

УДК 621.386

© И. А. Брытов, А. Н. Межевич

РЕНТГЕНОВСКИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ НПП «БУРЕВЕСТНИК»

Приводится обзор работ, выполненных НПП «Буревестник» совместно с академическими организациями.

Открытие рентгеновских лучей в 1895 году привело к развитию физических представлений о строении вещества. Русские учёные активно работали в области исследований физических проблем рентгеновского излучения.

Началом развития отечественной рентгенофизики и рентгентехники следует считать основание в 1918 году по инициативе профессоров А.Ф. Иоффе и М.И. Неменова Государственного рентгенологического и радиологического института с медико-биологическим и физико-техническим отделениями.

В конце 1921 года на базе физико-технического отдела был образован Физико-технический и рентгеновский институт, в задачи которого входило исследование рентгеновских лучей, строения вещества, электронных и магнитных явлений и выпуск физико-технических приборов.

В конце 1924 года в Петрограде была организована мастерская для сборки, наладки и ремонта рентгеновского импортного оборудования. В 1927 году производством рентгеновского оборудования стал заниматься механический завод Н. Бенуа, переименованный в дальнейшем в завод «Буревестник».

В 1928 году завод выпустил первый отечественный рентгеновский медицинский аппарат, не уступающий заграничным образцам. Одновременно на заводе «Светлана» было налажено производство рентгеновских трубок. В годы пятой пятилетки завод изготовил 3616 медицинских аппаратов и 800 установок для структурного анализа.

Начиная с 30-х годов, рентгеновский анализ широко применялся в различных областях науки и техники. Большой вклад в теорию и экспериментальную технику рентгенографии внесли советские учёные: Н.В. Белов, Г.В. Курдюмов, С.Т. Кобнеевский, Н.В. Агеев, Г.С. Жданов, Б.К. Вайнштейн, Я.С. Уманский, М.А. Блохин, И.Б. Боровский, Б.Я. Пинес, М.М. Уманский, Ю.С. Терминасов, В.А. Цукерман, М.И. Корсунский и многие другие [1].

Новым этапом в развитии отечественного рентгеновского приборостроения явилось создание в 1959 году Специального конструкторского бюро рентгеновской аппаратуры в Ленинграде.

СКБ РА было детищем Комиссии по рентгенографии АН СССР. Коллектив СКБ РА составили молодые выпускники Ленинградского государственного университета, Политехнического, Электротехнического и других институтов города.

Руководителем СКБ РА в самый плодотворный период его развития (1960–1980 годы) был Н.И. Комяк, значение деятельности которого трудно переоценить. Талантливый, энергичный и волевой учёный сумел создать творческий коллектив, обеспечить эффективное взаимодействие с академическими и другими научными организациями страны. Для молодого коллектива СКБ РА, сформированного из выпускников ленинградских вузов, определяющую роль сыграло участие учёных Института кристаллографии АН СССР, Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, ГОИ им. С.И. Вавилова, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ВСЕГЕИ, ИМЕТ, ИМАШ и ведущих вузов страны: Ленинградского Государственного университета, Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова и других вузов — в разработках широкой гаммы рентгеновских приборов, ранее в СССР не выпускавшихся. В свою очередь, разработки и производство приборов дали мощный импульс развитию фундаментальных и прикладных исследований в стране (рис. 1).

В 1964 году завод «Буревестник» прекратил выпуск медицинской рентгеновской техники и был полностью переведен на производство приборов для рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа.

В 1974 году в целях концентрации научного и производственного потенциалов по предложению Н.И. Комяка было создано Ленинградское научно-производственное объединение (ЛНПО) «Буревестник» в следующем составе: головная организация — СКБ РА, опытные заводы «Буревестник», «Красный Октябрь» (г. Одесса). Объединению также был подчинен завод «Научприбор» (г. Орел), специально построенный для производства новейших рентгеновских приборов (66 % мощности) и масс-спектрометров, в становлении которого ученые и инженеры СКБ РА сыграли решающую роль.

