

История развития хроматографии в Йошкар-Оле.

К 30-летию фирмы «Мета-хром»

А. В. Астахов¹

УДК 543.07:543.423

В последние годы во многих сферах нашей жизни произошли радикальные перемены. Не стало исключением и отечественное аналитическое приборостроение. И если раньше большинство испытательных лабораторий были оснащены импортным оборудованием, то теперь все большее внимание уделяется продукции отечественных производителей. В нашей стране есть компании, которые давно и успешно работают на российском рынке и не только. Заслуженным авторитетом у специалистов пользуется НПФ «Мета-хром» – производитель инструментария для газовой хроматографии и другого испытательного оборудования, которая в будущем году отметит 30-летие. Как у любого успешного предприятия с богатой историей, главная ценность – люди, ученые и инженеры-конструкторы, чьи идеи воплощаются на современном производстве*.

В 2023 году исполнилось 120 лет со дня открытия хроматографии российским ученым-биологом М. С. Цветом. 21 марта 1903 года Михаил Семёнович прочитал доклад «О новой категории адсорбционных явлений и о применении их к биохимическому анализу» на заседании биологического отделения Варшавского общества естествоиспытателей. Эта дата считается открытием хроматографии. Метод был настолько прост, что большинство современников это удивительное открытие не оценили. У многих работы ученого вызвали недоверие, некоторые считали новый метод слишком примитивным и не верили в то, что с его помощью можно получить достоверные результаты. Именно по этой причине в 1918 году Цвета забаллотировал Нобелевский комитет и о его открытии забыли больше чем на десятилетие. Но со временем именно простота метода проложила ему широкую дорогу в самые разнообразные области исследований. Открытие Цвета получило широкое

признание, начиная с 30-х годов прошлого века. 26 июня 1919 года Михаил Семёнович Цвет умер в расцвете своего таланта, не сумев осуществить свои многочисленные научные планы. Воскресли метод М. С. Цвета английские ученые Арчер Мартин и Ричард Синг, открыв распределительную хроматографию, за что и получили Нобелевскую премию в 1952 году.

Сегодня хроматография занимает одно из ведущих мест среди методов анализа объектов окружающей среды, промышленного производства, пищевых продуктов и других отраслей. Метод применяется в нефтехимии, криминалистике, фармацевтике, лабораторной диагностике и др. Кроме химиков, методом активно пользуются физики, биохимики, физиологи и другие. За эти годы хроматография достигла огромных успехов.

В России выпуском хроматографического оборудования занимается несколько предприятий. Одно из них – научно-производственная фирма «Мета-хром», которой в 2025 году исполняется 30 лет со дня основания. Конструкторский отдел и производственные мощности компании располагаются в Йошкар-Оле не случайно. Столица Республики Марий Эл имеет давние традиции в области аналитического приборостроения. Заглянем в историю развития хроматографии в Йошкар-Оле.

¹ НПФ «Мета-хром».

* В статье использованы материалы автора, опубликованные в журнале «АНАЛИТИКА», 2023;13(2):154-156 и на сайте компании «Мета-хром» <https://www.meta-chrom.ru/catalog/chromatographs/evolution/>.



Хроматографы «Кристалл-1» (слева) и «Анализатор-100М» (справа)

Осенью 1978 года в ОКБ приборов контроля и автоматики в г. Йошкар-Ола приехали директор ВНИИБП Ю. Т. Калинин и начальник отдела хроматографии В. В. Помазанов. Целью визита было создание конструкторского отдела хроматографического приборостроения. После этого НПО «Биопрепарат» Главного управления микробиологической промышленности СССР выпустило приказ о создании отдела. Учитывая специфику НПО «Биопрепарат» и микробиологической промышленности в целом, ОКБ создавалось для решения оборонных задач, в том числе, по контролю химического оружия. Отдел хроматографии возглавил В. Ф. Загайнов. В него набрали инженеров и конструкторов – в основном, молодых, полных энтузиазма, но не имевших понятия о хроматографии.

