

А.Н. ПОСИК, И. В. КОШЕЛЕВ, В.П. БОВИН

Радиометрический
ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ
ДОБЫТЫХ РУД

Атомиздат - 1960

Л. Н. ПОСИК, И. В. КОШЕЛЕВ, В. П. БОВИН

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ДОБЫТЫХ РУД

(КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО)



ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

Москва 1960

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются вопросы гамма-экспресс-анализов урановых руд в вагонетках, различных ящиках, барабанах, автомашинах и железнодорожных вагонах, используемых в процессе добычи и переработки руд. В тексте эти транспортные средства часто называются общим условным термином «емкости».

Метод гамма-экспресс-анализов руд в емкостях объединяет широкий комплекс работ, являющихся в настоящее время важной и неотъемлемой частью технологии добычи, обогащения и переработки уранового сырья. Сущность метода заключается в быстрой (экспрессной) оценке по гамма-излучению концентрации урана (или тория) в добытых рудах, находящихся в различных емкостях. В отличие от старых методов опробования, связанных с механической обработкой материала и последующими лабораторными анализами, гамма-измерения дают возможность оперативно определять качество руд и количество урана в них с сохранением их позабойной маркировки. При этом анализируется вся рудная масса, а не часть ее, что существенно повышает представительность результатов. По всем основным показателям — оперативности, стоимости, а в ряде случаев и точности — экспресс-анализы превосходят методы опробования, принятые на месторождениях цветных и редких металлов. Кроме того, проведение экспресс-анализов исключает массовую механическую обработку проб, крайне вредную для здоровья обслуживающего персонала.

Эти важные особенности дают возможность применять широкий комплекс экспресс-анализов для решения вопросов разведки и эксплуатации рудников (практически неразрешимых при механической обработке проб): позабойный и ежедневный учет добычи, оперативное выявление разубоживания руд и обогащения горной массы, остающейся для закладки, оперативный контроль гравитационного и радиометрического обогащения и ряд других.

Для выполнения массовых экспресс-анализов в настоящее время применяется несколько типов стационарных контрольных радиометров (РКС). Основная задача использования этих установок состоит в обеспечении однократного и наиболее представительного измерения гамма-излучения всего объема горнорудной массы. Геометрия измерения и размеры датчиков определяются величиной и формой используемых стандартных емкостей (вагонеток, барабанов, автомашин, железнодорожных вагонов и т. п.). В соответствии с этим были созданы три основных варианта радиометров: РКС-1 — для измерений в малой таре различной формы, вмещающей до 100 кг материала, РКС-2 — для вагонеток и автомашин, РКС-3 — для измерения проб весом до 15 кг.

С 1951 г. установки РКС выпускаются промышленностью серийно. В 1956—1958 гг. разработаны новые серийные радиометры РКС-2: «Кварц», «Стенд» и «Стрела». Последняя установка предназначена для автоматической сортировки вагонеток и поэтому носит также название АКС — автоматическая контрольная станция.

Внедрение установок РКС на разведочных объектах, рудниках и обогащательных фабриках явилось новой технической основой для практического решения следующих важнейших задач:

- 1) контроля и экспресс-анализов всей отбитой горнорудной массы, выдаваемой из шахт, обеспечивающих быстрое разделение ее по сортам и дальнейшую обработку на специальных технологических линиях;
- 2) экспресс-анализов добытых товарных руд, сырья и концентратов обогащательных фабрик для определения количества полученного урана;
- 3) выявления, оценки и определения путей борьбы с потерями металла при добыче;
- 4) автоматизации процесса откатки и сортировки вагонеток с горнорудной массой.

Аппаратура «РКС» и методика ее применения первоначально были предложены в 1947—1948 гг. Л. Н. Посиком и И. М. Тененбаум [15]. Широкое развитие метод гамма-экспресс-анализа в целом и соответствующая аппаратура получили за последнее десятилетие при участии большого числа специалистов. В настоящее время этот метод широко внедряется на горнорудных предприятиях, причем аппаратура, методика и приемы интерпретации результатов постоянно совершенствуются.