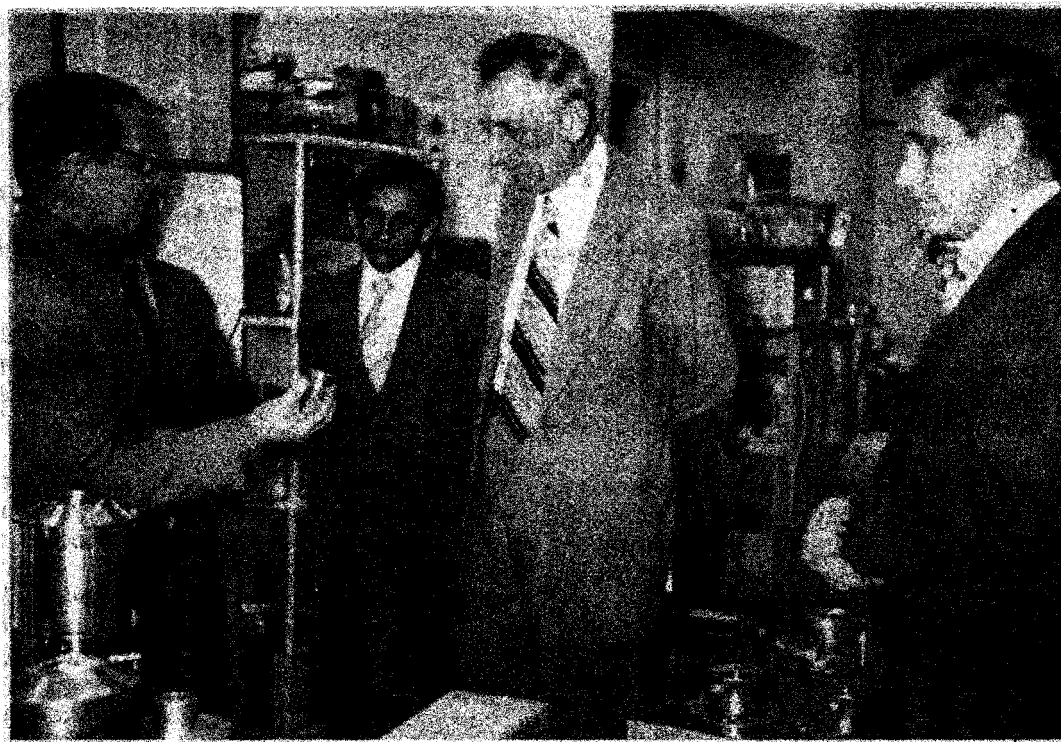


Рис. 1. В отделе рентгено-физических приборов, в центре академик А.М. Прохоров

С середины 60-х годов аппаратура предприятия вышла на мировой рынок. С тех пор экспортные поставки стали постоянной составляющей деятельности предприятия. Разработки новейшей рентгеновской аппаратуры для структурного и спектрального анализа проводились совместно с институтами Академии наук СССР.

Мощный комплекс научных и производственных сил, каковым являлось Объединение «Буревестник», почти полностью удовлетворял потребности страны в рентгеновской аналитической и промышленной технике; работая в содружестве с головными отраслевыми институтами (ГИПРОЦЕМЕНТ, ВИАСМ, МЕХАНОБР, ЦВЕТМЕТ-АВТОМАТИКА, ЦНИИАЧЕРМЕТ и др.), широко внедрял аппаратные комплексы для контроля технологических процессов на крупнейших предприятиях страны.