В ноябре того же года отдел начал функционировать, а его сотрудники отправились стажироваться в отдел хроматографии ВНИИБП в Москве. Стажировка длилась целый месяц, по истечении которого началась разработка первого собственного газового хроматографа «Кристалл-1». За его основу взяли газовые хроматографы «ЛХМ-80» (завод «Манометр», Москва) и Varian 3700 (фирма Varian, США), который по лицензии выпускал московский завод «Хроматограф», под названием «Модель 3700». Несмотря на недостаток опыта инженеров отдела, разработка велась на самом современном уровне. Были разработаны и внедрены электронные регуляторы расхода газа, электрометрические усилители на МОП-транзисторах, электронные системы управления и многое другое. Первые хроматографы выпущены опытной партией 10 штук для оснащения предприятий Микробиопрома. Несмотря на то, что эта линейка продукции так и не получила массового распространения, ее выпуск можно смело назвать

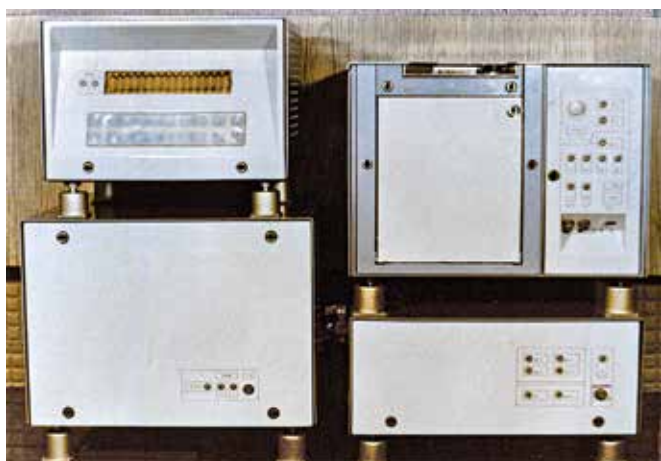
первым серьезным шагом на пути профессионального роста специалистов отдела и становления коллектива, как такового.

Параллельно, в короткие сроки был разработан анализатор для определения состава газовых смесей при мониторинге воздушного бассейна «Анализатор-100» (в дальнейшем модернизирован в хроматограф «Анализатор-110»), после чего отдел полностью перешел на газовую хроматографию.

В СССР в то время было несколько центров, которые разрабатывали и выпускали хроматографы: ВНИИБП (Москва), СКБ АН Эстонской ССР (Таллин), «ВНИИХром» (Москва), ОКБА (Дзержинск). Сотрудники отдела знакомились с основами хроматографии, встречались с ведущими специалистами на семинарах и конференциях. Большая заслуга в становлении и развитии коллектива



Первый состав сотрудников отдела, слева направо: В. Королев, А. Г. Исаев, В. Ф. Загайнов, А. В. Астахов, П. Б. Иванов



Хроматограф «ГЖХ-11-1000»

принадлежит В. В. Помазанову, Ю. Т. Калинину, Е. Е. Сотникову, В. В. Бражникову (ВНИИБП), П. А. Луневу, Л. А. Бухарину, В. И. Анцыгину (ОКБ приборов контроля и автоматики), В. Ф. Алексею, В. А. Йонссону (СКБ АН Эстонской ССР), А. И. Чернятину, Я. И. Яшину, В. И. Калмановскому (ДОКБА), В. Л. Будовичу, В. М. Пошеманскому, А. Н. Тумилевичу («ВНИИХром»), М. А. Курцману (завод «Хроматограф»), К. И. Сакодынскому (ИРЕА), В. И. Резникову («Витохром»), И. А. Ревельскому (МГУ), В. Н. Сидельникову (Институт катализа, Новосибирск) и многим другим.

