

А. Ю. Б о й к о, С. К. Д в о р у к,  
В. Н. К о р н и е н к о, И. В. К о ч и к о в,  
М. В. Л е л ь к о в А. Н. М о р о з о в,  
М. Л. П о з д ы ш е в, С. И. С в е т л и ч н ы й,  
С. Е. Т а б а л и н, П. Е. Ш л ы г и н

## ПОРТАТИВНЫЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОРАДИОМЕТР С НЕОХЛАЖДАЕМЫМ ФОТОПРИЕМНИКОМ

*Дано описание портативного фурье-спектрометра с разрешением  $8\text{ см}^{-1}$  в диапазоне 7–13 мкм, в котором используется неохлаждаемый одноэлементный пироэлектрический фотоприемник типа МГ-32. Приведены результаты лабораторных и полевых испытаний разработанного макетного образца. Показано, что фурье-спектрометр с неохлаждаемым фотоприемником может быть использован для дистанционного определения паров загрязняющих веществ в открытой атмосфере.*

Решение проблемы обнаружения и идентификации загрязняющих веществ в открытой атмосфере требует создания фурье-спектрометров (ФСР), чувствительность которых должна обеспечивать возможность проведения измерений при небольшом яркостном температурном контрасте, величина которого для приземных трасс обычно не превышает 2–5 К [1, 2]. Стремление создать фурье-спектрометр с максимально высокой чувствительностью приводит к применению охлаждаемых фотоприемных устройств (ФПУ). Среди них наивысшими характеристиками обладают фотоспротивления и фотодиоды на основе тройного соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ) с рабочей температурой около 80 К [3]. Их типичная обнаружительная способность составляет величину около  $D_{\lambda_{\max}}^* = (1 \dots 3) \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} / \text{Вт}$ . Для охлаждения КРТ-фотоприемников применяют или криостат с заливкой жидким азотом, или микрокриогенную систему охлаждения на основе холодильников Стирлинга интегрированного типа или сплит-систему. Оба варианта не всегда оптимальны. Первый вариант требует периодической дозаправки, второй — достаточно дорог и имеет ограниченный ресурс работы. Кроме того, применение криогенных КРТ-фотоприемников лимитирует массогабаритные параметры ФСР, что делает практически невозможным создание портативных приборов.

В настоящее время ведутся разработки миниатюрных фурье-спектрометров с использованием достижений микросистемной технологии. Примером миниатюризации может служить описанный в работе [4] фурье-спектрометр, имеющий размеры всего  $4 \times 5$  мм и предназначенный для работы в видимом диапазоне длин волн. Очевидно,

что непосредственное использование этого фурье-спектрометра для решения задач мониторинга открытой атмосферы невозможно, но эта работа позволяет указать достижимый уровень миниатюризации ФСР.

Стремление перейти на использование неохлаждаемых фотоприемных устройств приводит к уменьшению чувствительности ФСР. Но для решения ряда прикладных задач, где длина трассы наблюдения невелика, а ее яркостный контраст достаточно высок, указанное снижение чувствительности допустимо. Кроме упрощения конструкции ФСР, применение неохлаждаемых ФПУ позволяет существенно уменьшить энергопотребление и габариты прибора.

Цель настоящей работы — создание и тестирование созданного макетного образца портативного фурье-спектрорадиометра с неохлаждаемым фотоприемником и определение его основных характеристик.

**Выбор элементов ФСР и определение его параметров.** Базовым элементом ФСР является фотоприемное устройство. Именно оно определяет чувствительность, время скана интерферограммы и рабочий спектральный диапазон. Для оптического диапазона  $700 \dots 1400 \text{ см}^{-1}$  ( $7 \dots 14 \text{ мкм}$ ) выбор возможных претендентов не столь широк и сегодня реально представлен двумя типами ФПУ — КРТ-фоторезисторы с термоэлектрическим охлаждением и пироэлектрические фотоприемники. Сравнение параметров фоторезисторов с термоэлектрическим охлаждением, выпускаемых ФГУП “Альфа” [5], и пироэлектрического фотоприемника МГ-32 [6] при размерах фоточувствительной площадки  $1 \times 1 \text{ мм}$  показывает, что они обладают практически одинаковой обнаружительной способностью  $D_{\lambda_{\text{max}}}^* = 2 \cdot 10^8 \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} / \text{Вт}$ . Оценки показывают, что их обнаружительная способность соответствует минимально регистрируемой разности яркостных температур около  $0,1 \dots 0,2 \text{ К}$ . Хотя обнаружительная способность этих фотоприемников существенно меньше, чем у криогенных ФПУ, для последних реальная чувствительность обычно ограничена неустранимыми акустическими шумами и электромагнитными наводками, которые могут ее значительно снизить.