В 1978 году в состав ЛНПО «Буревестник» был включен Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторский институт (ВНИИНауч-прибор). Одновременно Объединению были переданы головные функции по ряду физико-химических направлений приборостроения. В 1980 году произошло объединение с НПО «Лентеплоприбор», и ЛНПО «Буревестник» было поручено решение специальных задач. В последующие годы внимание к развитию научного приборо-

строения было заметно ослаблено, и только с 1988 года объединение, вернувшись к первоначальному состоянию, вновь сосредоточило свои усилия на этом направлении.

В 1993 году Объединение преобразовано в акционерное общество открытого типа, Научно-производственное предприятие «Буревестник», в 1996 г. — в открытое акционерное общество.

Номенклатура рентгеновских приборов очень широка. В мире выпускается более 100 типов приборов (500 моделей) сотней крупных и мелких фирм. Приборы применяются как в фундаментальных исследованиях, так и при рутинных анализах в промышленности и других отраслях хозяйства.

Далее мы остановимся в основном только на приборах, разработанных с участием академических организаций и учебных институтов.

ПРИБОРЫ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Дифрактометры общего назначения

В конце 40-х и начале 50-х годов видные учёные И.Б. Боровский и М.М. Уманский оказали заводу существенную помощь в разработке новых

аппаратов для структурного анализа с ионизационной регистрацией УРС-50И и УРС-25И.

В начале 60-х годов в СКБ РА под научным руководством проф. МГУ М.М. Уманского и проф. Д.М. Хейкера был разработан рентгеновский дифрактометр общего назначения ДРОН-1. Гониометрическое устройство для дифрактометра было создано ЛОМО, специальные рентгеновские трубки разработаны и выпущены объединением «Светлана».

В последующие годы выпуск дифрактометров был доведён до 200–220 штук ежегодно. Каждые три–пять лет разрабатывалась следующая модель дифрактометра: ДРОН-3 (1979 г.), ДРОН-УМ-1 (1980 г.), АДП-1 (1981 г.), ДРОН-3М (1984 г.), АДП-2 (1987 г.), ДРОН-4 (1988 г.), ДРОН-5 (1993 г.), ДРОН-6 (1999 г.).

Всего было выпущено около 5000 единиц дифрактометров, которые работают практически во всех академических институтах страны, вузах и в ряде зарубежных стран.

Для оснащения дифрактометров общего назначения были разработаны и выпущены небольшими партиями высокотемпературные и низкотемпературные камеры (от -180 до $+2000^{\circ}\text{C}$), приставки для исследования синтетических волокон в диапазоне температур от -100 до $+500^{\circ}\text{C}$. Производство этих камер было позднее передано на ПО «Научприбор» (г. Орел).

Малоугловые камеры

Первая малоугловая камера КРМ-1 проходила опытную эксплуатацию в Московском физико-химическом институте им. Карпова. После этого была разработана группа приборов для малоугловых исследований КРМ, РКМП. Серийное производство было реализовано в Орловском объединении ПО «Научприбор». Совместно с СКБ ИКАН были разработаны и выпускались малоугловые дифрактометры ДРАМ-2.0. Для исследований биологических объектов по их дифракционным картинам, получаемым с синхротронными источниками, были разработаны совместно с Институтом Биофизики АН СССР (г. Пущино) и поставлены малоугловые дифрактометры ФРАКС и УМСЭ (1989 г.).

Специализированные дифрактометры

Совместно с ИК АН был разработан уникальный дифрактометр для исследования больших биологических кристаллов с системой большого числа локальных пропорциональных счётчиков ДАРК-2.0 (1979 г.) (рис. 2).

Для неразрушающего контроля металлоконструкций были разработаны приборы определения остаточных напряжений ДРН, РАДОН (1983 г.), ДАРН, ПРОН (1987 г.), ПРАДОН (1986 г.), РАКОН. Первый дифрактометр этой группы приборов разрабатывался под научным руководством профессора Ленинградского политехнического института Д.М. Васильева.