Очень помогало обучению специалистов посещение хроматографических конференций, например, в Лосево, Пярну, Сааремаа, Самаре, Сочи, командировки в ведущие хроматографические организации. Особенно запомнилась конференция по хроматографии, которая прошла в Дагомьсе в конце марта 1990 года. Это была последняя хроматографическая конференция Советского Союза. Очень полезными оказались лекции по хроматографии ведущего программиста СКБ АН Эстонской ССР В. Ф. Алексея при посещении им Йошкар-Олы.

В дальнейшем для задач химической и биологической разведки в 1985 году совместными усилиями конструкторского отдела ОКБ, ВНИИБП и СКБ АН Эстонской ССР разработан хроматограф специального назначения «ГЖХ-11-Кристалл-1000» (тема «Пробуждение»). Разработка была завершена Государственными испытаниями. Более полугода сотрудники отдела участвовали в войсковых испытаниях на полигоне Шиханского испытательного центра. Затем началась перестройка, а химическое оружие уже собирались запретить (конвенция о запрещении в итоге подписана в 1993 году

и вступила в силу в начале 1997 года), поэтому хроматограф «ГЖХ-11-1000» на вооружение поставлен не был. Да и армия не была еще готова принять столь сложную технику.

Однако, чтобы опыт разработки не пропал, в 1986 году началась разработка гражданского варианта этой модели – хроматографа «Кристалл-2000», который считается первым газовым хроматографом отечественного производства с полностью автоматизированной системой управления. К слову, именно в это время велись жаркие обсуждения проекта ГОСТ 26703-93 «Хроматографы аналитические газовые. Общие технические требования и методы испытаний». Мнения разработчиков на этот счет расходились и были весьма противоречивы. Многие специалисты были убеждены, что требования этого ГОСТа невозможно будет выполнить на практике. Но молодым специалистам из Йошкар-Олы все же удалось на деле показать свою состоятельность и доказать реальность создания современных хроматографов по всем канонам технического прогресса. Требования ГОСТ 26703-93 в хроматографе «Кристалл-2000» были выполнены. В нем нашли применение микроконтроллер, электронное управление газовыми потоками, пятиканальный мультидетектор и автосамплер.

В 1988 году хроматограф прошел Государственные испытания и в 1989 году, его начали выпускать серийно и не только на заводе ОКБ в Йошкар-Оле, но и на Ижевском электромеханическом заводе «Купол». Всего изготовлено более трех тысяч хроматографов



Заседание государственной комиссии по приемке хроматографа «Кристалл-2000», слева направо:

В. Ф. Алексеев, В. Ф. Загайнов, Ю. Н. Павлов, В. В. Помазанов – председатель комиссии, В. В. Бражников, 1988 год.

Кроме перечисленных специалистов в работе комиссии приняли участие О. Г. Ларионов, К. И. Сакодынский, Л. Ф. Дмитриева, Ш. Р. Фаткутдинова, А. В. Астахов.



Хроматограф «Кристалл-2000»

«Кристалл-2000», их и сегодня еще можно встретить в некоторых лабораториях. Эта модель оказалась настолько удачной, что ее серийное производство длилось девять лет, несмотря на стремительное развитие технологий. Старания разработчиков не прошли даром, и в 1988 году их труд был отмечен медалями ВДНХ (золотая и серебряная), почетными дипломами и автомобилем «Москвич».

На работу в отдел регулярно поступали выпускники Марийского политехнического института, средний возраст сотрудников был около тридцати лет. Год за годом работники нового отдела постигали тайны хроматографии и воплощали полученные знания на деле. Так 46 лет назад в Йошкар-Оле появилась хроматография. Сегодня Йошкар-Ола по праву считается центром Российского хроматографического приборостроения.

С тех пор разработчики хроматографов получили свыше 70 авторских свидетельств на изобретения. Многие из них впоследствии были внедрены в хроматографе «Кристалл-2000» и в других более поздних разработках. Среди таких изобретений можно выделить пятиканальный мультидетектор; малогабаритный высокоточный термостат колонок; автоматический дозатор жидких проб; система усиления сигналов пламенно-ионизационного детектора и детектора по теплопроводности и др.