Время фотоотклика для фоторезисторов с термоэлектрическим охлаждением составляет величину не более  $0,3 \text{ мкс}$ . Для МГ-32 частотный диапазон ограничен полосой от  $50$  до  $500 \text{ Гц}$ , но рабочий спектральный диапазон существенно шире (от  $2$  до  $20 \text{ мкм}$ ), что обеспечивает потенциальную возможность работы этих фотоприемников в двух окнах прозрачности атмосферы:  $3\text{--}5$  и  $8\text{--}12 \text{ мкм}$ . Дальнейшее сопоставление их характеристик — спектральной чувствительности, габаритов и энергопотребления — дает преимущество пироэлектрическому фотоприемнику, который и был выбран при создании ФСР.

Частотный диапазон работы пироприемника МГ-32 определяет допустимую величину скорости движения подвижного зеркала фурье-спектрорадиометра. Считая, что верхняя граничная частота работы фотоприемника МГ-32  $f_{\max} \leq 450$  Гц соответствует границе спектрального диапазона  $\nu_{\max} = 1500$  см<sup>-1</sup>, легко оценить скорость физического смещения подвижного зеркала фурье-спектрорадиометра  $V = f_{\max}/2\nu_{\max} \leq 0,15$  см/с. Нижняя граница частотного диапазона, соответствующая  $\nu_{\min} = 500$  см<sup>-1</sup>, будет равна  $f_{\min} \geq 150$  Гц.

При определении загрязняющих веществ в открытой атмосфере время скана не должно превышать величины порядка  $\tau \approx 1$  с, что обусловлено временной стабильностью атмосферы [7]. При этом физическое смещение зеркала интерферометра не должно превышать величины  $l_{\max} = V\tau \leq 0,15$  см. При регистрации двусторонней интерферограммы указанное ограничение приводит к спектральному разрешению ФСР на уровне около  $\delta\nu \approx 8$  см<sup>-1</sup>, что соответствует разрешающей способности  $R = \nu_{\max}/\delta\nu \cong 200$  и вполне достаточно для идентификации сложных органических молекул с характерной шириной полос поглощения 20... 50 см<sup>-1</sup> [8].

Разрешающая способность фурье-спектрорадиометра определяет предельный телесный угол расходимости веера пучков света в интерферометре  $\Omega = 2\pi/R \cong 0,03$  ср. Это соответствует величине плоского угла около 12° по диагонали квадрата приемной площадки ФПУ или 8° по его стороне.

Так как телесный угол для самого фотоприемника, ограниченный установленной перед ним диафрагмой, имеет величину около  $\Omega_0 = 1$  ср, характерный световой диаметр оптических элементов ФСР можно оценить по формуле  $D = L\sqrt{\Omega_0/\Omega} > 10$  мм, где  $L$  — размер фотоприемной площадки по диагонали. Эта величина определяет минимальный характерный размер интерферометра ФСР, который с учетом расходимости лучей может быть не менее 50... 60 мм.

Возможный минимальный размер фурье-спектрорадиометра определяется также используемым лазером референтного канала. В случае применения газового He-Ne-лазера, его длина не может быть меньше 110 мм, что связано с фундаментальными ограничениями на устойчивую генерацию таких лазеров. Анализ показывает, что применение твердотельных и полупроводниковых лазеров не приводит к выигрышу в габаритах, так как для их устойчивой работы в полевых условиях необходима достаточно жесткая термостабилизация.

**Конструкция малогабаритного ФСР.** Приведенные оценки послужили основой при создании конструкции ФСР. Общая структурная схема фурье-спектрорадиометра приведена на рис. 1. В качестве