Необходимость распространения передового опыта с целью дальнейшего улучшения качества и организации экспресс-анализов настоятельно требует создания методического руководства, обобщающего многолетний опыт производственных и исследовательских организаций. Предлагаемое руководство, предназначенное для геофизиков, горняков и геологов, является первой попыткой обобщения огромного фактического материала. В руководстве кратко рассматриваются физические основы метода и факторы, определяющие роль отдельных видов анализа в технологическом процессе добычи и переработки руд. Также кратко описывается аппаратура (детальная ее характеристика имеется в соответствующих инструкциях). Общие вопросы теории радиометрии и аппаратуры в руководстве не рассматриваются, так как они подробно освещены в ряде работ [2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 18].

Основное внимание в руководстве уделено методике и организации экспресс-анализов при помощи установок РКС-1, РКС-2 и РКС-3, способам определения поправочных коэффициентов, а также анализу ошибок результатов измерений и методам их учета, устранения или уменьшения. Определение основных параметров и статистических ошибок радиометров дано на основе анализа ряда новых работ [2, 7, 17, 24, 27, 28] и имеет целью предложить единую и более точную методику оценки качества аппаратуры и точности результатов измерений.

Работа является первым обобщением в данной области рудничной радиометрии и далеко не исчерпывает обширный опыт, накопленный за последние годы.

ГЛАВА I

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА

Метод гамма-экспресс-анализов основывается на том, что измеренная интенсивность гамма-излучения пропорциональна количеству или весовой концентрации активных элементов в руде. Чтобы обеспечить правильный выбор условий измерений и обосновать методику обработки результатов, необходимо кратко рассмотреть радиологические и физические особенности руд, влияющие на результаты анализов.

1. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Спектральный состав гамма-излучения урановых руд и выбор типа датчиков

Первичное гамма-излучение равновесных руд урана имеет линейчатый спектр, максимальная энергия гамма-лучей достигает 2,42 Мэв. По опытным данным при измерении гамма-излучения тонких слоев различными счетчиками доля излучения $U_{X_1} + U_{X_2}$ составляет 2—8,5%, а Ra (B + C) соответственно 98—91,5%. При свинцовом фильтре в 0,83 г/см² доля излучения урановой компоненты уменьшается примерно в 2—3 раза и, в частности, для счетчиков МС-6 составляет всего 1,9% [2, 17, 23].

Отсюда следует, что измеренная счетчиками типа МС (и СТС) мощность дозы практически определяет содержание Ra (B + C) в рудах, выраженное в единицах равновесного урана. Вследствие этого нарушение радиоактивного равновесия и в том числе эманирование существенно влияют на результаты экспресс-анализов.

Необходимо учитывать при измерениях также и спектральный состав гамма-излучения руд в слое конечной толщины. Теоретический анализ гамма-излучения бесконечных пластов, выполненный Г. М. Воскобойниковым [10, 11], показывает, что в результате комптоновского рассеяния и фотоэлектрического поглощения линейчатый спектр первичного излучения переходит в непрерывный, на фоне которого могут наблюдаться только интенсивные линии первичных гамма-лучей. Для большинства руд область максимума интенсивности рассеянного излучения довольно узка, например, для угля — 0,025—0,25 Мэв, для гранита — 0,05—0,3 Мэв и т. д. Положение указанного максимума зависит от химического состава среды, так что с увеличением ее атомного номера про-

исходит перемещение максимума в область больших энергий: для угля 0,05, гранита 0,1, железа 0,2 и свинца 0,65 Мэв.

