

Радиометрический комплекс в составе самолета-лаборатории Як-42Д "Росгидромет"

Приведены описание и результаты испытаний радиометрического комплекса, установленного на борту самолёта-лаборатории Росгидромета.

Ключевые слова: самолет-лаборатория, заборник аэрозольный, дозиметр, гамма-спектрометр.

С.М.Вакуловский, Ф.А.Андреев, А.О.Епифанов, В.А.Малышев, А.В.Новиченков. (Федеральное государственное бюджетное учреждение «НПО «Тайфун», г.Обнинск Калужской обл.)

Введение. Самолет-лаборатория создан для геофизического мониторинга атмосферы и подстилающей поверхности на базе самолета Як-42Д (рис.1.1). Научное оборудование, размещенное на самолете, представляет собой семь аппаратно-программных комплексов, позволяющих получить оперативную информацию практически по всем разделам физики и химии атмосферы. Комплексы передают информацию на общий сервер, на котором она хранится и при необходимости может передаваться на землю.

Одним из таких комплексов является радиометрический комплекс (АПК-4), предназначенный для мониторинга содержания радионуклидов естественного и искусственного происхождения в атмосфере и радиоактивного загрязнения местности.

1. Радиометрический комплекс.

1.1. Состав радиометрического комплекса. Установленное на самолете-лаборатории Як-42Д «Росгидромет» оборудование из состава радиометрического комплекса обеспечивает возможность проведения отбора проб аэрозо-



Рис. 1.1. Вид на правый борт самолёта-лаборатории Як-42Д "Росгидромет".

лей на фильтр, выполнения радиометрических, дозиметрических и гамма-спектрометрических измерений. Перечень базового оборудования, входящего в состав комплекса, приведен в табл. 1.1.

Оборудование с помощью специализированного программного

обеспечения объединяется в единый аппаратно-программный комплекс АПК-4, который производит в реальном масштабе времени регистрацию полученных данных и их передачу в единый резервированный архив самолета-лаборатории.

Табл. 1.1. Состав базового оборудования радиометрического комплекса.

Наименование	Шифр (обозначение)	Кол-во
1. Дозиметр ДМГ-01 ЗИП: - Дозиметр ДМГ-01	ИЛАН.412111.001 ИЛАН.412111.001	1 1
2. Гамма-спектрометр высокого энергетического разрешения (спектрометр)	ИЛАН.416653.001	1
3. Заборник аэрозольный "Вега-1М"	ИЛАН.632731.001	1
4. Радиометрическая установка "РУС-2Б"	ИЛАН.412122.001	1
5. Радиометр нейтронов в составе: - UMo LB 123 - Neutron probe LB 6411		1 1

1.2. Структура радиометрического комплекса (АПК-4). Структурно оборудование радиометрического комплекса подразделяется на:

- Пробоотборное (заборник аэрозольный «Вега-1М»);
- Радиометрическое (радиометрическая установка «РУС-2Б», радиометр нейтронов LB 123 N фирмы Berthold);
- Дозиметрическое (дозиметр ДМГ-01);
- Спектрометрическое (гамма-спектрометр высокого энергетического разрешения);
- Вспомогательное (подставка-крепёж под детекторы БДЗА-96Б, пеналы под фильтры);
- Рабочие места операторов АПК-4 на стойке приборной №5 – РМО 4.1 и РМО 4.2, на стойке приборной №9 – РМО 4.3.

Структурная схема экспериментального образца радиометрического комплекса, размещенного на самолете-лаборатории Як-42Д «Росгидромет», приведена на рис.1.2.

Обозначения:

- 1) "Вега-1М" – заборник аэрозольный "Вега-1М";
- 2) Шлюзовой заборник – шлюзовой заборник аэрозолей ИЛАН.306243.001;
- 3) вариант 1: МВ-22 – в качестве расходомера используется комплекс для измерения параметров воздушного потока МВ-22;
- вариант 2: диафрагма и УС-200 – расход воздуха через шлюзовой заборник определяется с помощью нормальной диафрагмы, перепад давления на которой измеряется указателем скорости УС-200.
- 4) ПУ "Вега-1М" – пульт управления шлюзового заборника;
- 5) "РУС-2Б" – радиометрическая установка "РУС-2Б";
- 6) ДКС-96-07 – дозиметр-радиометр ДКС-96 с пультом типа УИК-07;
- 7) БДЗА-96Б – блок детектирования α -частиц БДЗА-96Б;
- 8) УИК-07В – используемый тип пульта управления для дозиметра-радиометра ДКС-96;
- 9) КК-2-6В – клеммная коробка;
- 10) БП-06В – блок питания (также играет роль преобразователя интерфейса);
- 11) ПК АПК-4 – промышленный компьютер радиометрического комплекса;
- 12) АПК-1 – промышленный компьютер навигационного комплекса;
- 13) БИВК – бортовой инженерно-вычислительный комплекс;
- 14) Berthold – радиометр нейтронов LB 123 N фирмы Berthold;

