

А. А. Щербакова, Б. В. Чувькин

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

A. A. Shcherbakova, B. V. Chuvykin

INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF CONTROL OF CONCENTRATIONS OF FUEL COMPONENTS IN EMERGENCY SITUATIONS

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Объектом исследования является информационно-измерительная система (ИИС) контроля концентраций компонентов топлива. Предметом исследования является ИИС идентификации компонентов, определения состава и детонационной стойкости топлива, построенная на основе анализа спектров поглощения в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне. Целью работы является совершенствование ИИС контроля концентраций компонентов топлива в аварийных ситуациях, что позволит увеличить быстродействие измерений в искро-взрыво-пожароопасных условиях эксплуатации. **Материалы и методы.** Для решения поставленных задач использовались методы теории измерений, принцип развертки в измерительной технике, статистической обработки данных. **Результаты.** Предложена ИИС оперативного контроля концентраций компонентов топлива в режиме реального времени, интегрированная в единую систему управления технологическим процессом приготовления топлива. Вычисление концентраций компонентов бензина производится в соответствии с разработанным блоком обработки информации, что позволит в режиме реального времени управлять процессом производства бензинов и поддерживать качество продукции на заданном уровне, улучшить производственную эффективность, а именно: уменьшить отходы при производстве бензинов, экономичное использование ресурсов, снизить затраты и обеспечить взрывобезопасную работу ИИС. **Выводы.** В ИИС используется принцип измерения спектров поглощения топлива в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн. ИИС предназначена для уменьшения временного лага, связанного со временем отбора пробы. Структура включает перестраиваемый квантовый генератор с диапазоном перестройки 335...2500 нм, соединенный волоконно-оптическим кабелем с проточными кюветами. Сформулированы требования и рекомендации по разработке ИИС, построенной на основе анализа спектров поглощения в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне с использованием блока обработки информации, в основе которого лежит принцип искусственных нейронных сетей.

A b s t r a c t. Background. The authors suggests of the study is the information-measuring system (IMS) of control of fuel component concentrations. The subject of the study is the identification of components, determining the composition and detonation resistance of the fuel, based on the analysis of absorption spectra in the near infrared (IR) range. The aim of the work is to improve the control of the concentration of fuel components in emergency situations. it will increase the speed of measurements in the spark-explosion-fire hazardous operating conditions. **Materials and methods.** Methods of measurement theory, the principle of scanning in measuring technology, statistical data processing were used to solve the problems. **Results.** The proposed IMS operational control of fuel component concentrations in real time,

integrated into a single control system of the technological process of fuel preparation, calculates the concentrations of gasoline components in accordance with the developed information processing unit, which will allow to control the process of gasoline production in real time and maintain the quality of products at a given level and improve production efficiency, namely: reduce waste in the production of gasoline, economical use of resources, reduce costs and ensure explosion-proof operation of the IMS. **Conclusions.** The IMS uses the principle of measuring the absorption spectra of fuel in the near infrared (IR) wavelength range. The IMS is designed to reduce the time lag associated with the sampling time. The structure includes a tunable quantum generator with a tuning range of 335–2500 nm, connected by a fiber-optic cable with flow cuvettes. The requirements and recommendations for the development of the IMS based on the analysis of absorption spectra in the near infrared (IR) range using the information processing unit built on the principles of artificial neural networks are formulated.

К л ю ч е в ы е с л о в а: информационно-измерительная система (ИИС), концентрация компонентов, бензин, детонационная стойкость, октановое число.

К e y w o r d s: information-measuring system (IMS), concentration of components, gasoline, detonation resistance, octane number.

Одним из главных нефтяных топлив является бензин. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) и Института энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН), бензин составляет примерно 46 % всего нефтяного потребления и 62 % всей энергии, используемой для транспорта. За последние 2 года потребление бензина в мире увеличилось на 5,1 % и составило 397,4 млн т [1].

Показателем, характеризующим марку и качество бензинов, является значение октанового числа, которое измеряется по моторному (ОЧМ) (ГОСТ 511-2015) и исследовательскому (ОЧИ) (ГОСТ 8226-2015) методам. Существует нормативно-техническая документация, устанавливающая нормативные показатели качества бензинов (ГОСТ Р 32513-2013). В технический паспорт бензинов входят 15 показателей, которые опреляют значения октановых чисел с допусками, представленными в табл. 1, и максимальное содержание примесей в бензине.