Хроматографы неоднократно экспонировались на выставках, в том числе международных, и получали награды. Последней разработкой отдела ОКБ стал хроматограф «Кристалл-3000», он получился удачным и в 1992 году успешно прошел все приемочные испытания. Но к этому времени в стране произошли большие перемены, связанные с перестройкой. Государственное финансирование разработок

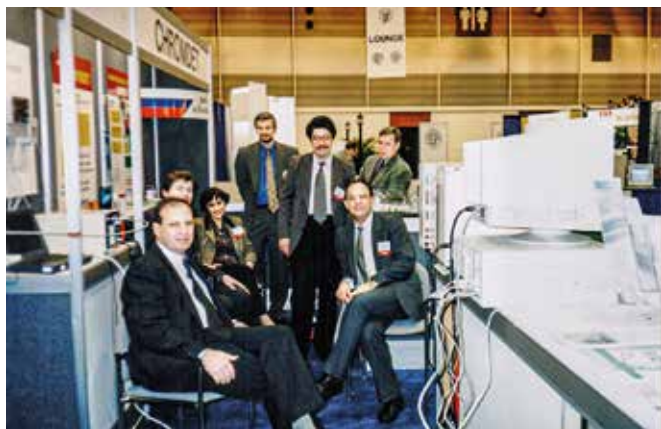
прекратилось, заказы на новую технику предлагать было уже некому, и сотрудники ОКБ оказались предоставленными сами себе. Чтобы сохранить коллектив разработчиков, в 1991 году в отделе было организовано малое предприятие СКБ «Хроматэк». Первоначально в его состав вошли шесть человек во главе с А. М. Шадриним. В дальнейшем в состав СКБ вошли и остальные сотрудники отдела, а директором стал В. Ф. Загайнов. Деятельность СКБ и отдела стала возможной за счет продажи СКБ выпускаемых заводом хроматографов «Кристалл-2000» и внедрения их на

различных предприятиях, благодаря накопленному опыту и компетенции в хроматографии.

Осенью 1994 года из СКБ «Хроматэк» ушли четыре ведущих специалиста: А. М. Шадрин (ведущий разработчик электроники), В. А. Лапин (ведущий конструктор), А. В. Астахов (начальник лаборатории хроматографии) и Е. М. Глазырин (ведущий программист), которые организовали в Доме быта (в современных реалиях – это бизнес-центр) научно-производственную фирму «Мета-хром». В здании Дома быта располагались мастерские разного профиля, магазины, там и разместилась новая фирма в небольшой комнате площадью примерно 18 м². В это время бывший завод при ОКБ продолжал работать, но уже под новым наименованием – ОАО «Биомашприбор». Но там не осталось специалистов,



Сотрудники НПФ «Мета-хром»



На выставке «PITTKON-98», Новый Орлеан, 1998 год



На выставке, посвященной 100-летию открытия хроматографии (Москва, 2003 год), стоят на первом плане, слева направо: Ю. М. Лужков, Я. И. Яшин, В. А. Лапин

способных заниматься разработками и технической поддержкой производства хроматографов.

Сотрудники «Мета-хром» договорилась с руководством «Биомашприбор» о том, что как самостоятельная компания будут выполнять НИОКР для завода, разрабатывать и поддерживать выпускаемую продукцию. Фактически работу начала в том же 1994 году компания «Мета», которой руководил А. М. Шадрин. О том периоде напоминает первая часть названия фирмы – «Мета-хром». Полноценно заниматься разработкой хроматографов в одной комнате было сложно, поэтому, на первых порах, взялись за модернизацию и усовершенствование хроматографа «Кристалл-2000». Тем не менее параллельно в короткие сроки был разработан новый прибор – «Кристаллюкс-4000», а документацию передали на завод в производство. По договору с заводом за разработку фирме передавали часть изготовленных приборов, которые она продавала и на эти средства расширяла поле деятельности. Один из первых хроматографов «Кристаллюкс-4000» демонстрировался в 1998 году на самой известной и престижной в мире выставке аналитического оборудования Pittcon в Новом Орлеане. Мечта попасть на эту выставку, которая родилась после знакомства с хроматографией, осуществилась через двадцать лет после начала работы.

