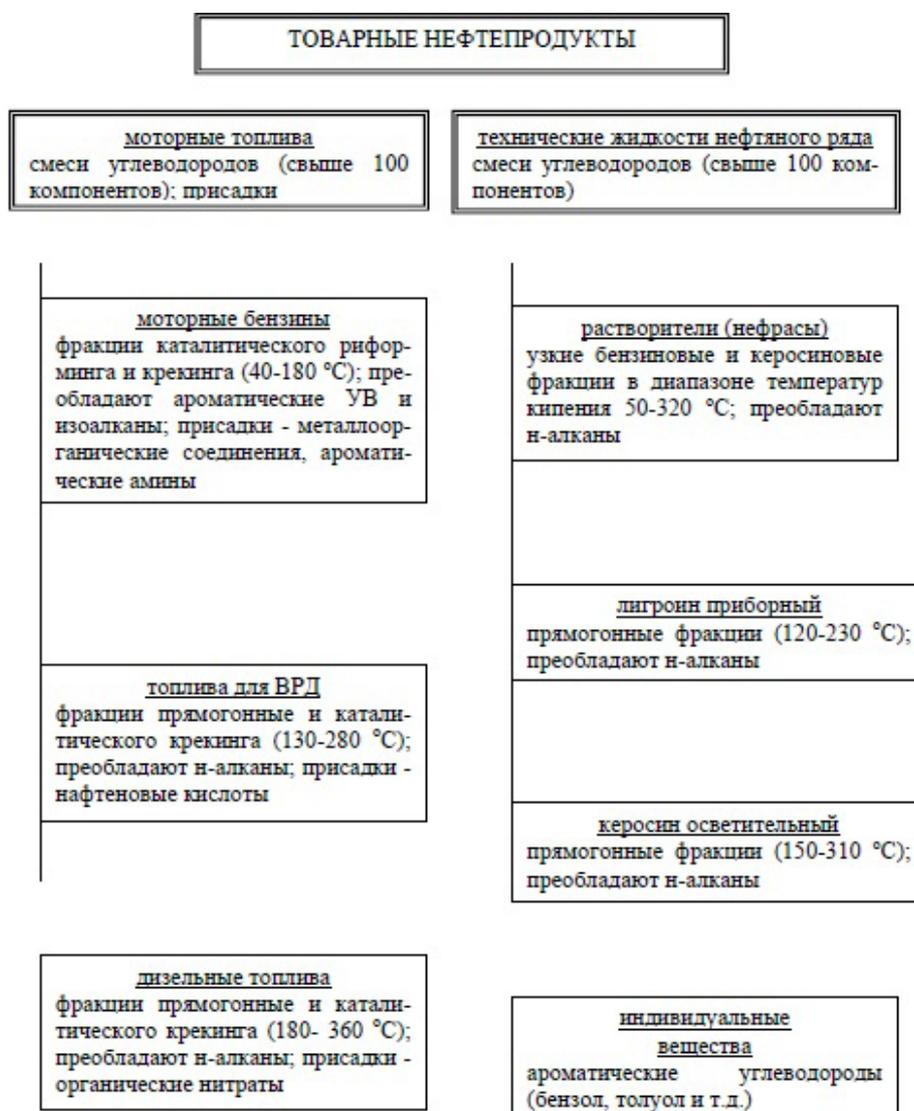


Рис. 1. Классификация ЛВЖ, ГЖ не нефтяного ряда и особенности их химического состава, используемые для решения диагностических задач

Стоит отметить, что при исследовании многокомпонентных систем, как правило, определяется состав двух или трехкомпонентных смесей при содержании одного компонента не менее 5–10 %, в остальных случаях требуется дополнительное разделение компонентов или их концентрирование.

ИК-спектроскопия имеет и ряд преимуществ: спектры поглощения характеризуются большой индивидуальностью и отображают скелетные колебания и колебания характеристических групп в молекуле, что и определяет ценность метода при изучении структурно-группового состава вещества или материала [3, 4].