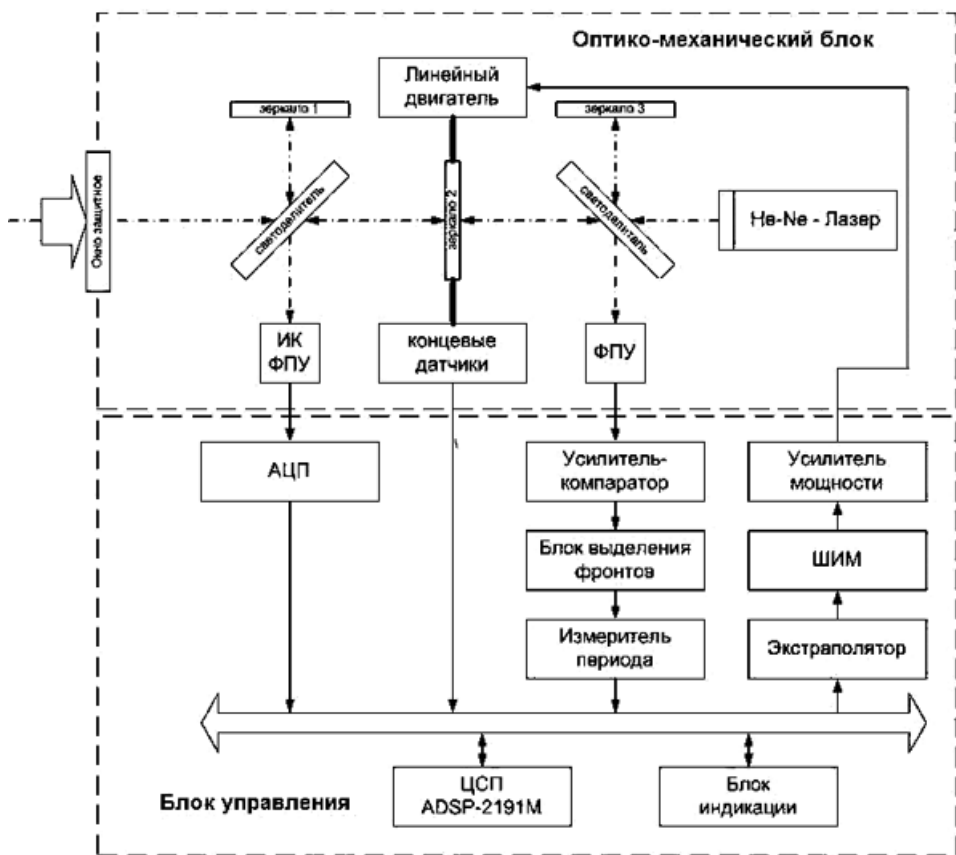
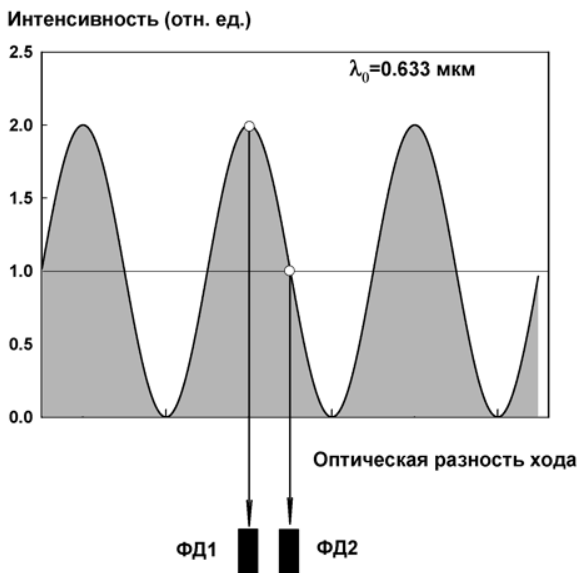


Рис. 1. Структурная схема фурье-спектрометра

основы интерферометра была выбрана классическая схема Майкельсона с подвесом подвижного зеркала на пружинном параллелограмме. Особенностью конструкции являлось применение отдельного интерферометра референтного канала с общим подвижным зеркалом и отдельным опорным. Опорное зеркало референтного канала было слегка наклонено (зеркало 3 на рис. 1) так, чтобы на площадках двухэлементного фотодиода формировалась интерференционная картина с разностью фаз  $\pi/2$ , необходимая для вычисления направления движения.

Поддержание постоянной скорости движения подвижного зеркала фурье-спектрометра осуществлялось с помощью цифровой системы управления на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Сигнал с фотоприемника МГ-32 после аналого-цифрового преобразования, поступал в центральный сигнальный процессор (ЦСП), который выполнял преобразование Фурье, проводил фазовую коррекцию и процедуру учета собственного фонового излучения. Получаемый спектр сравнивался с эталонными спектрами из базы данных.



**Рис. 2.** Сигнал с выхода лазерного референтного канала, принимаемый двухэлементным фотодиодом (ФД1 и ФД2)

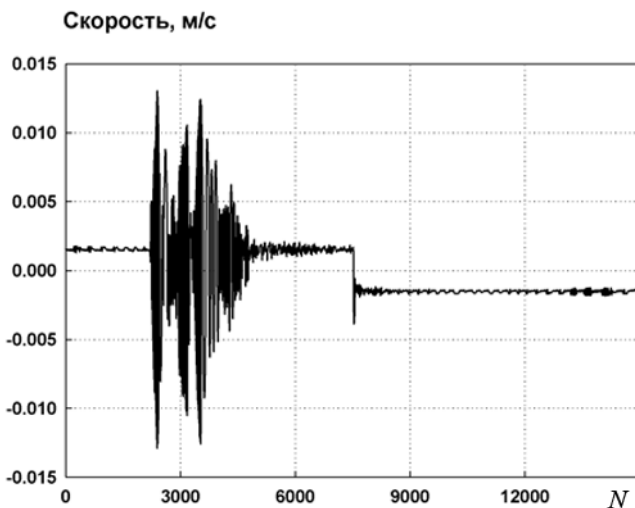
Результат сравнения отображался блоком индикации. Роль ЦСП на первом этапе выполняла ЭВМ типа NoteBook PC. В дальнейшем предполагается ее замена на встроенный сигнальный процессор, в качестве которого может использоваться процессор типа Analog Device ADSP-2191M или аналогичный.

При разработке структуры системы была выбрана архитектура с общей шиной, к которой подключались измеритель скорости, широтно-импульсный модулятор (ШИМ) и интерфейсы внешних устройств.