Таблица 1

Нормы показателей качества топлива в соответствии с экологическим классом К5

Показатель	АИ-92		АИ-95		АИ-98	
	Номинальное значение	Допуск	Номинальное значение	Допуск	Номинальное значение	Допуск
1. ОЧМ, ед.ОЧ	92,6	±2,1	96,6	±2,3	99,8	±0,9
2. ОЧИ, ед.ОЧ,	93,6	±2,3	98,3	±2,4	103,8	±0,9

Начиная с 2006 г. в России, согласно Постановлению Правительства РФ № 609 от 12.10.2005, технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой», каждые несколько лет обновляется стандарт, характеризующий экологический класс топлива. Так, для второго класса (К2) массовая доля серы допускается 500 мг/кг и по мере увеличения класса до пятого (К5) значение уменьшается до 10 мг/кг.

В основу нумерации экологического класса топлива положены Европейские стандарты Евро, которые обновляются в Европе каждые три-пять лет, начиная с 1988 г. (Евро-0), а в 2015 г. произведен переход на новый стандарт Евро-6. В России переходы на новые технологические уклады осуществляются с некоторым запаздыванием, окончательный переход на стандарт Евро-5 произведен в июле 2016 г., однако уже в 2018 г. на территории России две крупные нефтегазовые компании «Лукойл» и «Роснефть» реализовали выпуск бензинов класса К5 (Евро-6) [2]. Введение нового класса ужесточает требования к качеству бензинов. За период совершенствования экологического стандарта бензинов без изменения осталось значение октанового числа, изменены нормы по следующим показателям: «Массовая доля серы», «Объемная доля олефиновых и ароматических углеводородов», «Массовая доля кислорода», «Объемная доля оксигенатов», их количественное значение уменьшилось.

Таким образом, в настоящее время стоит задача совершенствования информационно-измерительной системы идентификации компонентов и определения состава и детонационной стойкости топлива.

Структура информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) измерения концентраций компонентов и детонационной стойкости топлива представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура информационно-измерительной и управляющей системы определения состава и детонационной стойкости топлива

ИИУС состоит из: подсистемы измерения концентраций компонентов, подсистемы измерения показателей качества топлива, подсистемы анализа результатов измерений топлива, подсистемы управления технологическим процессом смешения компонентов.

Анализ показал, что существующие методы построения информационно-измерительных систем можно классифицировать по физическому принципу измерения, погрешности измерений, времени измерений, виду измерений, стоимости оборудования (табл. 2). Наиболее точные измерения обеспечиваются ИИС на основе дорогостоящих эталонных методов лабораторного анализа, использующие специальные химические реактивы. ИИС на основе поверенных приборов измерений – менее точные с более низкой стоимостью. Мобильные ИИС обладают небольшой точностью, однако могут проводить оперативные измерения показателей качества бензинов.

Таблица 2

Сравнительный анализ измерительного оборудования

Физический принцип измерения	Название измерительного оборудования	Погрешность измерения, %	Время измерения, мин	Вид измерения	Стоимость, млн.р.
ИИС на основе бензинового двигателя внутреннего сгорания	УИТ-85	0,01	120	Эталонный	5,88
ИИС на основе метода хроматографии	Хроматэк-Кристалл	0,02	120	Поверенный	1,63
ИИС на основе Фурье-спектрометра	Фурье-спектрометр ФСМ 2203	0,05	1	Поверенный	0,87
ИИС на основе реакции холодно-пламенного окисления	Октанометр ОК-2м	0,5	0,5	Поверенный	1,24
ИИС на основе измерения диэлектрических свойств топлива	Shatox SX-100M	0,5		Мобильный	0,065
ИИС на основе измерения спектров поглощения в ближней ИК области	Октанометр САТ-1100	1,5	1	Мобильный	0,035
ИИС на основе измерения спектров поглощения топлива в среднем ИК диапазоне длин волн	ZX-101XL	2	0,4	Мобильный	0,09

Одна из задач, которая возникает при совершенствовании ИИС, заключается в необходимости обеспечить минимальное время идентификации аварийной ситуации, связанной с превышением допустимого порога концентрации компонентов топлива. Аварийная ситуация приведет к сбою технологического процесса смешения топлива и производству некондиционного (бракованного) топлива. Типовое время для идентификации аварийной ситуации при использовании лабораторных методов измерения составляет порядка 1 ч. Такая задержка по времени при возникновении аварийной ситуации приводит к производству большого количества некондиционного топлива (4000 м³ при производстве бензина 3000 т/ч). Минимизировать потери можно за счет уменьшения оперативного измерения предельных концентраций компонентов в режиме реального времени.