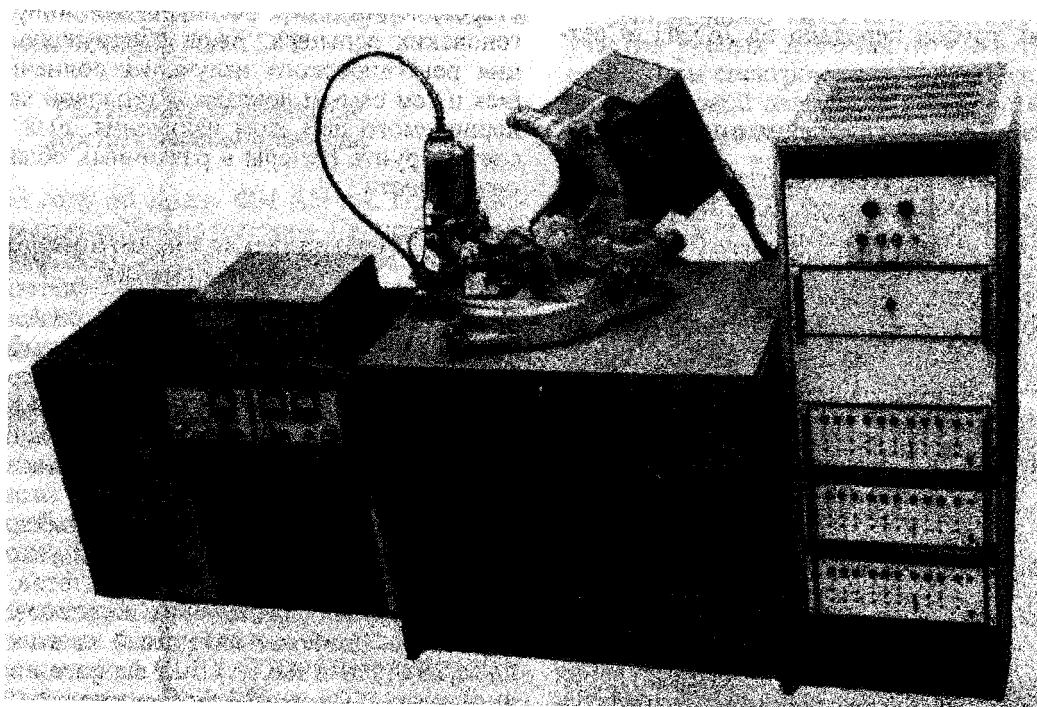


Рис. 2. Рентгеновский дифрактометр биологических объектов ДАРК-2.0

Монокристалльные дифрактометры

С Институтом кристаллографии и СКБ ИК АН в 1980 году был разработан высокоточный монокристалльный дифрактометр (ДАРЧ-2). Изготовленные приборы были поставлены в ИАЭ им. И.В. Курчатова и в Минский институт биофизики АН.

Для ориентации монокристаллических слитков и разбраковки монокристаллических пластинок были разработаны и поставлены институту ГИРЕДМЕТ специализированные дифрактометры РДР-201 (1988 г.). Для тех же целей в последние годы разработаны и выпущены автоматизированные разбраковщики пьезокварцевых пластин (АДР-5, АДР-6) высокой точности и высокой производительности.

Микрофокусные приборы

Выпуск микрофокусных аппаратов и рентгеновских микроскопов начинался под научным руководством Б.М. Ровинского и В.Г. Лютца (ИМАШ АН СССР). Рентгеновские микроскопы МИР-1 (1968), МИР-2 (1969 г.) и отпаянные микрофокусные рентгеновские трубки разработки СКБ РА были освоены производством на заводе «Буревестник». В дальнейшем производство рентгеновских микроскопов было передано на завод «Красный Октябрь» (г. Одесса), который ежегодно производил 80–120 штук приборов МИР-2 (1975 г.), МИКРОН-2, МИР-3, МИР-4 (1985 г.), МИР-5 (1991 г.). Производство микрофокусных рентгеновских трубок передано на ЛОЭП «Светлана».