Сигнал с выхода лазерного референтного канала принимался двухэлементным фотодиодом (см. рис. 2) и поступал на двухканальный усилитель и затем на компараторы, работающие по нулевому уровню. Измеренный временной интервал  $T(t)$  поступал в ПЛИС, где производилось вычисление скорости (и ее знака)  $V(t) = \lambda/2T(t)$ , где  $\lambda$  — длина волны лазера референтного канала. Полученное значение скорости использовалось для выработки управляющего сигнала  $\Delta U(t)$ , который зависел не только от величины рассогласования скорости  $\Delta V(t) = V(t) - V_0$  от заданного значения  $V_0$ , но также от значений интеграла и производной от этого рассогласования:

$$\Delta U(t) = \Delta V(t) + \frac{1}{T_S} \int_0^t \Delta V(t) dt + T_P \Delta \dot{V}(t),$$

где  $T_S$  и  $T_P$  — постоянные времени интегрирования и дифференцирования соответственно.



**Рис. 3.** Запись движения зеркала ФСР с заданной скоростью  $V_0 = 0,15$  см/с при одиночном ударном воздействии

Управляющий сигнал через экстраполятор и широтно-импульсный модулятор подавался на усилитель мощности электромагнита привода линейного двигателя, который и поддерживал постоянную скорость движения зеркала. Переключение направления движения зеркала обеспечивалось концевыми датчиками Холла.

Оцифровка сигнала ИК канала производилась с помощью 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) под управлением ПЛИС. Для контроля температуры и напряжений питания использовался дополнительный АЦП, имеющий четыре аналоговых входа и встроенный датчик температуры.

Преимуществом цифровой системы управления является возможность поддержания достаточно малой скорости движения подвижного зеркала, на уровне 0,1 см/с и ниже.

На рис. 3 приведена запись движения зеркала ФСР с заданной скоростью  $V_0 = 0,15$  см/с при наличии одиночного ударного воздействия. Для рассматриваемого случая переходной процесс, связанный с ударом, занял  $\sim 0,2$  с. Хорошо видно, что система управления достаточно эффективно обрабатывает возмущения, приводящие к существенному изменению скорости движения зеркала, даже в том случае, когда вследствие удара изменяется направление его движения. Из полученного графика также хорошо видно, что время изменения направления движения зеркала мало и не превышает 0,01 с.

Макетный образец фурье-спектрорадиометра представляет собой единый модуль размером  $280 \times 120 \times 90$  мм с оптическим визиром.

Конструкция модуля предусматривает последующую установку в нем ЦСП и малогабаритного дисплея.

**Лабораторные исследования.** В лабораторных условиях были проведены экспериментальные работы, целью которых являлось определение аппаратных функций фурье-спектрометра с неохлаждаемым фотоприемным устройством, корректировка спектральной базы данных и определение минимально обнаружимых концентраций паров различных веществ в воздухе. Для выполнения указанных исследований была использована однопроходовая оптическая кювета (статическая камера) длиной 8 м и сечением  $0,8 \times 0,8$  м с принудительным механическим перемешиванием и вентилированием объема [1, 2]. В качестве источника ИК подсветки применялся широкоапертурный, термостабилизированный источник излучения, близкий по параметрам к абсолютно черному телу (АЧТ) с яркостной температурой от 277 К до 323 К. Для контроля величин концентраций в камере применялись как спектральные, так и пробоотборные методики.

Для определения аппаратных функций ФСР проводилось несколько измерений при различных температурах источника ИК подсветки и интерферометра ФСР. Далее в соответствии с работой [9] вычислялись аппаратные функции — спектральный коэффициент пропускания  $R_0(\nu)$  и эффективная спектральная поглощательная способность фонового излучения  $\varepsilon_0(\nu)$ . На рис. 4 приведен спектральный коэффициент пропускания фурье-спектрометра с неохлаждаемым фотоприемным устройством  $R_0(\nu)$ . Как следует из приведенного графика, максимум чувствительности ФСР расположен в районе  $\nu = 900 \dots 1000 \text{ см}^{-1}$ , что связано с диапазоном просветления оптических элементов интерферометра. Измерения показали, что эффективная спектральная поглощательная способность во всем рабочем

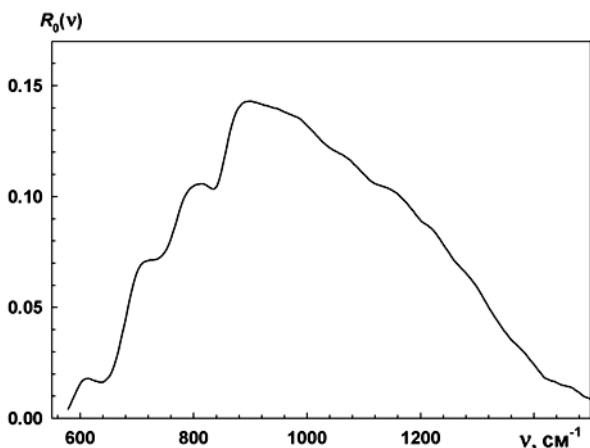


Рис. 4. Спектральный коэффициент пропускания ФСР

диапазоне близка к единице. Этот результат достаточно очевиден, так как обратное излучение в интерферометре формируется его элементами, включая неохлаждаемое ФПУ, излучение которых по своему спектральному составу близко к АЧТ.