Так продолжалось до 2003 года, когда на «Биомашприборе» все пришло в упадок – сменилось руководство, практически прекратилась производственная деятельность. Но фирма была к этому готова, еще в Доме быта началось развитие собственного производства, закуплены станки, на которых точили уникальные детали. На территории бывших складов был приобретен земельный участок и здания

общей площадью около 10 000 м². Постепенно привели их в порядок и оснастили технологическим оборудованием. Часть станков приобрели на «Биомашприборе», когда эта компания начала все продавать.

В 2003 году в честь столетия открытия хроматографии на выставке в Москве демонстрировалась новая разработка фирмы – хроматограф «Кристаллюкс-4000М».

«Мета-хром» с 2004 года ежегодно участвует в выставке аналитического приборостроения «Аналитика», на которой, начиная с 2009 года, каждые два года «Мета-хром» награждали «Знаком Качества» за обеспечение высокой точности измерений в аналитической химии.

В 2005 году завод и вовсе перестал существовать, но «Мета-хром» уже располагал собственным производством. Офис в Доме быта, который к тому времени занимал 300 м², остался в прошлом.



Главный корпус здания «Мета-хром»

Сегодня «Мета-хром» – это полномасштабное промышленное предприятие, поддерживающее все необходимые технологические операции: от металлообработки до порошковой окраски, от монтажа печатных плат до изготовления транспортной тары, от подготовки сорбентов для хроматографических колонок до выпуска необходимых шильдиков и фальшпанелей с лазерной маркировкой. По сути, единственная технологическая операция, которую фирма не может выполнить сама – нанесение гальванических покрытий. Но поскольку в хроматографии используется в основном нержавеющая сталь, гальваника применяется только при покрытии никелем латунных деталей, прежде всего – мембран регуляторов расхода газа для придания им химической стойкости. К счастью, в Йошкар-Оле гальванические участки действуют на нескольких предприятиях, и никто не отказывается от сторонних заказов. Аналитическое приборостроение не может похвастаться очень большими объемами. Тем не менее, фирма производит хроматографы, автосамплеры, генераторы газов и сопутствующее аналитическое оборудование – именно как серийную продукцию.

Несмотря на то, что линейка хроматографов «Кристаллюкс-4000М» выпускается с 2003 года до сих пор, это отнюдь не свидетельствует о том, что фирма отстает от технического прогресса. Хроматограф «Кристаллюкс-4000М» постоянно совершенствуется: улучшаются технические характеристики, добавляются новые сервисные устройства. Описание Государственного реестра на хроматограф «Кристаллюкс-4000М» корректируется почти каждый год. Разработаны такие сервисные устройства, как автоматические дозаторы жидких проб (шприцевые и безшприцевые из потока, находящегося под давлением), автоматические и ручные краны-дозаторы, коммутаторы газов, устройство для парофазного анализа, пиролизер, термодесорбер, в т. ч. двухстадийный, устройство криофокусирования, криогенные устройства для определения микропримесей в газах. Выпускается широкий спектр дополнительного оборудования – генераторы газов, фильтры каталитической очистки азота (водорода, аргона, гелия) от кислорода и воздуха от органических примесей, воздушные компрессоры, в том числе генераторы водорода с производительностью от 7 до 75 л/ч, генераторы чистого воздуха (очистка воздуха от примесей углеводородов и водяных паров).

Непрерывно совершенствуется программа обработки хроматографической информации NetChrom, в том числе, в части внедрения новых методов



Современный хроматограф «Кристаллюкс-4000М»

анализа и расчета результатов. Разработан пакет документов для IQ, OQ, PQ квалификации (в том числе, автоматическая PQ-квалификация).