Определение марки бензина методом газожидкостной хроматографии требует наличие капиллярной колонки длиной 100 м с жидкой фазой из диметилполисилоксана. Многие газовые хроматографы имеют колонку длиной только в 30 м с фазой из сополимера полисилоксана, состоящей из блоков дифенилполисилоксана (50 %) и диметилполисилоксана (50 %).

Создается проблема невозможности определения некоторых компонентов после выгорания нефтепродуктов. Возможность определения марки бензина в условиях лаборатории может сводиться к выявлению характерных пиков, по соотношению площадей которых будет оцениваться марка бензина.

Для этого необходимо получить сходимые хроматограммы нативных (исходных) бензинов разных марок и выявить минимальный набор пиков. Например, как показано на рис. 2: отношения пика толуола меняется от одной марки бензина к другой.

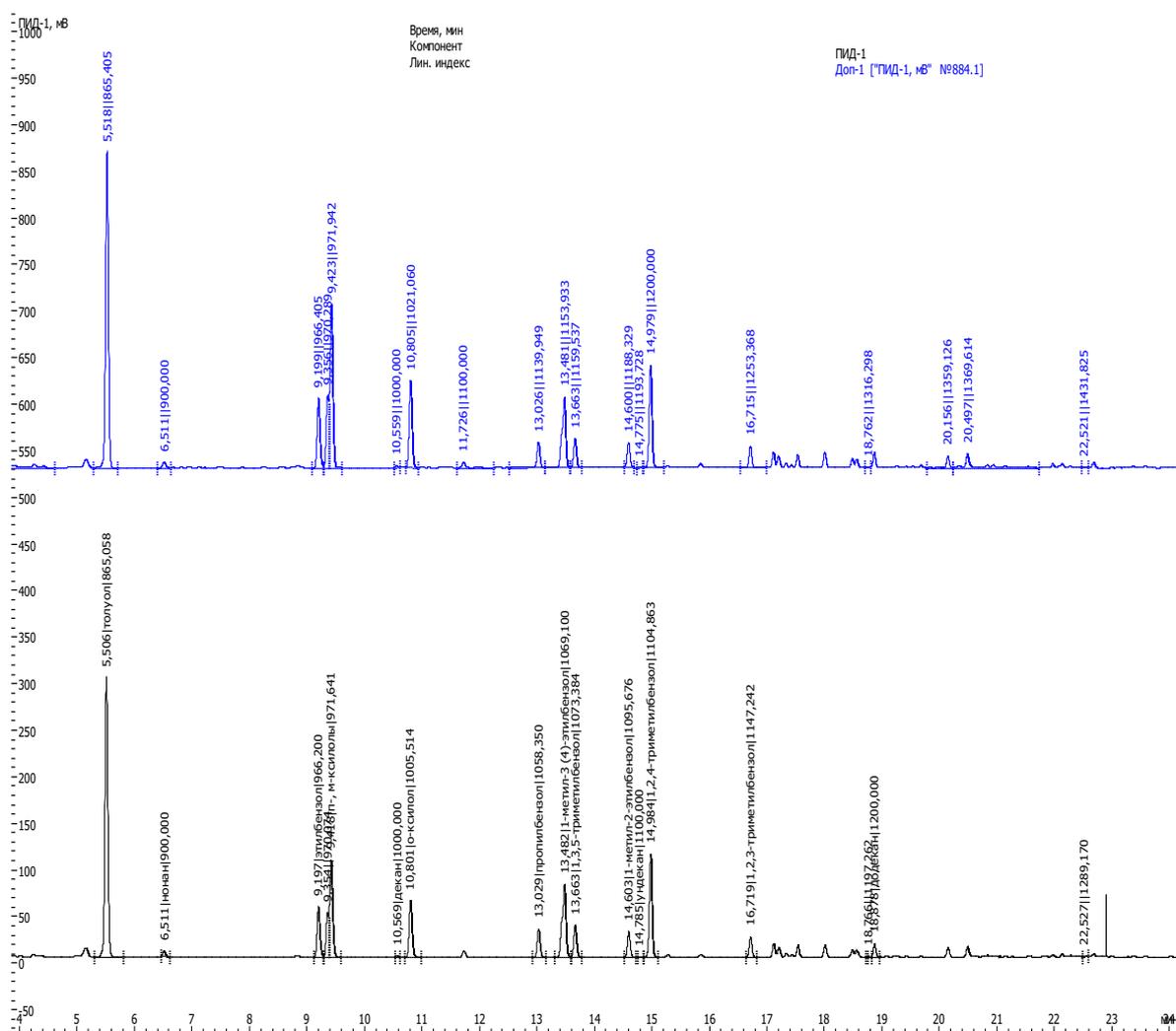


Рис. 2. Хроматограммы бензинов марок АИ-92 «Лукойл» (синим цветом) и марки АИ-95 «премиум» (черным цветом)