С использованием статической камеры в лабораторных условиях были зарегистрированы и внесены в базу спектральных данных спектры аммиака, метилового и этилового спиртов. Измерения проводились при эффективном температурном контрасте  $\sim 10 \dots 12$  К. Была выполнена экспериментальная оценка минимально обнаружимых концентраций, для чего в статическую камеру вводилось заданное количество паров вещества (или смеси веществ, концентрации которых варьировались), контролировался момент срабатывания по обнаружению, правильность идентификации вещества (и/или компонент смеси) и определялись концентрации обнаруженных компонент. Результаты проведенных измерений приведены в таблице.

Таблица

**Концентрации веществ при создании базы данных и минимально обнаружимые концентрации при яркостном контрасте 10...12 К**

Вещество	Концентрация при создании базы данных, мг/м <sup>2</sup>	Минимально обнаружимая концентрация, мг/м <sup>2</sup>
Аммиак	800	120
Метанол	300	40
Этанол	300	50

Отметим, что определение концентрации паров в статической камере во время регистрации их спектров с помощью фурье-спектрометра с неохлаждаемым фотоприемным устройством осуществлялось путем пробоотбора с последующим измерением концентраций методами аналитической химии.

**Полевые эксперименты.** Целью полевого этапа экспериментов была экспериментальная оценка возможности определения веществ в открытой атмосфере с помощью ФСР с неохлаждаемым ФПУ и установление предельной дальности обнаружения паров. Для проверки возможностей прибора были проведены измерения спектров облачного неба (кривая 1), лавсана на ясном небе (кривая 2) и ясного неба (кривая 3), снятые под углом  $45^\circ$  к горизонту (рис. 5). Как следует из полученных спектров, линии лавсана отчетливо распознаются на фоне ясного неба. На спектре ясного неба (кривая 3) в районе  $\nu = 1000 \dots 1070$  см<sup>-1</sup> хорошо виден спектр озона, расположенного на высоте 20...30 км над уровнем Земли. Это указывает на принципиальную возможность использования ФСР с неохлаждаемым ФПУ при работе на достаточно большие дистанции.



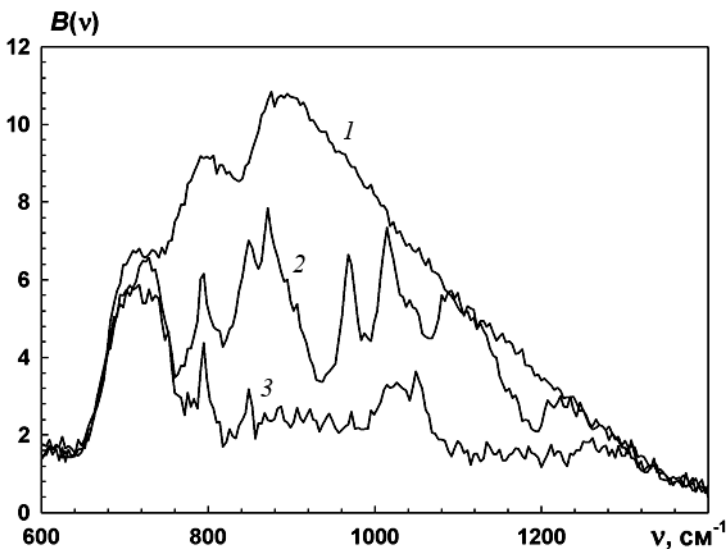


Рис. 5. Спектры облачного неба (1), лавсана на ясном небе (2) и ясного неба (3), снятые с помощью ФСР с неохлаждаемым ФПУ

При проведении экспериментов с созданием модельных облаков, испытания начинались ранним утром в условиях минимальных яркостных контрастов трасс и продолжались до полудня, когда яркостные контрасты приземных трасс были максимальны. Мишенная обстановка создавалась с помощью специальной метательной машины с последующим принудительным распылом в воздухе вещества на высотах, не превышающих  $\sim 50$  м. Испытания проводились на дистанциях до места распыла от 300 до 1000 м. Угол возвышения для всех трасс наблюдений не превышал  $10 \dots 12^\circ$  по отношению к горизонту. Температурный контраст в экспериментах составлял от 2 К при наблюдении на фоне земли и  $5 \dots 6$  К при наблюдении на фоне неба и смешанных фонах.

Тестирование работы фурье-спектрометра проводилось в режиме перманентной (непрерывной) записи результатов обнаружения и измеренных спектров в файл. При этом регистрировалась интегральная концентрация обнаруженного вещества, коэффициент корреляции и текущее время. Ведение поиска и обнаружение паров выполнялось как при работе прибора на штативе, так и при работе с рук.

На дальности 500 м обнаружены модельные облака паров при распыле 4 и 8 л 20 %-ного раствора аммиака, а также 8 л 50 %-ных растворов метилового, этилового и изопропилового спиртов. При дальности 1000 м надежно регистрировались пары аммиака при распыле 16 л 20 %-ного раствора.