Импульсные рентгеновские приборы

Разработки импульсных рентгеновских приборов связаны с именами проф. В.А. Цукермана и вице-президента РАН академика Г.А. Месяца. Импульсные рентгеновские приборы применялись, прежде всего, для изучения быстропротекающих процессов. В народном хозяйстве нашли применение простые и малогабаритные импульсные источники для дефектоскопии сварных швов трубопроводов и металлоконструкций. Всего было выпущено более десяти тысяч приборов этого типа. Импульсные приборы поставлялись в Англию, Нидерланды, Японию и другие страны.

Детекторы рентгеновского излучения

После запуска первого спутника в нашей стране были начаты научно-исследовательские работы по спектрометрии рентгеновского излучения в космосе. Эти работы потребовали разработки специальных детекторов. За время с 1965 г. по 1985 г. в НПО «Буревестник» были проведены исследования и создано около 15 моделей детекто-

ров для измерения рентгеновского излучения в космосе, около 600 штук экспериментальных образцов было изготовлено и поставлено заказчику. Эти изделия использованы в 10 космических экспериментах.

Газовые пропорциональные счётчики для космических исследований разделяются на три группы: детекторы для исследований галактических и внегалактических источников, детекторы для установки в фокусе рентгеновских телескопов и датчики рентгенорадиометрического анализа грунта космических тел солнечной системы.

Детекторы первой группы должны иметь как можно большую чувствительную поверхность и минимальный фон. Они работали, например, на «Луноходе-1» (СРПО-30, площадь окна 10 см², ФИАН, 1966 г.), «Астроне» (СРПО-304, площадь окна 150 см², ИКИ АН, 1980–1985 гг.), «Гранате» (МПК-С, площадь окна 500 см², ИКИ АН, 1988 г.).

У детекторов второго и третьего типа чувствительная поверхность весьма мала, однако, условия работы очень жесткие: удароустойчивость на уровне 100 g (СРПО308, «Вега-1», «Вега-2», ГЕОХИ АН), рабочие температуры от –10 до +70°C. Основная трудность при создании этих типов детекторов — разработка герметичного и прочного входного окна для регистрации мягкого рентгеновского излучения с энергией 0,2 кэВ.

Созданные детекторы позволили получить ценную научную информацию по интенсивностям и спектральному распределению рентгеновского излучения звёзд, рентгеновскому излучению барстеров, чёрных дыр, исследованию кинетики рентгеновских вспышек. Была обнаружена поляризация рентгеновского излучения солнечных вспышек и тем самым доказан нетепловой характер генерируемого при этом излучения. Был определён состав грунта Венеры в различных областях на её поверхности.

Рентгеновская аналитическая спектроскопия

В 60-х годах с участием М.А. Блохина, К.И. Нарбута и М.А. Румша были созданы коротковолновый сканирующий спектрометр ФРС-2 и полуавтоматический квантометр ФРК-1Б. Эти приборы успешно использовались многими научно-исследовательскими и промышленными предприятиями страны.

Комплекс научно-исследовательских и конструкторских работ, проведённый с участием Ростовского и Иркутского университетов, позволил создать ряд многоканальных рентгеновских спектрометров. Наиболее известный из этих приборов СРМ-18 (1976–1986 гг.) был выпущен в количестве около 200 шт. Многоканальный анализатор пульсы СРМ-13 (1976 г.) выпущен в количестве 50 штук (рис. 3). В дальнейшем эти приборы были