Таким образом, определение марки бензина методом газожидкостной хроматографии представляет собой сложную задачу, которая включает ряд сложных аналитических операций. Стоит отметить универсальность метода газовой хроматографии: разделение и анализ самых различных смесей [5, 6]. По своим возможностям анализа многокомпонентных смесей газовая хроматография не имеет конкурентов. Высокая чувствительность метода и высокая точность анализа позволяет определять малые концентрации. Но стоит отметить и существенные ограничения метода газовой хроматографии: это невозможность разделения и анализа смесей нелетучих соединений, осложнения при разделении и анализе термически нестабильных соединений [7].

Целью исследования являлось определение возможности идентификации автомобильных бензинов методом спектроскопии комбинационного рассеяния спустя определенные промежутки времени.

При постановке эксперимента в качестве исследуемых объектов использовались автомобильные бензины АИ-92, АИ-95, АИ-98, которые наносились на стекло и выдерживались 2, 4, 5 и 14 дней.

Учитывая возможные проблемы идентификации, при постановке эксперимента применялась спектроскопия комбинационного рассеяния. При применении метода спектроскопии комбинационного рассеяния важным преимуществом, по сравнению с остальными методами идентификации, является практически полное отсутствие процесса пробоподготовки [8].

Объектами исследования стали марки автомобильных бензинов АИ-92 «Лукойл», АИ-95 «Газпромнефть», АИ-98 «Газпромнефть», дизельное топливо и нефтяные растворители, произведенные на разных нефтеперерабатывающих заводах. Образцы наносились на предметное стекло в объеме 100 мкл и выдерживались при нормальных условиях различное количество времени, после чего проводился анализ исследуемых образцов. Исследования проводились на установке N-TegraSpectra при использовании лазера с длиной волны 532 нм [3].

Далее представлены результаты исследования автомобильных бензинов, выдержанных 2, 4, 5 и 14 дней (рис. 3–6).

На основании полученных данных возможно проведение аналитической оценки КР-спектров, при этом предполагается использование метода нейронных сетей, что позволит с достаточной точностью определять вид нефтепродукта и время, в течение которого он находился в среде.

Из рис. 3–6 видно, что пики бензинов АИ-92 «Лукойл» АИ-95 «Газпромнефть», АИ-98 «Газпромнефть», спустя различные промежутки времени имеют разное значение интенсивности, при этом их функциональные группы полностью идентичны, что свидетельствует о возможности идентификации нефтепродуктов методом КР-спектроскопии спустя длительные промежутки времени с момента поджога [9].

Далее методом экспертной оценки выбирались пики из всего спектра, которые могли быть значимыми для дальнейшей экспертизы. Всего было выбрано 26 пиков (X1-X26) от 531 до 5 727 см⁻¹, которые в дальнейшем будут являться входными параметрами для нейронной сети.

Входные параметры были выбраны для бензинов, выдержанных 2, 4, 5 и 14 дней (У). Исследования сетей проводились в программе Statistica – программный пакет для статистического анализа, разработанный компанией StatSoft, реализующий функции анализа данных, управления данными, добычи данных, визуализации данных с привлечением статистических методов [10]. Далее приведена таблица входных параметров (табл. 1).

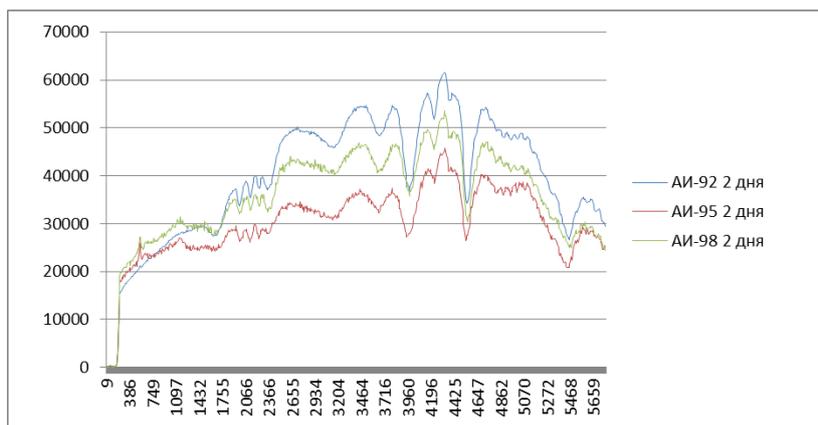


Рис. 3. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных два дня

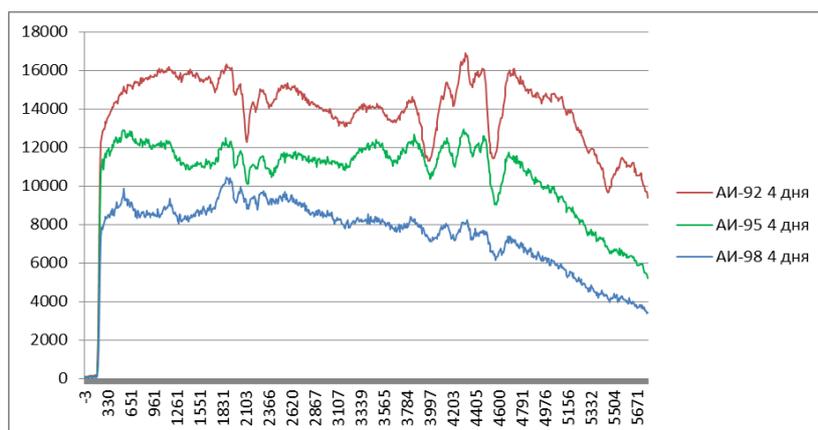


Рис. 4. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных четыре дня

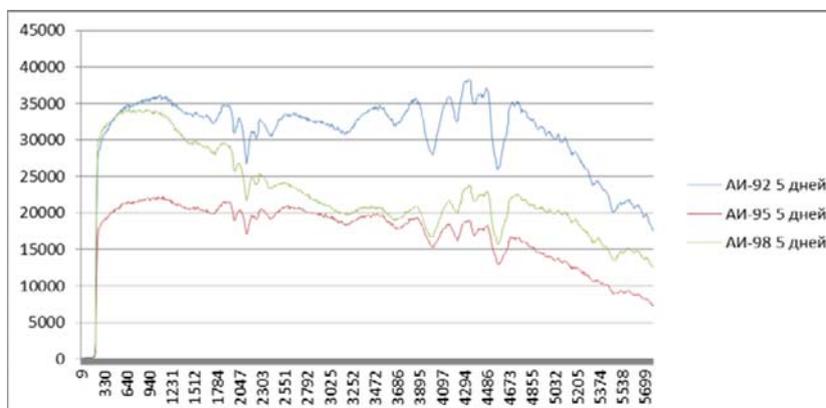


Рис. 5. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных пять дней

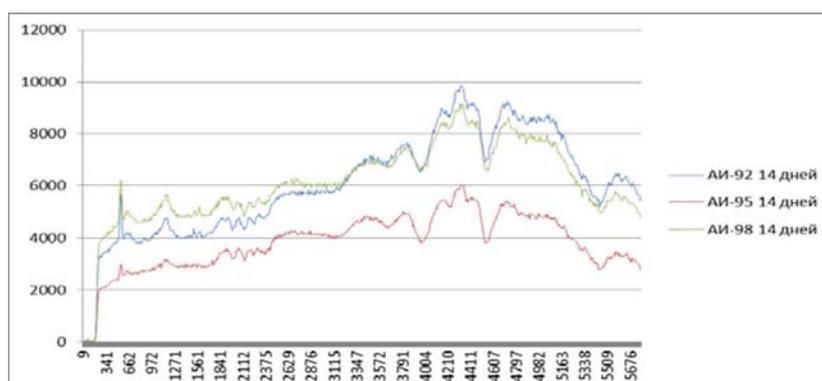


Рис. 6. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных 14 дней

Таблица 1. Входные параметры

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Y	Марка бензина
21092	38718	39943	39921	54695	57332	37237	47871	53877	54292	2	АИ-92
3735	4114	4249	4162	5357	5931	3983	5278	5753	5729	2	АИ-95
4196	5373	5567	5428	7122	7360	5326	6336	7100	7237	2	АИ-98
14780	14765	14360	14922	14093	15719	12314	13288	15810	15751	4	АИ-92
6412	5799	5556	5740	6080	5976	5348	4792	5787	5779	4	АИ-95
3118	3198	3118	3212	2605	2484	2360	2219	2465	2392	4	АИ-98
33868	31792	31206	32753	34631	35805	30407	29264	34823	34952	5	АИ-92
20678	20031	19499	20212	18962	17390	15601	14084	16762	16549	5	АИ-95
33566	25582	25058	25383	20300	22029	18987	18185	22083	22498	5	АИ-98
5020	4774	4771	4792	7506	9142	7217	8199	9121	9093	14	АИ-92
2806	3564	3494	3625	4887	5527	4119	4705	5290	5356	14	АИ-95
5740	5316	5336	5499	7241	8485	6953	7466	8282	8467	14	АИ-98

В результате получилось несколько нейронных сетей. Структура нейронных сетей приведена на рис. 7.

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
18	MLP 60-4-1	0,986863	0,391171	0,916380	0,270666	11,77971	3,03878	BFGS 23	SOS	Exponential	Tanh
8	MLP 60-4-1	0,961013	0,489469	0,683025	0,803652	10,96770	5,87606	BFGS 20	SOS	Exponential	Tanh
7	MLP 60-6-1	0,954910	0,744988	0,926213	0,926836	9,21083	3,10216	BFGS 27	SOS	Tanh	Tanh