Результаты измерений иллюстрируют приведенные далее экспериментальные графики. На рис. 6, а приведены зависимости измеренных

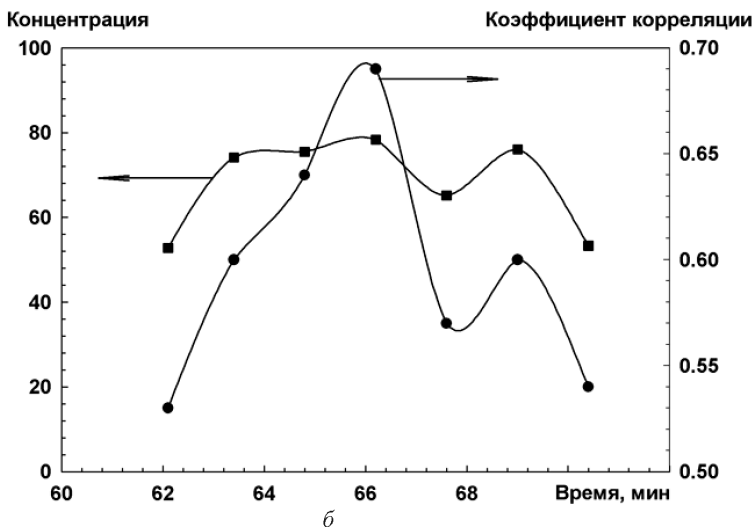
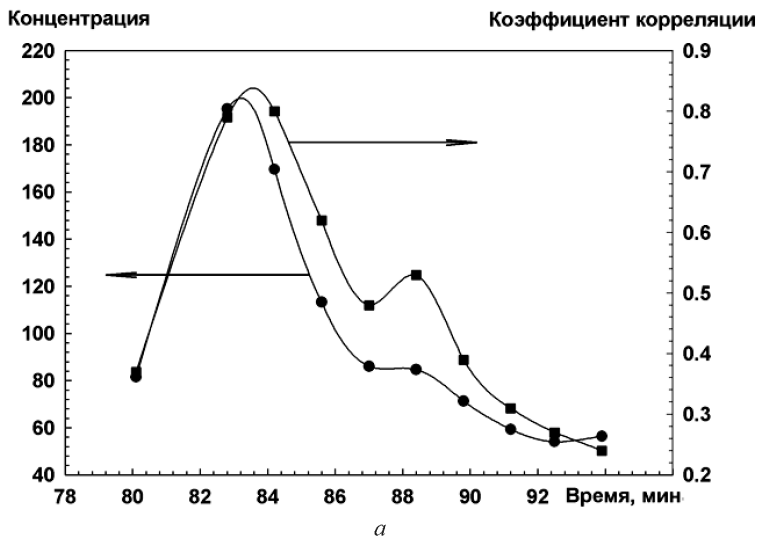


Рис. 6. Зависимости измеренных концентрации и коэффициента корреляции от времени при распыле 8 л 20%-ного раствора аммиака (а) и 50 %-го раствора метанола (б) на расстоянии 500 м

концентрации аммиака ( $\text{NH}_3$ ) и коэффициента корреляции от времени при распыле 8 л 20%-ного раствора на расстоянии 500 м. Рис. 6, б иллюстрирует аналогичные зависимости для распыла 8 л 50% раствора метилового спирта ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Как следует из этих графиков, на дальностях 500 м с помощью ФСР с неохлаждаемым ФПУ удастся не только регистрировать сам факт наличия облака паров в открытой атмосфере, но и прописывать изменение концентрации облака с течением времени.

С целью иллюстрации возможностей метода на рис. 7. изображен спектр пропускания аммиака при измерениях на расстоянии 1000 м

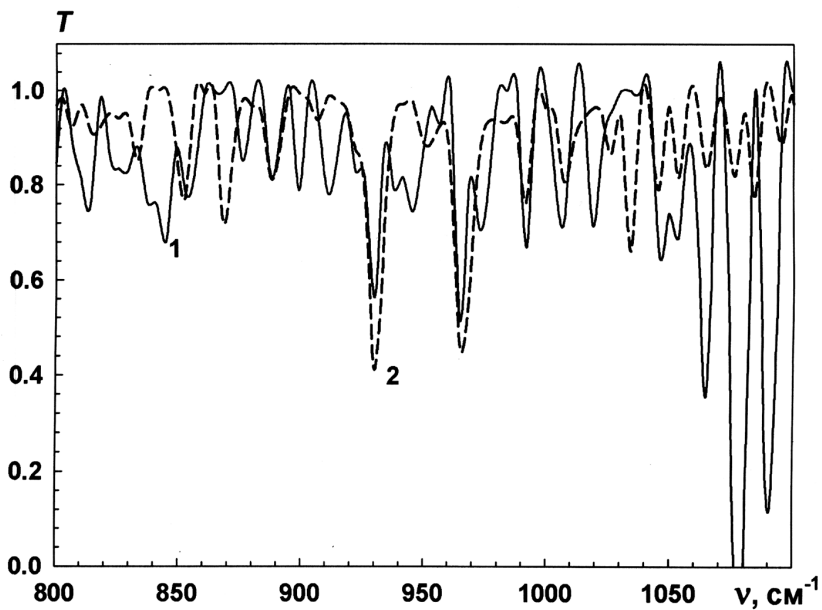


Рис. 7. Нормированный спектр аммиака при измерениях на расстоянии 1000 м при распыле 16 л 20 %-ного раствора (1) в сравнении с эталонным спектром из базы данных (2)