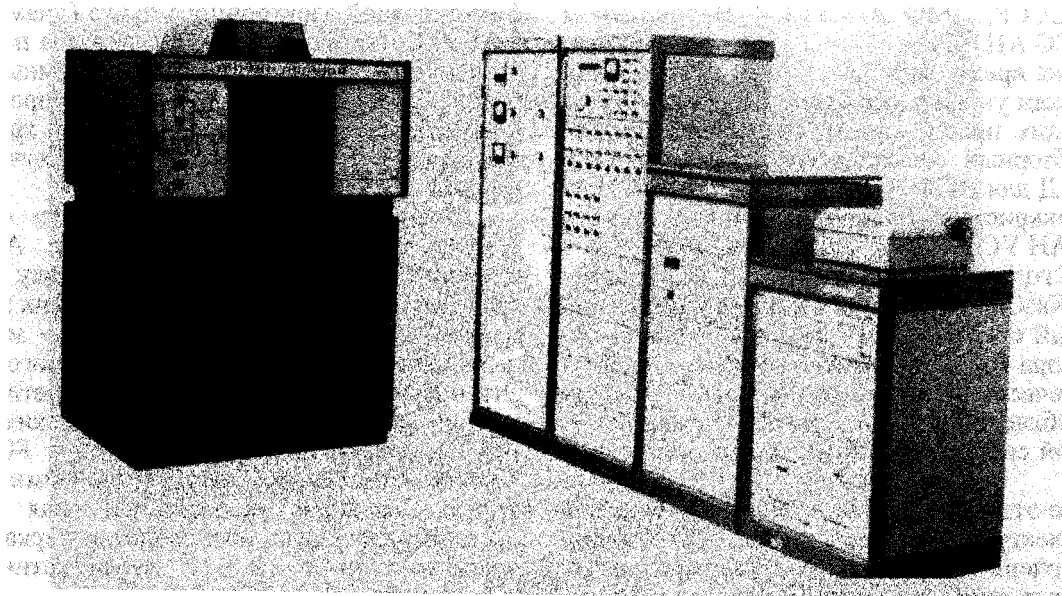


Рис. 3. Многоканальный рентгеновский спектрометр СРМ-18

модернизированы и их серийное производство было передано на ПО «Научприбор», который выпустил более 1000 шт. приборов данного класса.

В разработке методик и программного обеспечения для этих автоматизированных приборов принимали участие учёные НИИ Прикладной физики ИГУ, Ростовского ГУ, Института общей и неорганической химии АН СССР.

Рентгеноспектральные прецизионные приборы

В 1963 году по заказу ФИ АН им. П.И. Лебедева совместно с Ленинградским ГУ под руководством проф. А.П. Лукирского были разработаны монохроматоры для мягкого и ультрамягкого рентгеновского излучения РМС-18 и РСМ-500. Впервые были созданы приборы для работы в вакуумной области рентгеновского спектра. Эти приборы предназначались для калибровки детекторов по программе изучения Солнца.

Специально для таких приборов в ГОИ им. Вавилова были разработаны дифракционные решетки, работающие при скользких углах падения и имеющие высокое разрешение и эффективность.

Спектрометр-монохроматор непрерывно совершенствовался и выпускался для нужд академических организаций СССР, ГДР, ПНР, ВНР, СРР, ЧССР и Финляндии. Всего было выпущено более 40 приборов. До появления этого прибора у нас в стране не существовало приборов для абсолютных измерений в диапазоне мягкого рентгеновского

излучения различными методами: эмиссионной спектроскопии, спектроскопии квантового выхода, спектроскопии поглощения и отражения. Освоение синхротронного излучения в спектральном диапазоне 10–500 Å начиналось с использования этого прибора.

По заданию ИАЭ им. И.В. Курчатова и при участии учёных этого института в 1970 году был разработан спектрометр для диагностики высокотемпературной плазмы. Возможность регистрации излучения в широком интервале длин волн (0,1–400 нм) с помощью различных детекторов, высокая светосила и спектральное разрешение, удобство сопряжения с высоковакуумными объёмами позволили использовать этот прибор на плазменных установках различного типа («Токомак», «Плазменный фокус» и др.). Полученные при этом экспериментальные данные позволили исследовать механизмы миграции примесей на установках «Токомак» и тем самым углубить понимание протекающих в плазме процессов. На установках «Плазменный фокус» с помощью этого прибора изучался процесс гидродинамической компрессии плазменных потоков. За несколько лет было выпущено 10 таких приборов.

Совместно с ИНХ СО АН СССР в 1987 году был разработан рентгеновский вакуумный флуоресцентный спектрометр САРФ-1. Прибор предназначен для изучения тонкой структуры рентгеновских спектров в области 0,2–9 нм. Было выпущено 8 таких установок, из них 4 были экспортированы в научные организации ВНР, ГДР, Финляндии.

В нашей стране они успешно работают в ИФМ УрО АН СССР, ИМФ АН УССР, Воронежском ГУ, ИНХ СО АН СССР.

В это же время были разработаны и поставлены заказчикам уникальные единичные экземпляры рентгеновских прецизионных спектрометров, например, обзорный спектрометр для диагностики плазмы РАД для ИПФ АН СССР (г. Нижний Новгород), трехкристальный вакуумный спектрометр для ИМФ АН УССР и ряд других приборов

В 1974 году совместно ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ИАЭ АН КазССР был разработан рентгеновский электронный спектрометр СЭР-1 на основе энергоанализатора «цилиндрическое зеркало». Это был первый отечественный прибор в новой по тому времени области физических исследований — электронной спектроскопии для химического анализа.

На базе этой разработки в 1987 году был создан Оже-электронный спектрометр ЭСО-3, обладавший очень высокими характеристиками (рис. 4). Этот прибор разрабатывался в кооперации с немецкими специалистами, которые создали для него вакуумную установку, и с венгерскими учёными, разработавшими вторично-эмиссионный масс-спектрометр, для совместного применения с Оже-спектрометром. Было выпущено около 30 таких установок, половина из них была экспортирована.

В конце 80-х годов была закончена разработка

нового растрового Оже-спектрометра с магнитной фокусировкой электронного пучка (диаметр менее 0,5 мкм). Два изготовленных прибора поставлены и эксплуатируются в Институте атомных реакторов в Димитровграде. Дальнейшее производство и разработки были прекращены из-за кризиса, охватившего страну и, прежде всего, научные организации.

Сотрудники НПО «Буревестник» совместно с Институтом прикладной физики АН СССР (Нижний Новгород) создали установку для изготовления и проверки новых оптических элементов мягкого рентгеновского диапазона — многослойных рентгеновских зеркал нормального падения. Эти новые оптические элементы — детище современной микронной и оптических технологий — начали развиваться в конце 80-х годов. Теория этих зеркал развита учёными ФИ АН СССР. Созданная экспериментальная установка использовалась для производства зеркал рентгеновского диапазона в НПО «Буревестник», затем передана в ИПФ АН СССР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентгеновское приборостроение сравнительно стабильно развивалось в годы, предшествующие перестройке. Ежегодно для нужд научных организаций и совместно с ними в НПО «Буревестник»

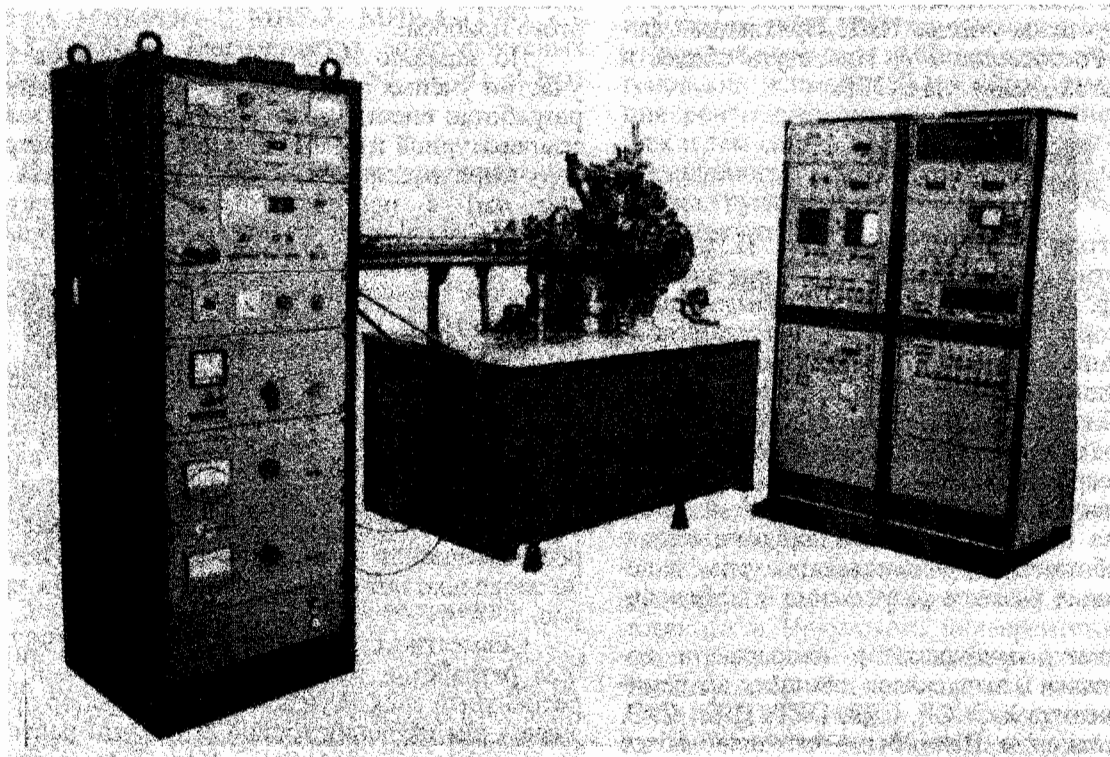


Рис. 4. Спектрометр электронов Оже (ЭСО-3)



Рис. 5. На церемонии выпуска 1000-го рентгеновского люминесцентного сепаратора алмазов (23.02.1999 г.) И.И. Клебанов — Заместитель председателя Правительства, А.Н. Межевич — Генеральный директор НПП «Буревестник»

разрабатывалось в год по 5–7 новых приборов для научных исследований. Десятки серийных приборов ежегодно поставлялись учреждениям Академии наук СССР.

В настоящее время критическое состояние в науке сместило центр тяжести проводимых работ, но не "задушило" их вовсе: рис. 5 свидетельствует о продолжающейся работе. Предприятие, в первую очередь, ориентируется на платежеспособный спрос. Поставки учреждениям Российской Академии наук сократились в десятки раз и исчисляются единицами в год.

Отсутствие современных приборов для фундаментальных исследований в области физики, химии, биологии, материаловедения, безусловно, отрицательно скажется на развитии отечественной науки.

Предприятие "Буревестник" стремится сохранить научно-технические связи с научными учре-

ждениями. Откликается на нужды тех из них, кто испытывает нужду в обновлении приборной базы. Мы надеемся, что Правительство РФ обратит внимание на бедственное положение с научным приборостроением и примет необходимые меры по восстановлению научного производственного потенциала, обеспечивающего потребности науки и промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комяк Н.И.* Аппаратура и методы рентгеновского анализа. // Сб. статей ЛНПО «Буревестник». Вып. 24. Л.: Машиностроение, 1980. С.4.

Научно-Производственное предприятие «Буревестник», Санкт-Петербург

Материал поступил в редакцию 10.11.99.

X-RAY ANALYTICAL INSTRUMENTS FROM SCIENTIFIC PRODUCTION ASSOCIATION BUREVESTNIK

I. A. Brytov, A. N. Mezhevich

"Burevestnik", Saint-Petersburg

The paper is a survey of projects executed at BUREVESTNIK together with academic institutions.