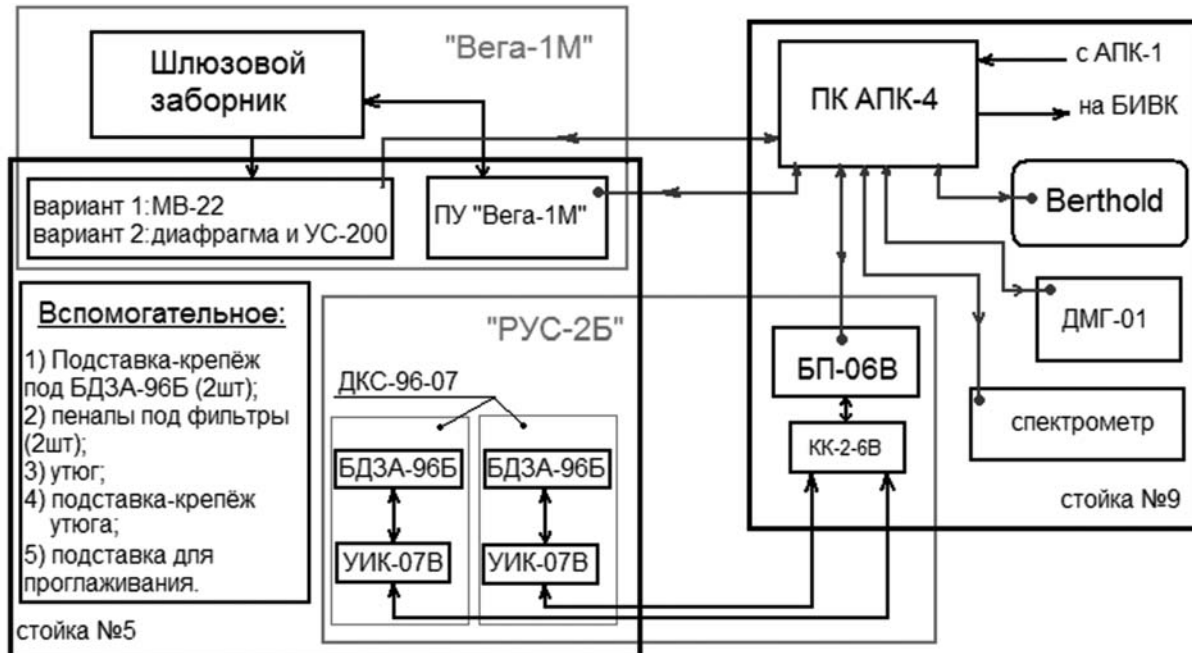


Рис. 1.2. Структурная схема радиометрического комплекса (АПК-4).

15) ДМГ-01 – дозиметр ДМГ-01;

16) спектрометр – гамма-спектрометр высокого энергетического разрешения.

Оборудование радиометрического комплекса размещено на двух рабочих стойках, расстояние между которыми около десяти метров. Комплекс в полете обслуживают три оператора. Один из операторов отвечает за работу со шлюзовым заборником. Он готовит фильтры к установке в заборник, производит смену фильтров в заборнике, контролирует процесс отбора пробы на фильтр. Второй оператор отвечает за подготовку проэкспонированного фильтра к измерениям на радиометрической установке «РУС-2Б», производит измерения поверхностной α -активности фильтров, установку требуемых режимов обмена информации с ПК АПК-4, их контроль и корректировку. Третий оператор отвечает за работу гамма-спектрометра, дозиметра ДМГ-01, радиометра нейтронов LB 123N.

Можно отметить, что для обеспечения непрерывности измерений содержания аэрозолей в атмосфере работа по отбору проб ведется с использованием двух фильтродержателей (пока один в работе – установлен в шлюзовую заборник, в другой оператор заряжает фильтр). Для повышения точности измерений программно проводится синхронизация «внутренних» часов измерительного оборудования комплекса АПК-4 с «бортовым» временем.

Для работ с комплексом АПК-4 разработан пакет эксплуатационной документации, в котором приведены данные о его составе, технических характеристиках и правилах эксплуатации.