Немало внимания уделили внешнему дизайну – его разработала «Студия Артемия Лебедева». Совместно с фирмой «Интерлаб» в 2020 году хроматограф «Кристаллюкс-4000М» успешно состыкован с масс-спектрометрическим детектором «Маэстро-αМС». С тех пор хромато-масс-спектрометрами оснащаются криминалистические лаборатории, наркодиспансеры и др. медицинские учреждения. В составе хроматографа используются, наряду с автосамплером «ДАЖ-4000» собственной разработки, современные высокоточные автосамплеры компании НТА (Италия) для ввода не только жидких проб, но также равновесного пара и твердых образцов при помощи твердофазной микроэкстракции (SPME). С помощью фирмы «Витохром» и ее директора В. И. Резникова освоено изготовление насадочных колонок не только для собственных нужд, но и для других заказчиков.

В 2010 году компания «Росшельф», дочернее предприятие АО «Газпром», намеревалась производить промышленные газовые хроматографы под своей торговой маркой, и «Мета-хром» выиграл конкурс на разработку такого прибора. С 2008 по 2020 год был разработан и выпускался серийно промышленный потоковый хроматограф «Петрохром-4000» во взрывозащищенном исполнении для анализа



Одноканальная установка гидроочистки нефтяных фракций для снижения концентрации серо- и азотосодержащих соединений в товарных нефтепродуктах

природного газа. Совместно с заведующим кафедрой Самарского университета И. А. Платоновым «Мета-хром» начала подготовку к модернизации «Петрохром-4000» при помощи МЭМС-технологий.

Важное направление нашей деятельности – разработка и внедрение на базе газового хроматографа специализированных приборов для определения микропримесей в ракетном топливе и технологических газах, заправляемых в космические аппараты. Приборы установлены на космодромах «Байконур», «Восточный», а последние приборы для анализа топлив, технологических жидкостей и газов – всего, чем заполняется космическая ракета «Ангара», – на космодроме «Северный» в Плесецке.

Пример из другой области – анализ трансформаторного масла. Хорошо известно, что минеральное масло в высоковольтных трансформаторах – это не только электрический изолятор и охлаждающая жидкость, но и диагностическая среда. В случае возникновения, например, локальных дуговых разрядов, из масла выделяется водород. По его концентрации судят о техническом состоянии трансформатора, прежде всего изоляции его

обмоток. Для более точной диагностики анализируют содержание в масле и других газах. Однако сейчас разработан принципиально новый, прорывной метод на основе анализа содержания спиртов в трансформаторном масле. Он позволяет оценить степень повреждения бумажной изоляции, т. к. при ее термическом разложении в масло выделяются метанол и этанол. Их количество резко возрастает при интенсивном разрушении изоляции. Совместно с АО «Техническая инспекция ЕЭС» удалось найти стабильный и точный метод определения количества этих спиртов.

Второе направление деятельности фирмы – приборы для контроля качества и сохранения физических и химических свойств при хранении взрывчатых веществ и твердого ракетного топлива. Это измерительно-вычислительные комплексы «Вулкан-2005М» для испытания порохов и взрывчатых веществ. Прибор измеряет давление газов в замкнутой реакционной камере в изотермическом режиме. Этим комплексом оснащены едва ли не все пороховые заводы в России, а также некоторые предприятия в ближнем и дальнем зарубежье, включая Кубу, Индию, КНР.

Третье направление – разработка, изготовление, испытание и внедрение лабораторных и пилотных установок для моделирования каталитических процессов, как в неподвижном, так и псевдоожиженном слое катализатора, для изучения кинетических параметров активности, селективности катализатора при различных температуре, давлении, скорости потока; оценки пригодности для переработки различных видов сырья; степени истираемости катализаторов, работающих в режиме псевдоожижения. На сегодняшний день разработаны и выпускаются установки для моделирования процессов: гидроочистки, депарафинизации, риформинга, каталитического крекинга в псевдоожиженном слое, алкилирования, дегидрирования изобутана (этилбензола, изоамиленов), пиролиза пластиковых отходов, получения синтез газа, термокрекинга, термолиза, селективного гидрирования, гидротермального старения, испытаний на механическую прочность и истирание согласно методике ASTM D 5757-11, каталитического крекинга в псевдоожиженном слое катализатора (FCC – Fluid Catalytic Cracking), установки для определения так называемого СО-индекса активности катализатора по окислению СО до СО₂ в процессе FCC, установки тестирования микроактивности и селективности катализаторов (ACE – Advanced Cracking Evaluation), автоклавы различного объема и рабочего давления.