Техническими требованиями к такой системе являются обеспечение: измерения предельных значений концентраций компонентов и примесей в режиме реального времени; требований искро-взрыво-пожаробезопасности; принятие решения о возникновении аварийной ситуации и передача информации в интегрированную систему технологического управления.

Для решения задачи оперативного измерения в режиме реального времени необходимо в ИИС уменьшить временной лаг, связанный со временем отбора пробы. Известным решением является волоконно-оптический принцип построения ИИС, рассмотренный, например, в работе [3] для измерения уровня пожароопасных жидкостей. Тогда структура ИИС включает перестраиваемый квантовый генератор с диапазоном перестройки 335...2500 нм, соединенный волоконно-оптическим кабелем с проточными кюветами.

Предлагается следующая структура ИИС (рис. 2), обеспечивающая решение данной задачи. Она включает перестраиваемый квантовый генератор с диапазоном перестройки 335...2500 нм, соединенный волоконно-оптическим кабелем с проточными кюветами, которые волоконно-оптическим кабелем соединены с фотодиодами и микроконтроллером (МК). МК формирует управляющие воздействия на модуль ввода/вывода для открытия и закрытия гидравлических клапанов с тестовыми и анализируемыми компонентами и бензинами [4].

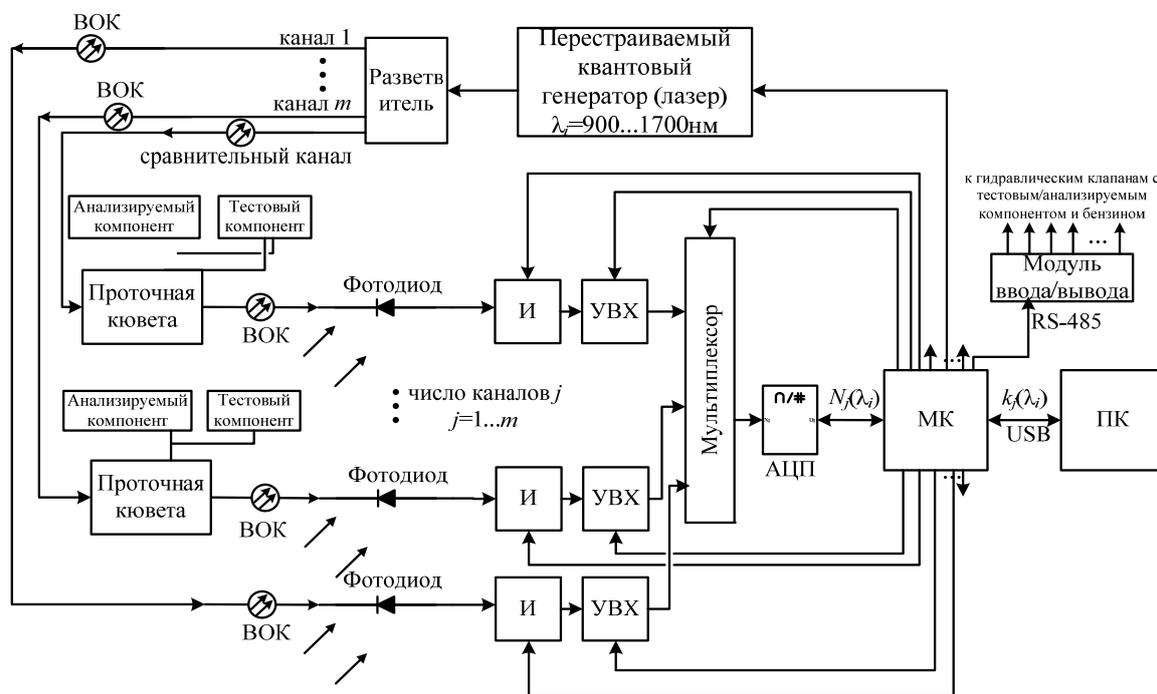


Рис. 2. Структура ИИС на основе перестраиваемого квантового генератора

Перестраиваемый квантовый генератор задает излучение необходимой длины волны и через волоконно-оптический кабель излучение направляется в кювету. После по волоконно-оптическому кабелю попадает в блок обработки информации, откуда по интерфейсу RS-485 формируются управляющие воздействия на модуль ввода/вывода для открытия и закрытия гидравлических клапанов с тестовыми и анализируемыми компонентами и бензинами.