1.3. Пробоотборное оборудование. Заборник аэрозольный «Вега-1М» представляет из себя систему пробоотборного и измерительного оборудования, предназначенного для эксплуатации на самолете-лаборатории Як-42Д «Росгидромет», которое обеспечивает проведение отбора проб аэрозолей на фильтры Петрянова с возможностью автоматической передачи информации параметров отбора в память промышленного компьютера радиометрического комплекса.

Пробоотборное оборудование заборника аэрозольного «Вега-1М» представлено шлюзовым заборником аэрозолей ИЛАН.306243.001 (далее – шлюзовой заборник), разработанного на основе шлюзового заборника, описание и результаты работы которого приведены в [1]. Шлюзовой заборник (рис.1.3.2) предназначен для

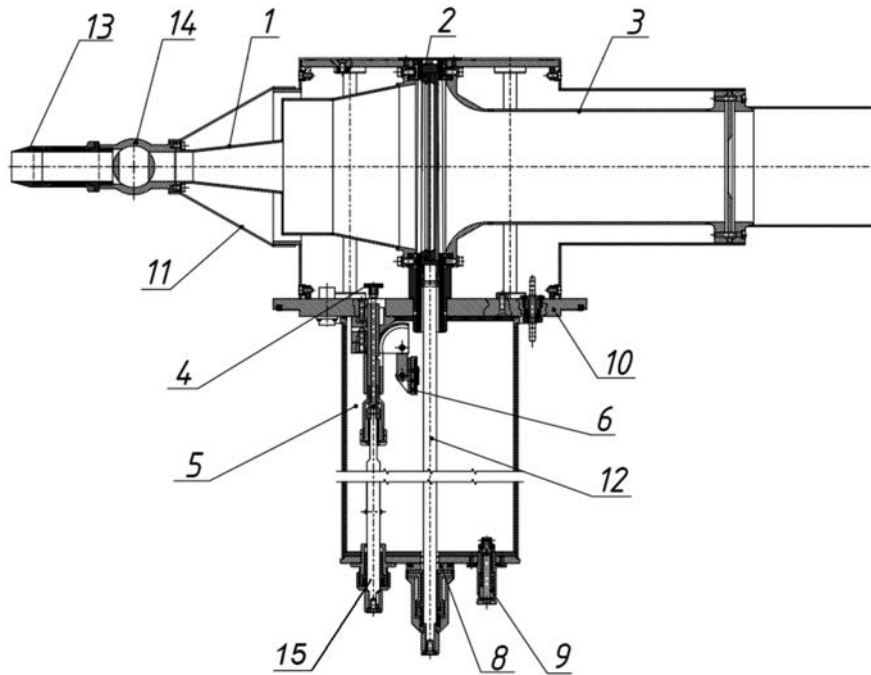


Рис. 1.3.1. Шлюзовой заборник аэрозолей "Вега-1М".



Рис. 1.3.2. Фото проточной (слева) и шлюзовой части шлюзового заборника аэрозолей "Вега-1М".

Табл. 1.3. Ожидаемые массовые расходы (кг/мин) через заборник "Вега-1М".

Н, м	V = 360 км/ч	V = 750 км/ч
100	6,6	14,0
2000	5,5	11,5
5000	4,0	8,4
9000	2,5	5,4

отбора проб аэрозолей на фильтр/пакет фильтров Петрянова (далее – ФПП) за счет скоростного напора воздуха, возникающего при полете самолета Як-42Д (табл.1.3).

Шлюзовой заборник, в соответствии с рис.1.3.1, состоит из входного диффузора 1; кассеты 2 с фильтром; воздуховода 3; клапана 4, служащего для выравнивания давления между шлюзовой камерой и внешней атмосферой, а также для отсечения шлюзовой камеры от внешней атмосферы; шлюзовой камеры 5; крышки 6, отсекающей шлюзовую камеру от внешней атмосферы; штока крышки 15, служащего для перемещения крышки 6 и фиксации клапана 4; крышки кассеты 8 со штоком кассеты 12; клапана 9, выравнивающего давление между камерой и салоном самолета; базовой плоскости 10 и обтекателя 11. Для защиты от обледенения входной кромки диффузора шлюзового заборника аэрозолей предусмотрен нагреватель 13, а для предотвращения срыва и повреждения фильтра в кассете в момент установки кассеты в рабочее положение либо в момент ее извлечения предусмотрена задвижка 14 на входном участке воздуховода заборника. Шлюзовой заборник монтируется на заглушке, вставляемой в оконный проем самолета Як-42Д. Герметизация в местах соединений обеспечивается резиновыми прокладками. Пробы отбираются на фильтр ФПП с диаметром рабочей части 190 мм. Вес шлюзового заборника составляет 35 кг, общая длина 1000 мм. Прокачка воздуха осуществляется за счет скоростного напора, возникающего при полете самолета. Расход воздуха через шлюзовой заборник определяется с помощью нормальной диафрагмы, перепад давления на которой измеряется указателем скорости УС-200.