14	MLP 60-13-1	0,950421	0,620836	0,870836	0,997131	9,97284	3,15005	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
15	MLP 60-18-1	0,945305	0,672268	0,677148	1,104093	10,73676	4,88650	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
11	MLP 60-13-1	0,944008	0,437319	0,742043	1,127247	11,49290	4,43749	BFGS 19	SOS	Tanh	Tanh
16	MLP 60-25-1	0,943914	0,597948	0,762989	1,130300	10,88740	3,77765	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
19	MLP 60-11-1	0,946108	0,412927	0,761015	1,133703	11,46122	4,46013	BFGS 20	SOS	Tanh	Tanh
6	MLP 60-12-1	0,943287	0,589960	0,696718	1,141605	10,54931	4,85228	BFGS 23	SOS	Tanh	Tanh
9	MLP 60-6-1	0,940136	0,701621	0,714125	1,195434	12,13949	5,95357	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
13	MLP 60-21-1	0,938264	0,719352	0,684372	1,228656	12,88786	5,87928	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
17	MLP 60-11-1	0,936482	0,446142	0,704251	1,282953	11,71209	5,73338	BFGS 14	SOS	Exponential	Tanh
5	MLP 60-8-1	0,932863	0,705157	0,794997	1,337061	16,27417	7,99875	BFGS 0	SOS	Tanh	Logistic
20	MLP 60-30-1	0,932220	0,401101	0,705784	1,346384	11,79895	4,97013	BFGS 26	SOS	Logistic	Logistic
4	MLP 60-4-1	0,926498	0,310139	0,699649	1,465542	12,87002	5,25289	BFGS 17	SOS	Tanh	Logistic
12	MLP 60-9-1	0,923952	0,750522	0,721361	1,593781	16,31491	8,18588	BFGS 0	SOS	Tanh	Logistic
2	MLP 60-5-1	0,920683	-0,246944	0,935712	1,700765	18,99410	1,50705	BFGS 0	SOS	Exponential	Logistic
10	MLP 60-26-1	0,913905	0,372427	0,682144	1,870395	11,60951	4,62453	BFGS 17	SOS	Exponential	Logistic
3	MLP 60-22-1	0,912922	0,649555	0,712410	1,960777	15,12348	10,40275	BFGS 0	SOS	Exponential	Logistic
1	MLP 60-24-1	0,905613	0,293349	0,702995	2,211907	13,08283	4,31549	BFGS 19	SOS	Exponential	Logistic