Для подтверждения реализуемости предложенного технического решения была смоделирована ИИС и проведен энергетический расчет оптического тракта ИИС в соответствии с рекомендациями, представленными в литературе [5]. Проверка функционирования измерительной части ИИС проводилась по оценке потерь, вносимых волоконно-оптическими элементами. При этом учитывалась рабочая длина волны, длина волоконно-оптического кабеля, потери, вносимые разъемными и неразъемными соединениями, дополнительные потери [6]. Результатом оценки является нормальное функционирование ИИС, если затухание волоконно-оптического кабеля будет не более 0,3 Дб/км. Низкое затухание волоконно-оптического кабеля в широком диапазоне длин волн 900–1700 нм достигается применением набора волоконно-оптических кабелей для разных диапазонов длин волн либо использованием широкополосного волоконно-оптического кабеля.

Проведена экспериментальная проверка с использованием макета, включающего лазер, кювету с исследуемым образцом, спектрометр, волоконно-оптический кабель. Измерены спектры поглощения бензинов АИ-92 и АИ-95, приобретенных на одной из автозаправочных станций г. Пензы. Решалась задача идентификации четырех компонентов (*n*-гептана, изооктана, толуола и бензола), спектры поглощения которых взяты из справочной литературы [7], в измеренных бензинах. Идентификация компонентов и определение их состава в исследуемых жидкостях проводились в соответствии с математическими моделями, подробно описанными в работе [8]. В результате чего определено, что допустимое отклонение спектрального коэффициента поглощения составит не более 3 %, а достоверность качественной и количественной оценки идентификации компонентов топлива равна 0,9972.

В результате работы установлены требования к ИИС: рабочий диапазон длин волн 900–1700 нм, быстродействие ИИС не более 2 мин, погрешность результатов измерений ИИС не должна превышать 3 %, достоверность идентификации компонентов – не менее 0,98, погрешность определения состава бензина – не более 2 %, погрешность определения октанового числа бензинов – не более 0,5 %, измерение предельных концентраций компонентов топлива в режиме реального времени, возможность подключения нескольких измерительных каналов (более 16), возможность работы ИИС в искровзрывоопасных условиях, управление технологическим процессом смешения компонентов топлива, возможность автоматической калибровки ИИС, возможность автоматизированного анализа спектров поглощения, удаленность анализатора от технологических линий, установка пробоотборной системы в ИИС рядом с технологическим трубопроводом.

Библиографический список

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. – М. : ИНЭИ РАН, АЦ, 2014. – 168 с.
2. *Комаров, В. В.* О разработке национального стандарта «Единое обозначение автомобильных бензинов и дизельных топлив, находящихся в обращении на территории Российской Федерации» / В. В. Комаров, Ф. В. Туровский, В. В. Булатников // Журнал автомобильных инженеров. Стандартизация и сертификация. – 2010. – № 6 (65). – С. 40–44.
3. *Назарова, И. Т.* Волоконно-оптические системы измерения уровня пожароопасных жидкостей : дис. ... канд. техн. наук / Назарова И. Т. – Пенза, 2014. – 220 с.
4. *Щербакова, А. А.* Информационно-измерительная система определения состава и октанового числа бензинов в промышленных условиях на основе параметрического квантового генератора / А. А. Щербакова // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 4 (14). – С. 38–42.
5. Мурашкина, Т. И. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических измерительных приборов и систем / Т. И. Мурашкина. – Пенза : Изд-во ПГУ, 1999. – 132 с.
6. *Щербакова, А. А.* Моделирование оптического тракта ИИС идентификации компонентов, определения состава и октанового числа топлива / А. А. Щербакова // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : сб. ст. IV Всерос. науч.-техн. конф. для молодых ученых и студентов с междунар. участием / под общ. ред. В. В. Салмина. – Пенза, 2018. – С. 223–227.
7. Спектральные характеристики химических веществ в ИК области. – URL: <http://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser.html> (дата обращения 17.05.2018).

8. Щербакова, А. А. Искусственная нейронная сеть для идентификации компонентов, определения состава топлива по спектральным коэффициентам поглощения / А. А. Щербакова, В. А. Соловьев, Д. В. Артамонов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 3 (35). – С. 36–45.

Щербакова Анна Алексеевна

программист,
кафедра приборостроения,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: anutka7790@mail.ru

Shcherbakova Anna Alekseevna

programmer,
sub-department of instrument engineering,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Чувькин Борис Викторович

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: chuvykin_bv@mail.ru

Chuvykin Boris Viktorovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information-computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 681.518

Щербакова, А. А.

Информационно-измерительная система контроля концентраций компонентов топлива в аварийных ситуациях / А. А. Щербакова, Б. В. Чувькин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4 (26). – С. 10–15. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-2.