На данный момент экспонируемые в шлюзовом заборнике фильтры в течение 2–3 минут по завершении отбора начинают измеряться на установке радиометрической «РУС-2Б» для получения данных, используемых для оценки объемной активности Rn-222. Также предусмотрена возможность размещать проэкспонированные фильтры под детектором гамма-спектрометра высокого энергетического разрешения.

1.4. Радиометрическое, дозиметрическое и спектрометрическое оборудование.

- Установка радиометрическая «РУС-2Б»;
- Дозиметр ДМГ-1;
- Радиометр нейтронов LB 123 N фирмы Berthold.

Установка радиометрическая «РУС-2Б» (далее «РУС-2Б») создана на базе универсальной блочной радиометрической установки (далее «УБРУ», см.рис.1.4.1.), которая предназначена для решения различных задач при радиометрических и дозиметрических измерениях, в том числе для измерения удельной α -активности

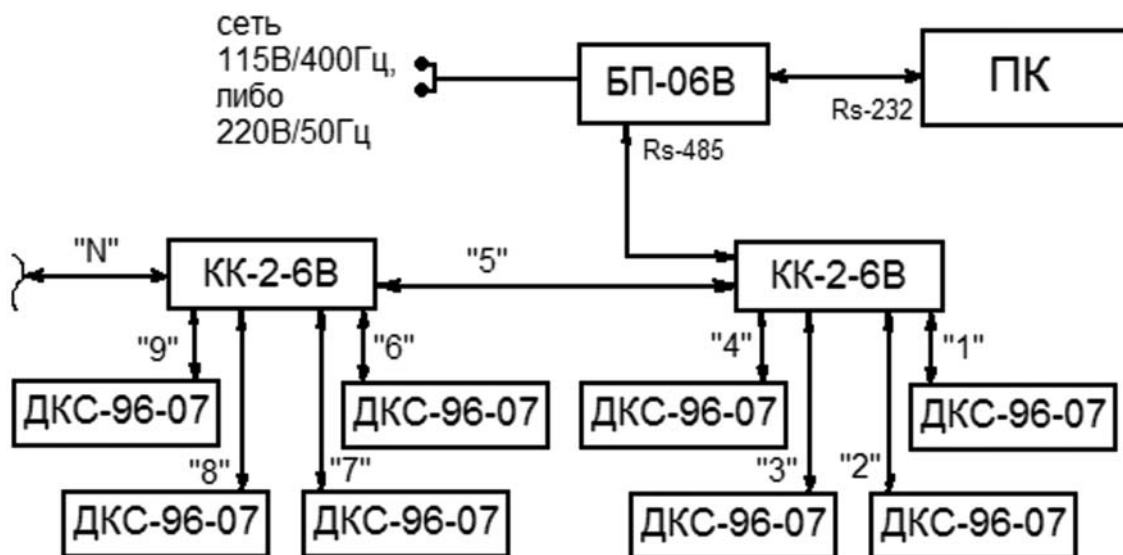


Рис. 1.4.1. Принципиальная схема универсальной блочной радиометрической установки.
Обозначения: ДКС-96-07 – дозиметр-радиометр ДКС-96 с пультом УИК-07, БП-06В – блок питания, КК-2-6В – клеммная коробка, "N" – номер канала, ПК – промышленный компьютер.



Рис. 1.4.2. Фото установки радиометрической "РУС-2Б".



Рис. 1.4.3. Дозиметр ДМГ-01.



Рис. 1.4.4. Радиометр нейтронов LB 123 N фирмы Berthold.



Рис. 1.4.5. Компонетка гамма-спектрометра высокого энергетического разрешения и радиометра нейтронов LB 123 N фирмы Berthold на амортизационной раме.

продуктов распада Rn-222.

«УБРУ» имеет возможность:

- решать различные задачи, т.к. есть возможность подключать блоки детектирования различных типов;
- передавать и записывать данные измерений на жесткий диск компьютера в процессе проведения измерений;
- записывать данные измерений в энергонезависимую память;
- работать без подключения к компьютеру;
- поддерживать работу с не менее чем десятью пультами УИК-07 с блоками детектирования различных типов.