Рис. 7. Структуры полученных нейронных сетей в statistica

Нейронные сети с индексами 18, 8, 7 и 14 имеют наилучшие показатели тестовой ошибки (табл. 2).

Таблица 2. Нейронные сети с наименьшими показателями тестовой ошибки

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
18	MLP 60-4-1	0,986863	0,391171	0,916380	0,270666	11,77971	3,03878	BFGS 23	SOS	Exponential	Tanh
8	MLP 60-4-1	0,961013	0,489469	0,683025	0,803652	10,96770	5,87606	BFGS 20	SOS	Exponential	Tanh
7	MLP 60-6-1	0,954910	0,744988	0,926213	0,926836	9,21083	3,10216	BFGS 27	SOS	Tanh	Tanh
14	MLP 60-13-1	0,950421	0,620836	0,870836	0,997131	9,97284	3,15005	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic

Диаграмма рассеяния полученных данных сетей показывает, что выходные значения сети в целом расположены в пределах полученной последовательности, что говорит о совпадении расчетных величин с целевыми значениями (рис. 8). Но некоторые значения нейронных сетей с индексом 7 и 18 сильно отклонены от пределов полученной последовательности. Поэтому нейронная сеть с индексом 14 является наиболее адекватной для получения результатов идентификации [11].

Таким образом, экспериментально полученная модель решает задачи при экспертной оценке идентификации светлых нефтепродуктов. С помощью этой модели появилась возможность определять время нахождения образца, несмотря на сложность состава, с достаточной точностью. Тип образца можно определить, построив классификационную нейронную сеть по образцам различного типа либо иным более точным способом. Повысить работоспособность сети можно, увеличив количество входных данных.