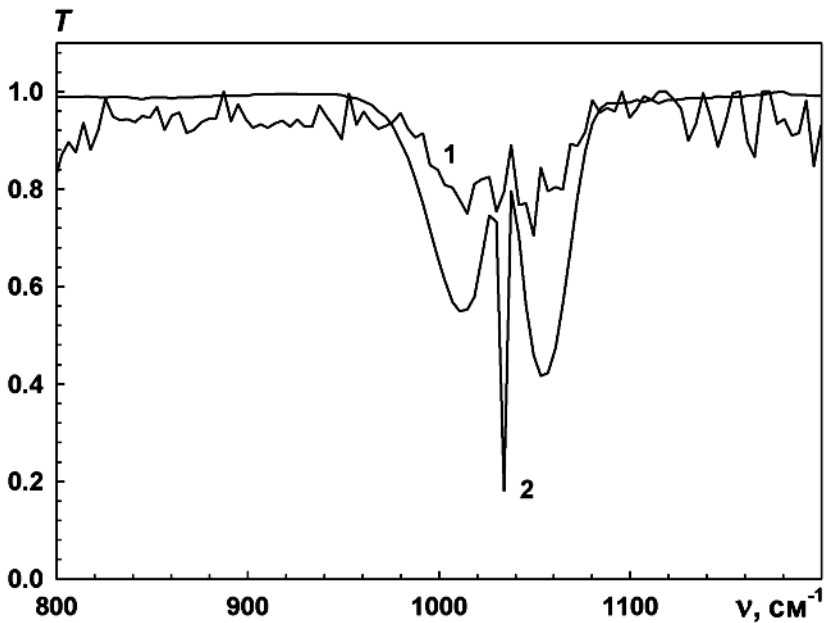


Рис. 8. Нормированный спектр метанола при измерениях на расстоянии 500 м при распыле 8 л 50 %-ного раствора (1) в сравнении с эталонным спектром из базы данных (2)

при распыле 16 л 20 %-ного раствора (кривая 1) в сравнении с эталонным спектром из базы данных (кривая 2). Аналогичные зависимости приведены на рис. 8 для случая распыла на расстоянии 500 м

8 литров 50 %-ного раствора метилового спирта. Как видно из приведенных кривых, на экспериментальных спектрах хорошо просматриваются спектральные линии и полосы паров регистрируемых веществ.

**Выводы.** Разработка портативного фурье-спектрорадиометра с неохлаждаемым фотоприемным устройством и проведенные его лабораторные и полевые испытания подтверждают возможность создания полевого прибора, предназначенного для оперативного обнаружения и идентификации паров загрязняющих веществ в открытой атмосфере. Подобный прибор, обладая несколько меньшей чувствительностью и дальностью, чем фурье-спектрорадиометры с криогенными фотоприемниками, благодаря малым размерам, массе и энергопотреблению может составить конкуренцию другим типам пассивных дистанционных газоанализаторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворук С. К., Корниенко В. Н., Кочкиков И. В., Лельков М. В., Морозов А. Н., Светличный С. И., Табалин С. Е. Мониторинг загрязняющих веществ в атмосфере с помощью фурье-спектрорадиометра // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71. – № 5. – С. 7–13.
2. Глаголев К. В., Морозов А. Н., Назаренко Б. П., Табалин С. Е., Чубурков О. В., Светличный С. И., Никитаев С. Н., Рожнов А. В., Филиппов В. И., Григорьев А. А. Мониторинг открытой атмосферы с помощью фурье-спектрорадиометра // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. “Естественные науки”. – 2005. – № 3. – С. 9–25.
3. Аксененко М. Д., Бараночников М. Л. Приемники оптического излучения: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.
4. Manzardo O., Herzig H. P., Marxer C. R., de Rooij N. F. Miniaturized time-scanning Fourier spectrometer based on silicon technology // Optics Letters. – 1999. – Vol. 24. – № 23. – P. 1705–1707.
5. Ларцев И. Ю., Никитин М. С., Чеканова Г. В. Фотоэлектрические параметры КРТ фоторезисторов с термоэлектрическим охлаждением // Прикладная физика. – 2003. – № 4. – С. 80–86.
6. <http://www.nsk.su/~vostok/Fpu/MG32.html>
7. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 550 с.
8. Сильверстейн Р., Басслер Г., Морил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 590 с.
9. Дворук С. К., Корниенко В. Н., Кочкиков И. В., Лельков М. В., Морозов А. Н., Поздняков В. А., Светличный С. И., Табалин С. Е. Обработка двусторонних интерферограмм с учетом собственного фонового излучения фурье-спектрорадиометра // Оптика и спектроскопия. – 2002. – Т. 93. – № 5. – С. 884–889.