В состав «РУС-2Б» входят:

- 2 дозиметра-радиометра ДКС-96, каждый из которых укомплектован пультом измерительным УИК-07 и блоком детектирования БДЗА-96Б;
- блок питания БП-06В, клемная коробка КК-2-6В, комплект кабелей, вспомогательное оборудование.

Фото установки представлено на рис.1.4.2.

Дозиметр-радиометр ДКС-96-07 со сцинтиляционным блоком детектирования БДЗА-96Б является стационарным средством измерения и предназначен для:

- измерения плотности потока альфа-частиц с поверхности счетных образцов;
- накопления, хранения и передачи результатов измерений в персональный компьютер по запросу специального программного обеспечения «Turhoon_Aero».

На самолете «РУС-2Б» функционирует совместно со специальным программным обеспечением «Turhoon_Aero», но также может работать и без подключения к компьютеру. Данные, получаемые от «РУС-2Б», используются для расчета удельной активности Rn-222.

Дозиметр ДМГ-01 предназначен для определения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения с целью оперативного получения данных о радиационной обстановке в атмосфере или на местности.

Табл.1.5. Перечень измерительной аппаратуры, характеристик и измеряемых первичных параметров радиометрическим комплексом.

Измерительное оборудование и системы	Регистрируемый параметр	Диапазон изменения	Погрешность	Интерфейс передачи данных
1. Заборник аэрозольный "Вега-1М"	Момент времени начала и завершения отбора	От 00:00:00 до 23:59:59	± 1 с	RS-232 Частота передачи данных – 1 отсчет в с
	Скорость потока в выходном трубопроводе заборника	от 0 до 200 км/ч	± 10 км/ч	
2. Установка радиометрическая "РУС-2Б"	Момент времени начала и завершения измерения	От 00:00:00 до 23:59:59	± 1 с	RS-232 Частота передачи данных – 1 отсчет в с
	Импульсы	От 0 до $3,6 \cdot 10^6$ имп.	± 20 %	
	Скорость счёта	от 0 до $6 \cdot 10^5$ имп./мин	± 20 %	
3. Дозиметр ДМГ-01	Мощность экспозиционной дозы γ -излучения	от 10^{-8} до 1,0 Гр/ч	± 10 %	RS-485 Частота передачи данных – 1 отсчет в с
4. Радиометр нейтронов LB 123 N	Мощность поглощенной дозы n-излучения	от 10^{-8} до 0,1 Зв/ч	Эффективность регистрации нейтронов с энергиями от 50 кэВ до 10 мэВ ± 40 %	
5. Гамма-спектрометр высокого энергетического разрешения	Гамма-спектр	Коэффициент преобразования устанавливается программно и составляет 16384, 8192, 4096, 2048, 1024 или 512 каналов	Энергетическое разрешение по линии 1,332 мэВ – 1,85 кэВ. Эффективность регистрации по линии 1,332 мэВ – не менее 40 %	USB 2.0 Частота передачи данных – 1 отсчет в с