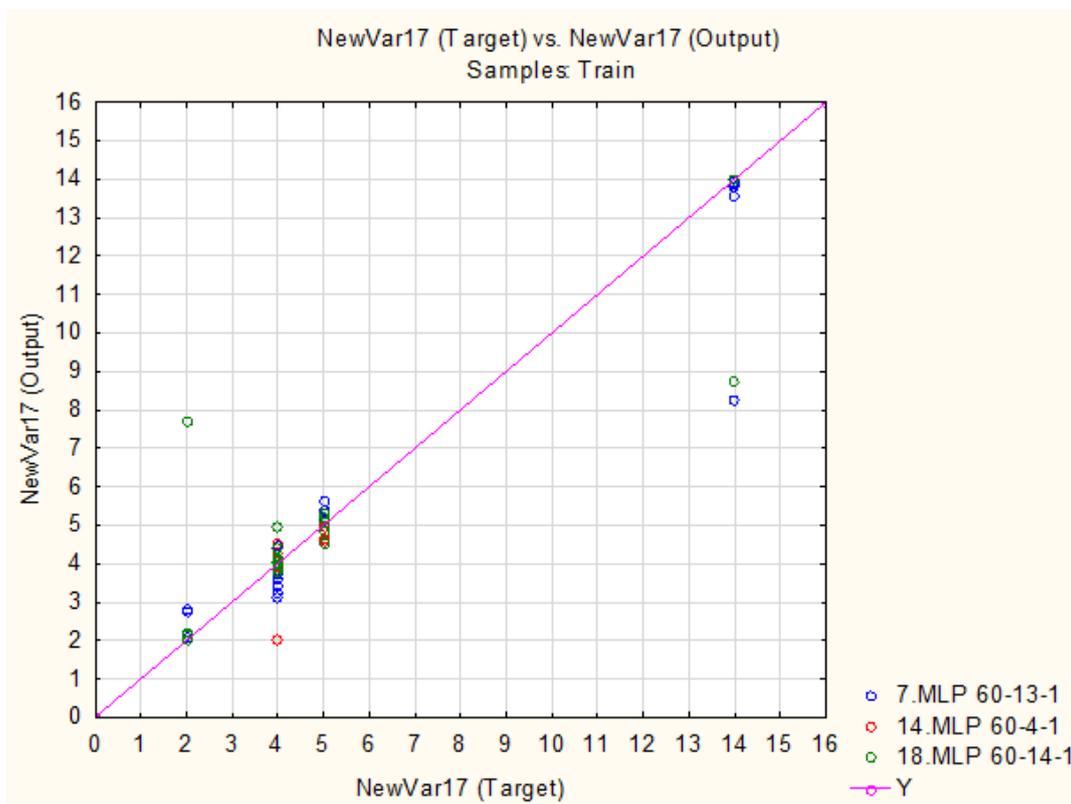


Рис. 8. Диаграмма рассеяния полученных данных

Результаты проверки работы нейронной сети представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты проверки данных нейронной сети

Факт. время образца	Значения проверки НС	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X26
14	12,559	2806	3564	3494	3625	4887	5527	4119	4705	5290	3010
5	4,555	4508	3710	3590	3477	3080	3734	3108	3177	3901	2795
2	6,850	3735	4114	4249	4162	5357	5931	3983	5278	5753	3514

В дальнейшем планируется проведение дополнительных исследований. В частности, планируется обработка результатов по исследованию смесей с водой, загрязнителями и красителями. Это позволит решить задачу идентификации светлых нефтепродуктов в условиях, характерных для проведения пожарно-технической экспертизы.

Литература

1. Гаврилов Д.А., Гаврилова Т.С., Преображенский Н.Б. Экспресс-анализ: одним взглядом // Наука из первых рук. 2011. № 4 (40).
2. Крылов А.С., Втюрин А.Н., Герасимова Ю.В. Обработка данных инфракрасной фурье-спектроскопии: метод. пособие. Красноярск: Институт физики СО РАН, 2005.
3. Тарасевич Б.Н. Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК-спектроскопии. М.: МГУ, 2012.
4. Ahmadjian M., Brown C.W. Petroleum identification by laser Raman spectroscopy // Analytical Chemistry. 1976. Т. 48. № 8. С. 1 257–1 259.
5. Винарский В.А. Хроматография. Курс лекций в двух частях. Ч. 1: Газовая хроматография. Минск: БГУ, 2002.
6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2009.
7. Гаврилов Д.А. О проведении анализа состава воды в зоне нефтедобычи в реальном масштабе времени // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 2. С. 16–16.
8. Rand S.J. Significance of tests for petroleum products. ASTM International, 2003. Т. 1.
9. Головкин В.А., Галушкин А.И. Нейронные сети: обучение, организация и применение // Нейрокомпьютеры и их применение. 2001. Кн. 4.
10. Адаптивное построение иерархических нейросетевых классификаторов / С.А. Доленко [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2005. № 1–2. С. 4–11.
11. Speight J.G. Handbook of petroleum product analysis. John Wiley & Sons, 2015.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ В МЧС РОССИИ

Н.В. Каменецкая, кандидат технических наук, доцент;

О.М. Медведева, кандидат технических наук;

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

С.Б. Хитов.

Министерство обороны Российской Федерации

Рассмотрена возможность применения метода динамического программирования при математическом моделировании процесса распределения финансовых средств, обеспечивающего наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России. Представлены этапы построения математической модели, расчетные формулы. Показан результат применения метода для заданных условий.

Ключевые слова: математическое моделирование, математическая модель, финансовые средства, радиосвязь, радиоаппаратура, динамическое программирование

MODELING OF THE FINANCIAL RESOURCES DISTRIBUTION'S PROCESS IN THE INTERESTS OF EFFICIENT ORGANIZATION OF RADIO COMMUNICATION IN THE EMERCOM OF RUSSIA

N.V. Kamenetskaya; O.M. Medvedeva.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

S.B. Khitov. Ministry of defense of the Russian Federation

The possibility of using the dynamic programming method in mathematical modeling of the process of allocating financial resources ensuring the most efficient exchange of information