Статья поступила в редакцию 15.11.2005

Андрей Юрьевич Бойко родился в 1968 г., окончил СВВИУХЗ в 1990 г., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., начальник отдела Центрального научно-исследовательского испытательного института. Автор более 30 научных работ в области спектроскопии, оптической локации и прецизионных измерений.

A.Yu. Boiko (b. 1968) graduated from Saratov Military Institute of Chemical Defense in 1990. Ph. D. (Eng.), senior researcher, head of department of Central Institute of Research and Testing. Author more than 30 publications in the field of spectroscopy, optical location and precise measurements.

Станислав Казимирович Дворук родился в 1958 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1986 г. Ведущий инженер Центра прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 10 научных работ в области прецизионных измерений.

S.K. Dvoruk (b. 1958) graduated from the Bauman Moscow High Technical School in 1986. The leading engineer of Applied Physics Center of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 10 publications in the field of high precision measuring systems.

Игорь Викторович Кочиков родился в 1959 г., окончил МГУ им. М.В. Ломоносова в 1982 г., д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ. Автор более 60 научных работ в области математической физики и вычислительной математики.

I.V. Kochikov (b. 1959) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1982. D. Sc. (Phys.-Math.), senior researcher of Research Computing Center of the Lomonosov Moscow State University. Author of more than 60 publications in the fields of mathematical physics and computing mathematics.

Владимир Николаевич Корниенко родился в 1966 г., окончил МГУ им. М.В. Ломоносова в 1989 г., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИРЭ РАН. Автор более 60 научных работ в области вакуумной микроволновой электроники.

V.N. Kornienko (b. 1966) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1989. Ph. D. (Phys.-Math.), senior researcher of the Institute for Radio Electronics of the Russian Academy of Sciences. Author of 60 publications in the field of vacuum microwave electronics.

Максим Викторович Лельков родился в 1976 г., аспирант кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 5 научных работ в области расчета и создания оптических систем.

M.V. Lel'kov (b. 1976), graduated from the Bauman Moscow State University in 2000. Post-graduate of “Physics” department of Bauman Moscow State University. Author of 5 publications in the field of computation and creation for optical systems.

Андрей Николаевич Морозов родился в 1959 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1981 г., д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области прецизионных измерений и физической кинетики.

A.N. Morozov (b. 1959) graduated from the Bauman Moscow High Technical School in the 1981. D. Sc. (Phys.-Math.), professor, head of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of high precision measuring systems and physical kinetics theory.

Михаил Леонидович Поздышев родился в 1958 г., окончил Тульское высшее инженерное училище в 1981 г., канд. техн. наук, доцент кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 научных работ в области прецизионных измерений и газовой динамики.

M.L. Pozdishev (b. 1958) graduated from Tula High Engineering School in 1981, Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 30 publications in the field of high precision measuring systems and gas dynamics.

Сергей Иванович Светличный, родился в 1950 г., окончил МФТИ в 1973 г., канд. физ.-мат. наук, директор Филиала Института энергетических проблем химической физики РАН. Автор более 60 научных работ в области химической физики, спектроскопии.

S.I. Svetlichnyi (b. 1950) graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology in 1973. Ph. D. (Phys.-Math.), director of the Branch of Institute for Energy Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 60 publications in the field of chemical physics and spectroscopy.

Сергей Егорович Табалин родился в 1961 г., окончил МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1984 г., научный сотрудник НИИ ПММ МГТУ. Автор более 30 научных работ в области физической оптики и прецизионных измерений.

S.Ye. Tabalin (b. 1961) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1984. Senior researcher of “PMM” research institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 30 publications in the field of physical optics and high precision measuring systems.

Петр Евгеньевич Шлыгин родился в 1969 г., окончил СВВИУХЗ в 1991 г., старший инженер отдела Центрального научно-исследовательского испытательного института. Автор более 10 научных работ в области оптической локации и прецизионных измерений.

P.E. Shlygin (b. 1969) graduated from Saratov Military Institute of Chemical Defense in 1991, senior engineer of Central Institute of Research and Testing. Author more than 10 publications in the field of optical location and precise measurements.

В статье авторов Н.Н. Двulichанской, Г.Н. Фадеева “Реализация концепции непрерывного химического образования на основе системного аксиологического подхода”, опубликованной в № 3 (18) 2005 г. на с.125 вместо табл.4 должна быть следующая таблица:

Таблица 4

**Перечень лабораторных работ по химии**

№№ п/п	Наименование	Объем, ч
1	Определение молярной массы химического эквивалента металла объемным или электрохимическим методом	2
2	Приготовление раствора и определение его концентрации	2
3	Окислительно-восстановительные реакции	2
4	Кинетика химических реакций	4
5	Каталитические реакции	2
6	Химическое равновесие	2
7	Растворы электролитов	4
8	Химические свойства металлов ( <i>s</i> -, <i>p</i> - и <i>d</i> -металлы)	8
9	Определение жесткости воды	2
10	Коррозия и защита металлов от коррозии	4
	Всего	32