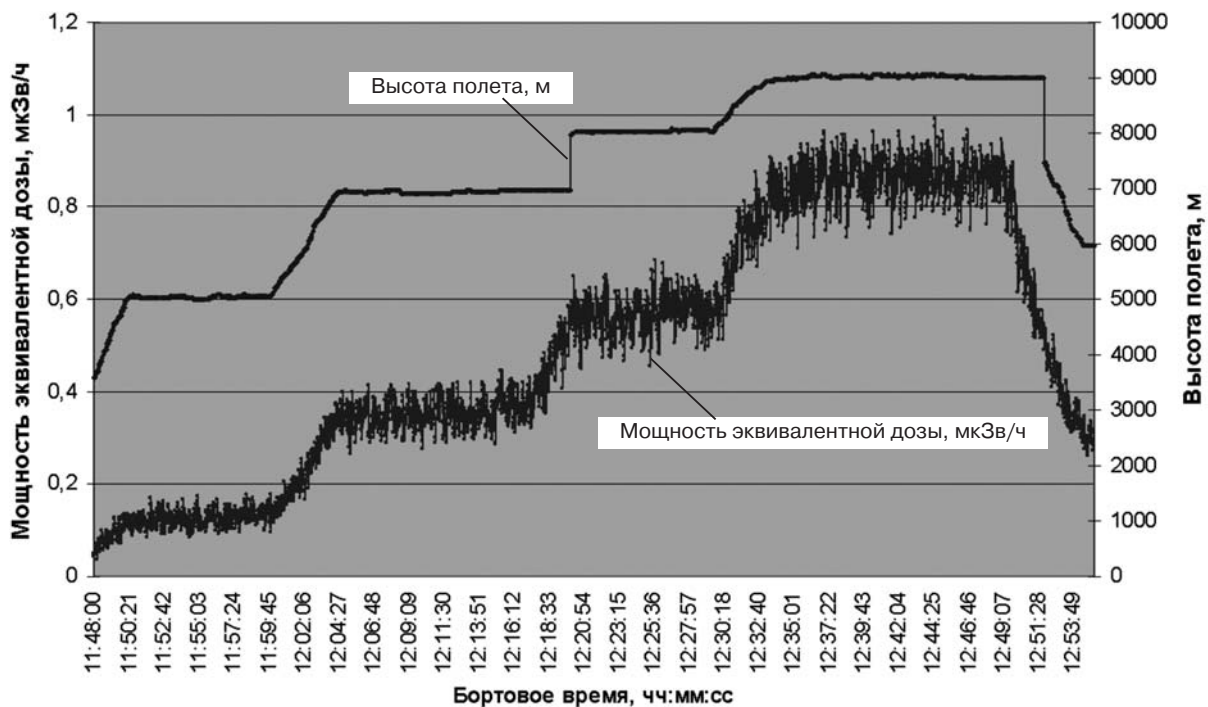


Рис.2.1. Зависимость мощности эквивалентной дозы, создаваемой космическим излучением, от высоты полета с привязкой к бортовому времени.

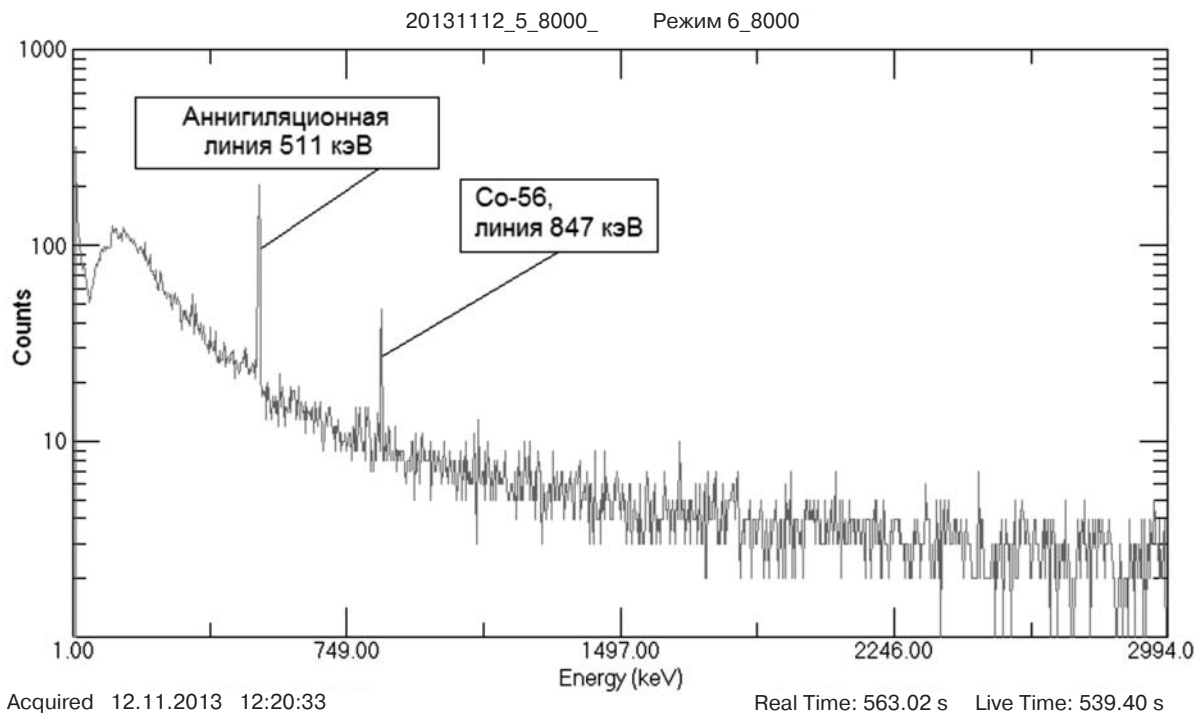


Рис.2.2. Гамма-спектр на высоте 8 км.

Дозиметр ДМГ-01 (рис.1.4.3.) используется для решения следующих задач:

- контроль источников поступления радиоактивных продуктов в окружающую среду;
- поиск локальных зон радиоактивного загрязнения и источников ионизирующего излучения.

По предложению ФГБУ "ИПГ" в состав АПК-4 включен радиометр нейтронов LB 123 N фирмы Berthold (рис.1.4.4.), который планируется использовать для измерения потоков нейтронов космического происхождения.

Спектрометрическое оборудование представлено гамма-спектрометром высокого энергетического разрешения (далее – спектрометр).

Спектрометр (рис.1.4.5.) предназначен для экспрессного определения плотности загрязнения подстилающей поверхности техногенными гамма-излучающими радионуклидами и анализа проб аэрозолей на борту самолета-лаборатории Як-42Д.

В состав спектрометра входят:

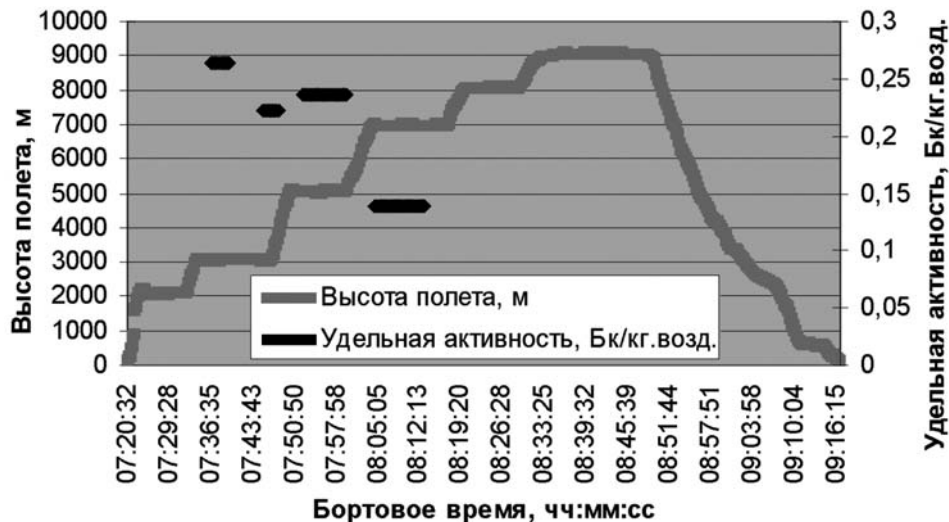


Рис.2.3. Результаты мониторинга удельной активности Rn-222 по его α -активным дочерним продуктам распада.

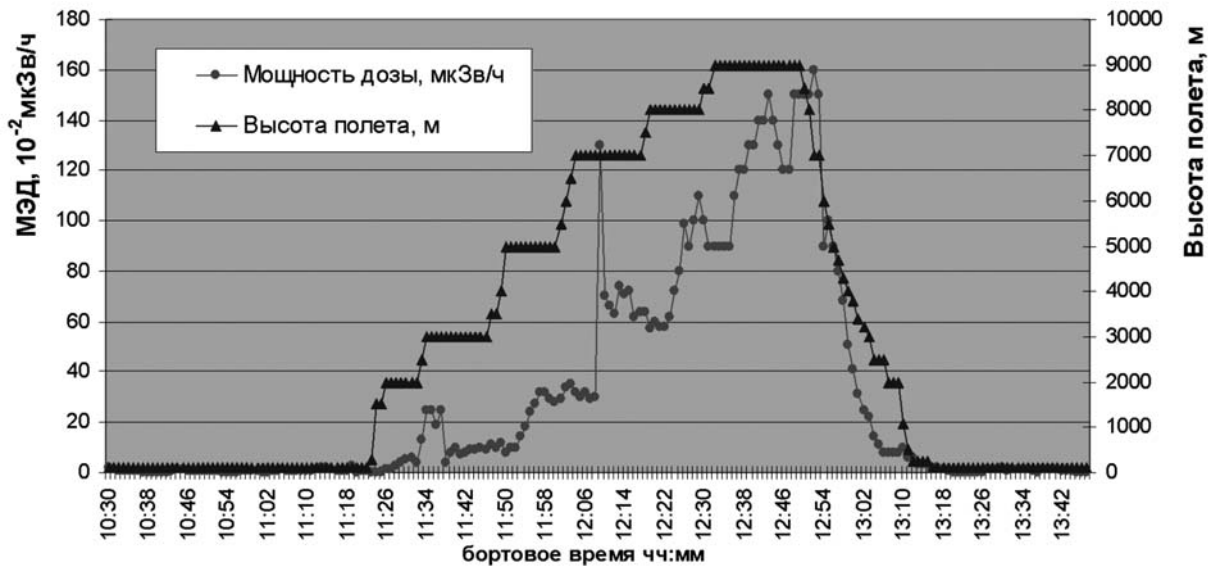


Рис.2.4. Зависимость мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения от высоты полета с привязкой к бортовому времени.