В настоящее время газовые хроматографы и промышленное оборудование эксплуатируются во множестве предприятий страны: ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «Газпром нефтехим Салават», ПАО «Татнефть», ПАО АНК «Башнефть», ПАО «Химпром», АО «Каустик», ПАО «СИБУР Холдинг», ПАО «Северсталь», ГК «ЕвроХим», АО «ГалоПолимер», Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов и др.

* * *

Итак, во времена перестройки из отдела разработчиков ОКБ приборов контроля и автоматики города Йошкар-Ола появились две компании – НПФ «Мета-хром» и СКБ «Хроматэк», которые наряду с созданием новых хроматографов и усовершенствованием ранее выпущенного оборудования, занимаются реализацией и внедрением выпускаемых приборов, а также их техническим обслуживанием. Сегодня фирмы «Мета-хром» и СКБ «Хроматэк» – это полномасштабные промышленные предприятия с полным технологическим циклом,

размещенные в собственных зданиях. Они являются ведущими в России предприятиями, выпускающими газовые хроматографы. Постоянная конкуренция между двумя фирмами способствует улучшению качества изготавливаемой продукции, а также повышению технологического уровня российских хроматографов.

Авторы / Authors

Астахов Александр Викторович, заместитель директора по науке, Научно-производственная фирма «Мета-хром», РФ, Республика Марий Эл, город Йошкар-Ола, ул. Баумана, 100. Область научных интересов: хроматография, масс-спектрометрия, аналитическое оборудование. Astakhov Alexander Viktorovich, Deputy Director for Science, Research and Production Company Meta-Chrome, Russian Federation, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, st. Bauman, 100. Area of scientific interests: chromatography, mass spectrometry, analytical equipment. Astahov-AV@meta-chrom.ru

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- * Высокая чувствительность и точность измерений
- * Полная автоматизация
- * Адаптация под любые задачи заказчика
- * Надежность и простота эксплуатации
- * Изучение и моделирование каталитических процессов
- * Лабораторные установки для нефтехимии



Хроматографический комплекс «Кристаллюкс-4000М»

ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- * Нефтегазопереработка и добыча
- * Химическая промышленность
- * Энергетика
- * Экология
- * Медицина
- * Сельское хозяйство
- * Пищевая промышленность
- * Криминалистика



Автоклав, предназначенный для моделирования различных химических процессов, протекающих при повышенных температурах и давлении

ООО «НПФ «Мета-хром»
424000, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Баумана, 100
Тел.: (8362) 42-49-97, 73-45-24, 42-22-66 | Факс: 42-49-97



Web: www.meta-chrom.ru
E-mail: m_chrom@mari-el.ru



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

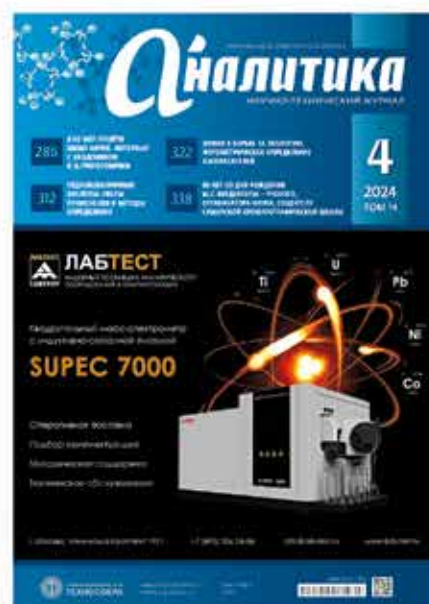
100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosfera.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru