



Радиационный контроль комплекса по переработке и утилизации радиоактивных отходов

Александр Агапов, Андрей Борзунов, Владимир Бунтушкин, Алексей Нестер, Виктор Парышев, Лидия Парышева, Валентин Скаткин, Владимир Таратушко, Александр Трошев

В статье представлена автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) на основе дистанционной оценки уровней гамма-излучения и объёмной активности аэрозолей в различных точках предприятия. Система внедрена на технологическом комплексе по переработке и утилизации радиоактивных отходов.

ВВЕДЕНИЕ

Подразделения Минатома России и, в первую очередь, Управление экологии и снятия с эксплуатации ядерных объектов и Департамент безопасности и чрезвычайных ситуаций на базе ЗАО «Экомет-С» (г. Сосновый Бор Ленинградской обл.) проводят целый комплекс работ по решению проблемы переработки и утилизации металлических радиоактивных отходов в Российской Федерации.

ЗАО «Экомет-С» является головным исполнителем целевой программы «Переработка и утилизация металлических радиоактивных отходов», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации 01.09.95 г. № 1197р.

В процессе эксплуатации объектов атомной промышленности и энергетики, проведения работ по ремонту и модернизации, а также при выводе таких объектов из эксплуатации образуется большое количество металлических радиоактивных отходов (МРО), в которых велико содержание высоколегированной стали, цветных металлов и сплавов.

Переработка МРО в настоящее время сводится, главным образом, к захоронению в могильниках или хранению крупногабаритного оборудования на открытых площадках. Захоронение больших объёмов МРО связано с существенными затратами на строительство новых хранилищ-могильников, ухудшением радиоэкологической обстановки в регионах и приводит к безвоз-

вратным потерям дефицитных и дорогостоящих материалов. Поэтому целесообразно проводить малоотходную переработку МРО с целью утилизации и повторного использования металла.

Заключительным этапом реализации концепции по обращению с МРО является создание нескольких региональных комплексов по переработке и утилизации МРО, позволяющих переработать весь объём накопленных и образующихся отходов во всех регионах России.

Практическое выполнение работ, связанных с утилизацией МРО, позволит вернуть в хозяйственную деятельность сотни тысяч тонн высококачественных металлов и сплавов, улучшить радиоэкологическую обстановку в регионах, обеспечить цивилизованное решение проблемы обращения с МРО в России.

Отходы, подлежащие переработке, — это демонтированное оборудование, трубопроводы, арматура и др., имеющие радиоактивное загрязнение, соответствующее 1 группе твердых радиоактивных отходов (ТРО) по Санитарным правилам проектирования и эксплуатации атомных станций СП АС-88/93. Состав отходов по маркам металла: нержавеющая хромоникелевая сталь, хромистая сталь, углеродистая сталь, медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы, титан и его сплавы. Производительность комплекса — 5000 тонн в год, режим работы — непрерывный, круглосуточный.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Общая характеристика системы

Системы дистанционного радиационного контроля были впервые созданы в 70-е годы в составе комплексов аппаратуры контроля радиационной безопасности атомных объектов и эксплуатируются на Ленинградской и других атомных электростанциях до настоящего времени [1]. Радиационный контроль предполагает, с одной стороны, обнаружение нарушений технологического процесса, с другой стороны, оповещение персонала о возникновении радиационной опасности, поскольку ионизирующие излучения, опасные для здоровья, не воспринимаются органами чувств человека.

Для обеспечения безопасной работы комплекса по переработке и утилизации металлических радиоактивных отходов создана автоматизированная система контроля радиационной обстановки АСКРО-3.

Система разработана на современной элементной базе специалистами ЗАО «СНИИП-АСКРО» по техническому заданию ЗАО «Экомет-С». Система имеет 20 каналов измерения, каждый из которых представляет собой метрологически аттестованный измерительный тракт, содержащий детектор излучения, средства обработки и представ-



Рис. 1. Блок детектирования мощности гамма-излучения БДМГ-08Р-03



Рис. 2. Мнемосхема отделения фрагментации

ления информации. В централизованной системе часть средств обработки и представления информации является общей для всех каналов (процессоры, дисплей), а часть — индивидуальной для каждого канала (детекторы, входные каскады, ячейки памяти ОЗУ). АСКРО-3 обеспечивает непрерывный дистанционный контроль уровней гамма-излучения в помещениях комплекса с помощью блоков детектирования мощности дозы гамма-излучения типа БДМГ-08Р-03 (рис. 1) и непрерывный дистанционный контроль объёмной активности аэрозолей в воздухе вентиляционных систем с помощью блоков детектирования бета-активных аэрозолей типа БДАС-03П-01. Измерительные характеристики блоков детектирования приведены в табл. 1.

Схема размещения блоков детектирования выбрана, исходя из анализа технологического цикла переработки отходов и с учетом опыта радиационного контроля при эксплуатации опытно-промышленной установки переплавки металла. Все составляющие системы расположены вблизи рабочих мест персонала, поэтому повышенных требований к радиационной стойкости самих элементов системы не предъявляется.

Следует отметить, что оборудование, установленное на комплексе, и схема его размещения по отделениям являются типовыми для аналогичных комплексов в других регионах Российской Федерации, что позволит широко использовать разработанную систему АСКРО без существенных изменений.

Технологический процесс переработки отходов и радиационный контроль

В состав комплекса по переработке и утилизации металлических отходов входят следующие основные отделения, где возможно радиационное воздействие на персонал:

- отделение фрагментации МРО;
- отделение дезактивации фрагментов;
- отделение переплава.

Каждое отделение имеет систему газоочистки. Блоки детектирования излучений размещены в непосредственной близости от оборудования, которое может являться источником радиации.

Металлические радиоактивные отходы с АЭС на спецавтомобиле перевозятся в штатном транспортном контейнере в отделение фрагментации, где производится резка МРО на фрагменты, удобные для загрузки отходов в дробеструйную установку, прокалочную или плавильную печь. В зависимости от типа и габаритов отходы подаются на участок плазменной резки, на участок разборки или на участок механической резки. При фрагментации часть разрезаемого металла диспергируется и окисляется, образуя радиоактивные аэрозоли. Отводимые от бокса плазменной резки газы, содержащие вредные химические вещества (ВХВ) и радиоактивные аэрозоли, поступают в систему газоочистки. После резки отходов фрагменты загружаются в технологические оборотные контейнеры объемом ~0,8 м³ и размещаются на участке временного хранения. В отделении фрагментации блоки детектирования расположены около рычажных ножниц, труборезов, на вентсистеме, обеспечивающей газоочистку отбираемого от оборудования плазменной резки воздуха. Результаты измерений уровней радиации представляются на мнемосхеме, выводимой на экран монитора (рис. 2).

Контейнеры с отходами подаются в отделение дезактивации через измерительную камеру, где производится замер мощности дозы излучения от контейнера. В этом отделении МРО из меди и ее сплавов перегружаются в прокалочные контейнеры, подаются в печь обжига, затем на виброударную установку для снятия окалины. Отводимые от прокалочной печи, от места охлаждения металла и от виброударной установки газы, содержащие ВХВ и радиоактивные аэрозоли, поступают через кожух местного отсоса в систему газоочистки. Дезактивация МРО осуществляется на дробеструйной установке, которая снабжена автономной системой газоочистки. В отделении дезактивации блоки детектирования расположены около прокалочной печи, дробеструйной установки и на вентсистеме, обеспечивающей очистку отводимых от оборудования дробеструйной дезактивации газов. Результаты измерений уровней радиации также представлены на мнемосхеме, выводимой на экран монитора (рис. 3).

МРО, прошедшие дезактивацию, загружаются в технологические контейнеры и передаются в отделение переплава через измерительную камеру. Плавка отходов проводится под слоем специального рафинирующего флюса в индукционной печи марки ИСТ-2,5/1,6-М4 с тиглем, вмещающим 2,5 т металла. Отводимые от печи газы, содержащие радиоактивные аэрозоли, поступают в кожух отсоса системы газоочистки, где смешиваются с подсысываемым воздухом и охлаждаются.

Таблица 1. Измерительные характеристики блоков детектирования

Контролируемый радиационный параметр, тип блока детектирования	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной погрешности	Диапазоны изменения средней частоты следования импульсов, имп./с
Мощность дозы гамма-излучения, БДМГ-08Р-03	1·10 ⁻¹ ...1·10 ⁻² мкЗв/ч (1,0·10 ⁻⁵ ...1,0·10 ⁻² Р/ч)	≤30%	1...10 ³
Объёмная активность бета-активных аэрозолей, БДАС-03П-01	2,5·10 ¹ ...1·10 ⁵ Бк/м³ (6,5·10 ⁻¹³ ...2,5·10 ⁻⁹ Ки/л)	≤60%	2...10 ⁴

После расплавления металла и удаления шлака расплав из печи разливается в изложницы, которые подаются на участок охлаждения, где из них кран-балкой извлекаются слитки для дальнейшего охлаждения, а изложницы возвращаются на участок разлива металла. В отделении переплава блоки детектирования расположены около индукционной печи и на вентси-



Рис. 3. Мнемосхема отделения дезактивации

После полного охлаждения слитки поступают в измерительную камеру на выходной контроль, а затем на склад «чистого» металла. В указанных отделениях размещено практически все оборудование, на котором производится переработка МРО, и расположены рабочие места персонала. Информация о радиационной обстановке на комплексе представляется на экране монитора центрального компьютера в таких экранных формах, которые дают объективную картину о ситуации на наиболее опасных участках работ в конкретных отделениях с указанием конкретного оборудования, что позволяет принять оперативные реше-



Рис. 4. Текущая радиационная обстановка на комплексе

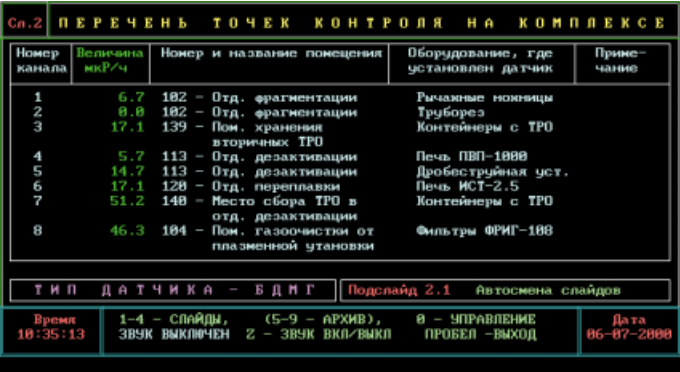


Рис. 5. Перечень точек контроля на комплексе

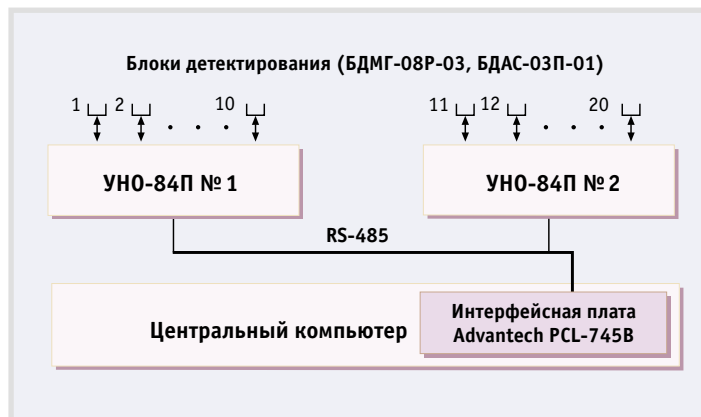


Рис. 6. Структурная схема системы АСКРО-3



Рис. 7. Устройство накопления и обработки информации УНО-84П

ния в случае изменения радиационной обстановки (рис. 4, 5). Факт превышения допустимого порога измеряемых параметров индицируется изменением цвета цифр и звуковым сигналом.

Состав и работа автоматизированной системы АСКРО-3

На рис. 6 показана структурная схема системы. Основными ее компонентами являются центральный компьютер с интерфейсной платой, устройства накопления и обработки информации и блоки детектирования.

Блоки детектирования вырабатывают импульсы, частота следования которых пропорциональна уровню излучения. Импульсы поступают на устройства накопления и обработки информации УНО-84П, каждое из которых может обработать информацию от десяти блоков детектирования. Обработанную и накопленную информацию устройство УНО-84П передает на центральный компьютер по последовательному интерфейсу RS-485.

Устройство накопления и обработки информации УНО-84П (рис. 7) предназначено для пересчета и накопления

входных импульсов от 10 блоков детектирования: восьми блоков БДМГ-08Р-03 и двух блоков БДАС-03П-01. Цепи передачи по интерфейсу RS-485 устройства УНО-84П гальванически развязаны от входных цепей центрального компьютера благодаря применению интерфейсной платы PCL-475B (Advantech). Устройство размещено в монтажном корпусе серии CONCEPTLINE EMC (фирма Schroff), обеспечивающем степень защиты IP66 (пылевлагонепроницаемый) и имеющем габаритные размеры 400×600×220 мм. Устройство включает в себя (рис. 8):

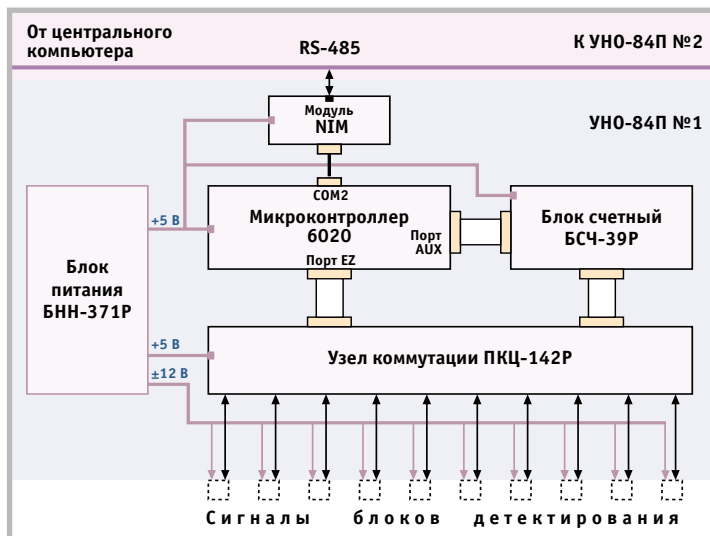


Рис. 8. Функциональная схема УНО-84П

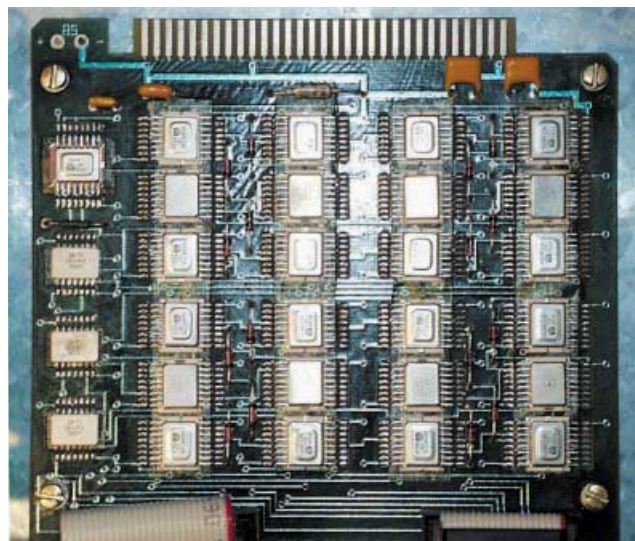


Рис. 9. Блок счетный БСЧ-39Р

- узел коммутации ПКЦ-142Р,
- блок питания БНН-371Р,
- блок счетный 16-канальный БСЧ-39Р,
- микроконтроллер 6020 (Octagon Systems),
- интерфейсный модуль NIM (Octagon Systems).

Внутри корпуса устройства расположена стальная монтажная плоскость, на которой закреплены все функциональные узлы. Интерфейсный модуль

NIM закреплен над микроконтроллером 6020. Соединение между узлами выполнено при помощи плоских шлейфов типа RC-10, RC-20, RC-26, RC-34 и клемм фирмы WAGO. Все внешние разъемы типа 2PM размещены на нижней стороне корпуса.

Узел коммутации ПКЦ-142Р предназначен для сопряжения микроконтроллера 6020 со входами и выходами блоков детектирования. Выходными

сигналами блоков детектирования являются импульсы от детекторов ионизирующих излучений и сигналы (квитанции), подтверждающие их работоспособность. Входные сигналы блоков — это сигналы управления контрольными источниками радиоактивного излучения (бленкерами) и контрольными светодиодами, воздействующими при проверке, соответственно, на газоразрядный счетчик в блоках де-

тектирования гамма-излучения или на полупроводниковый детектор бета-частиц в блоках детектирования аэрозолей. Входными сигналами блоков детектирования аэрозолей являются также команды управления механизмом перемотки ленты, через которую прокачивается контролируемый воздух и на которой осаждается пыль с возможными радиоактивными нуклидами.

Блок питания БНН-371Р служит для обеспечения стабилизированным напряжением +5 В, +12 В, -12 В блоков детектирования и функциональных узлов системы. Блок питания построен на базе трех вторичных преобразователей и первичного сетевого модуля МПС60Е с выходным напряжением 24 В/2,5 А. Модули построены по принципу ключевого стабилизатора напряжения и имеют защиту от короткого замыкания в цепи нагрузки с автоматическим восстановлением.

Блок счетный 16-канальный БСЧ-39Р (рис. 9) содержит 10 двоично-десятичных пересчетных схем, выходы которых объединены при помощи восьмиканальных мультиплексоров 564КП2. Считывание накопленной информации производится по сигналам параллельного порта AUX микроконтроллера 6020. При этом информация накапливается в запоминающем устройстве.

В качестве вычислительного ядра устройства накопления и обработки УНО-84П применен микроконтроллер 6020 фирмы Octagon Systems. Микроконтроллер устойчив к воздействию климатических и механических факторов, компактен, имеет малое электропотребление. Важным является и то, что он содержит достаточно мощные выходные каскады, что позволяет подключать исполнительные механизмы непосредственно к микроконтроллеру, без промежуточных усилителей.

Центральный компьютер обеспечивает документирование изменений радиационной обстановки на объекте во времени, проведение автоматизированной проверки работоспособности измерительных каналов, архивирование накопленных данных и предоставление информации оператору. Центральный компьютер системы по интерфейсу RS-485 связан с устройствами накопления и обработки информации УНО-84П. В данной системе используются два устройства накопления, однако максимальное количество устройств УНО-84П, подключаемых к центральному компьютеру, может достигать 30.

Плата PCL-745В, установленная в центральном компьютере, имеет два порта интерфейсов RS-422/485. Каждый порт построен на базе микросхемы UART типа 16C550, имеющей буфер FIFO размером 16 байт, что позволяет снизить нагрузку на центральный процессор и предотвратить потерю данных при несвоевременной обработке прерываний. Плата PCL-745В имеет гальваническую изоляцию, обеспечивающую защиту компьютера от повреждения блуждающими токами при отсутствии единого контура заземления. Выбор типа интерфейса осуществляется при помощи переключателей. Второй порт RS-422/485 позволяет дублировать каналы связи, при этом монтаж резервного канала следует производить по территориально разнесенным кабельным коммуникациям.

Центральный компьютер выставляет сигнал «ЗАПРОС» на устройства УНО-84П и затем принимает от них накопленную информацию и коды квитанций. При отсутствии сигнала «ЗАПРОС» в течение 30 секунд устройство УНО-84П переходит в режим автономной работы. При этом каждые 20 минут сохраняется одно (максимальное) значение уровня радиации за 30-секундные интервалы усреднения по каждой из 10 контролируемых точек. Накопление информации производится до трёх суток. При включении компьютера накопленные данные автоматически считываются.

Программное обеспечение системы создавалось, исходя из необходимости предъявления минимальных требований к компьютеру, и может работать как под Windows, так и под MS-DOS. Используются 3 основные программы.

1. Программа сбора информации от блоков детектирования, передачи команд управления и приема квитанций от блоков детектирования загружается в ОЗУ микроконтроллера 6020, входящего в состав устройства УНО-84П. Программа обеспечивает также накопление данных за трое суток при отсутствии запросов от центрального компьютера.

2. Программа обмена данными между центральным компьютером и устройствами УНО-84П по интерфейсу RS-485 состоит из двух частей: первая загружается в микроконтроллер 6020 устройства УНО-84П, вторая в центральный компьютер и является резидентной.

3. Программа обработки и отображения информации загружается

Таблица 2. Пример параметров каналов БДМГ

Гамма-излучение			
№	Блок детектирования		
	1	2	18
Тип	БДМГ-08Р	БДМГ-08Р	БДМГ-08Р
Заводской номер	142	117	153
Чувствительность блока детектирования (паспортное значение S_D [ч/(с·мГр)] по нуклиду цезий-137)	9498	9500	9505
Собственный фон блока детектирования (паспортное значение S_F [1/с])	0,82	0,9	1
Порог предупредительный P_p [мкР/ч]	60	60	60
Порог аварийный P_A [мкР/ч]	120	120	120

в центральный компьютер, производит преобразование полученной от УНО-84П информации в значения физических величин: объёмной активности бета-активных аэрозолей, мощности дозы гамма-излучения — и отображение их на экране монитора в нужных участках технологических мнемосхем. Обновление информации производится через каждые две секунды. Программа при запуске считывает паспортные данные по чувствительности и собственному фону блоков детектирования, а также данные по пороговым уставкам, которые

занесены в специальный текстовый файл.

Настройка системы и обработка информации

Система АСКРО-3 укомплектовывается блоками детектирования излучений, аттестованными на заводе-изготовителе. Результаты метрологической аттестации блоков детектирования отражены в технических условиях и паспортах. В этих документах указываются паспортное значение чувствительности и паспортное значение собственного фона.

Таблица 3. Пример параметров каналов БДАС

Аэрозоли			
№	Блок детектирования		
	9	10	19
Тип	БДАС-03П	БДАС-03П	БДАС-03П
Заводской номер	57	58	59
Чувствительность блока детектирования (паспортное значение S_A [относит. ед.])	0,326	0,3	0,3
Собственный фон блока детектирования (паспортное значение S_F [1/с])	0	0	0
Объёмный расход пробы W [м³/с]	0,00033	0,00033	0,00033
Порог предупредительный P_p [Бк/м³]	10	10	10
Порог аварийный P_A [Бк/м³]	15	15	15

Настройка системы заключается в занесении паспортных значений параметров каналов блоков детектирования в текстовый файл центрального компьютера. Эта процедура производится перед запуском системы в эксплуатацию, а также после проверки или замены блоков детектирования. Рабочая программа при своем запуске считывает числа из этого файла и использует их для вычислений. Примеры паспортных значений параметров каналов блоков детектирования приведены в таблицах 2 и 3.

Обработка информации для каналов контроля гамма-излучения производится по следующим формулам:

- скорость счета импульсов
 $n = (N/T) - S_F$ [1/с],
 где T — время накопления импульсов от блока детектирования данного канала [с],
 N — число поступивших за время T импульсов,
 S_F — собственный фон данного блока детектирования [1/с];
- чувствительность блока детектирования в импульсах в секунду на 1 рентген в час
 $S_X = 0,00876 S_D$ [ч/с·Р],
 где S_D [ч/с·мГр] — паспортное значение чувствительности блоков детектирования (число импульсов в секунду при мощности дозы 1 миллирей в час по изотопу цезий-137);
- мощность экспозиционной дозы
 $P_X = n/S_X$ [Р/ч];
- мощность эффективной дозы
 $P_H = 0,00917 n/S_X$ [Зв/ч];
- мощность поглощенной дозы
 $P_D = 0,00876 n/S_X$ [Гр/ч].

Обработка информации для каналов контроля аэрозолей производится по следующим формулам:

- скорость счета импульсов n — аналогично каналам контроля гамма-излучения;
- текущая активность фильтра в количестве бета-частиц в секунду
 $A_F = n S_A$ [1/с],
 где S_A — паспортное значение чувствительности блока детектирования при регистрации внешнего излучения в углу 2π образцового источника с нуклидами стронций-90 — иттрий-90 в относительных единицах (число зарегистрированных частиц/число испущенных частиц);
- объёмная активность аэрозолей по бета-излучению
 $Q_B = A_F / (260 W T_p)$ [Бк/м³],
 где T_p — время экспозиции (прокачки) фильтра, то есть время в часах, прошедшее от момента перемотки кадра фильтрующей ленты,
 W — объёмный расход пробы в м³/с, то есть количество кубических метров контролируемого воздуха, прокачиваемого через фильтр в секунду (типовое значение 0,00033 м³/с, то есть 20 литров в минуту).

Управление системой (включение бленкеров с контрольными радиоактивными источниками, включение лентопротяжных механизмов) произ-

водится с помощью клавиатуры центрального компьютера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание автоматизированной системы контроля радиационной обстановки на современной элементной базе позволило повысить надежность системы и снизить ее стоимость за счет применения универсальных средств. Специфические задачи радиационного контроля теперь в основном решаются программными средствами и не требуют специальной разработки уникальных технических средств. Так, по сравнению с выпускаемой серийно аналогичной по функциям десятиканальной станцией сбора данных радиационного контроля стоимость УНО-84П снижена в 2,5 раза.

Разработка и внедрение АСКРО на головном технологическом комплексе отвечает современным требованиям к организации радиационного контроля на предприятиях атомной энергетики и промышленности.

Работа АСКРО в составе комплекса по переработке и утилизации металлических радиоактивных отходов позволяет оперативно контролировать радиационную обстановку, вовремя

принимать необходимые решения, тем самым практически обеспечить безопасную работу комплекса. При затратах на систему радиационного контроля в доли процента от общей стоимости объекта безопасность последнего для обслуживающего персонала и окружающей среды возрастает в несколько раз.

Авторы выражают благодарность Н. Рыжову, Л. Федяеву, В. Лапину и М. Исаеву за активную помощь в работе, метрологам И. Мысёву, Ю. Костылевой, а также создателям блоков детектирования Ю. Залманзону, В. Антонову, Д. Фертману, Н. Сотникову. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратура контроля радиационной безопасности АЭС с ВВЭР и РБМК/ В.С. Жернов, Ю.Е. Залманзон, В.Я. Парышев и др.; Под ред. В.В. Матвеева. — М.: Энергоатомиздат, 1987.

Авторы — сотрудники

Минатома РФ, ЗАО «Экомет-С» и ЗАО «СНИИП-АСКРО»

Телефоны: (095) 198-9720

(«СНИИП-АСКРО»),

(812-69) 423-03 («Экомет-С»)