- коаксиальный детектор из сверхчистого германия для измерения гамма-излучения Model GEM40-76, СМР, включая криостат с дьюаром на 5 литров портативный, неразъемный;
- многоканальный анализатор Model DSPes Pro (МКА);
- программный пакет управления анализатором MAESTRO-32 for Windows;
- программа спектрометрического анализа гамма-спектров Gamma Vision-32;
- библиотека радионуклидов C53-B32 Nuklide Navigator III;
- экран-коллиматор для ОЧГ-детектора Э.3050.001.

1.5. Измеряемые радиометрическим комплексом параметры и их характеристики. Перечень измеряемых аппаратно-программным комплексом АПК-4 первичных параметров приведен в табл.1.5.

2. Результаты испытаний АПК-4. В ноябре 2013 г. были проведены официальные приемо-сдаточные испытания самолета-лаборатории Як-42Д «Росгидромет». Заключительным этапом испытаний являлся полет по программе, предусматривающей проверку работоспособности оборудования на различных высотах в условиях совместной работы всех аппаратно-программных комплексов. Полет проводился над территорией Московской области. Далее представлены результаты, полученные на основе измерений, проводимых радиометрическим комплексом в полете.

2.1. Результаты измерений дозиметра ДМГ-01. Представлены на рис.2.1.

2.2. Результаты измерений гамма-спектрометра высокого энергетического разрешения. Представлены на рис.2.2.

2.3. Результаты мониторинга по данным измерений заборника аэрозольного «Вега-1М» и установки радиометрической «РУС-2Б». Методика измерения проэкспонированных фильтров приведена в работе [1]. Расход воздуха через шлюзовую заборник определялся с помощью нормальной диафрагмы, перепад давления на которой измерялся указателем скорости УС-200. Объем прокаченного через фильтр воздуха рассчитывался по формуле, которая получена из известного выражения [2] путем подстановки конкретных параметров расходомера. При определении массового расхода воздуха также вносилась необходимая поправка, учитывающая высоту отбора пробы. Расчет проводился по методике определения объемной активности Rn-222 по короткоживущим продуктам распада в предположении их равновесия с радоном-222 [3] (рис.2.3).

2.4. Данные от нейтронного радиометра Berthold LB 123 N. Представлены на рис.2.4.

Заключение. Радиометрический комплекс успешно прошел летные испытания, все оборудование комплекса работало в заданных режимах, и полученные результаты практически совпадают с результатами, представленными в работах [1,4].

Радиометрический комплекс, размещенный на самолете-лаборатории Як-42Д «Росгидромет», ориентирован на мониторинг радиоактивного загрязнения местности и атмосферы. Но данный комплекс также можно использовать для оценки содержания различных загрязняющих веществ, которые образуются в результате работы промышленных предприятий и выбросов вулканического происхождения, так как в составе комплекса присутствует шлюзовой заборник, который используется для отбора проб аэрозолей на фильтр.

Литература

1. Васильев А.С., Клочков Г.Н., Назаров Л.Е. Самолетный шлюзовой заборник аэрозолей. Труды ИЭМ, 1977. №6. С.103-111.
2. Ачеркан Н.С. Справочник машиностроителя. М.: Машгиз, 1960.
3. Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе. М.: Атомиздат, 1969. С.195-198.
4. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ, 2006.

The Radiometric Complex on the Aircraft-Laboratory Yak-42D "Roshydromet"

Vakulovsky Sergey, Andreev Fedor, Epifanov Andrey, Malyshev Victor, Novichenkov Alexander (Federal State Budgetary Institution "Research and Production Association "Typhoon", Obninsk, Russia)

Abstract. The description of the radiometric complex on the aircraft-laboratory and the results of its tests are presented.

Key words: aircraft-laboratory, sampler of the aerosol, dosimeter, gamma-spectrometer.

С.М.Вакуловский (проф., д.т.н., г.н.с.), Ф.А.Андреев (вед.инж.), А.О.Епифанов (м.н.с.), В.А.Малышев (зам.нач.ЦКБ ГМП), А.В.Новиченков (инж.) – Федеральное государственное бюджетное учреждение «НПО «Тайфун», г.Обнинск Калужской обл.

Контакты: тел.: +7 (48439) 7-18-30; e-mail: vakulovsky@rpatyphoon.ru.