Из приведенных теоретических выводов, подтвержденных многочисленными опытами [11, 12, 16, 22], следует, что химический состав урано-

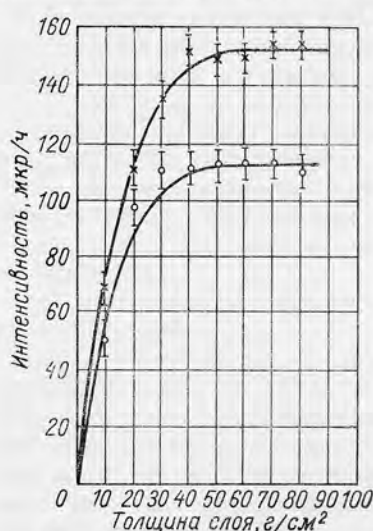


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма-излучения от толщины радиоактивного пласта:
x — датчик ВС-4; o — датчик АММ-4.

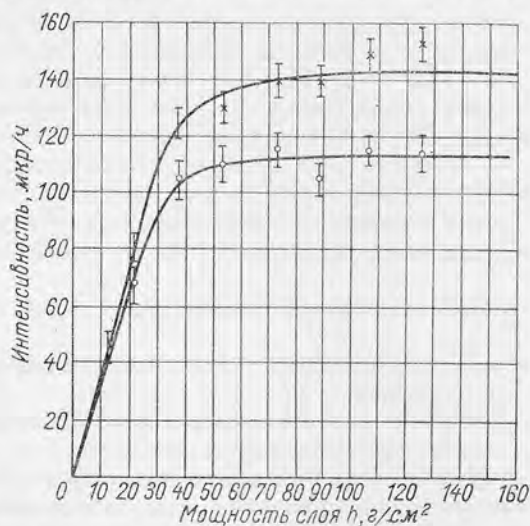


Рис. 2. Зависимость интенсивности гамма-излучения от мощности радиоактивного пласта:

x — датчик ВС-4; o — датчик АММ-4.

вых руд с содержанием урана до 5% оказывает наибольшее влияние на мягкое рассеянное излучение с энергией до 0,2—0,25 Мэв, а состав руды с содержанием урана более 5% — на излучение с энергией до 0,4—0,5 Мэв.

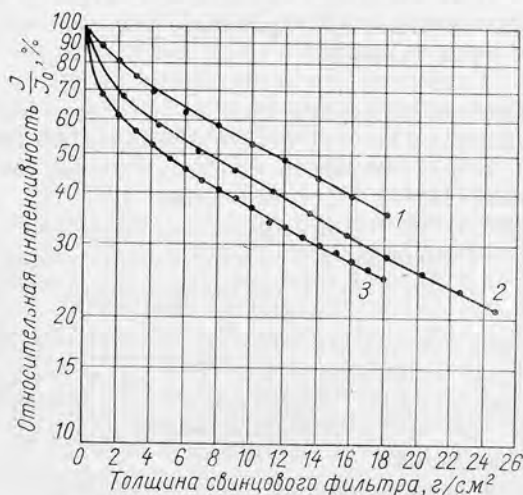


Рис. 3. Кривые поглощения гамма-излучения:

1 — точечный источник; 2 — тонкий пласт; 3 — бесконечный пласт.

Таким образом, для того чтобы обеспечивалась пропорциональность между интенсивностью гамма-излучения и количеством (концентрацией) урана в измеряемом объеме руды при изменении величины ее среднего атомного номера, необходимо выбирать датчики и условия измерений так, чтобы практически исключить регистрацию мягких лучей указанных энергий. Эти общие закономерности получены для насыщенных по гамма-излучению пластов с равномерной концентрацией активного вещества. Однако при измерениях в емкостях сопоставление с таким пластом условно

или в ряде случаев невозможно, так как измеряемые объемы руды не всегда обеспечивают насыщение по гамма-излучению.

На рис. 1—2 приведена зависимость интенсивности гамма-излучения от толщины и мощности радиоактивного пласта [8, 12]. Из этих данных

ясно, что практически бесконечный пласт имеет толщину и мощность 80—90 г/см²; при этом 80% излучения создается слоем в 20—30 г/см². Пользуясь рис. 1—2, легко установить степень насыщенности по гамма-излучению конкретных объемов руд, подлежащих экспресс-анализу.

На рис. 3 показана зависимость степени поглощения $\frac{J}{J_0}$ гамма-излучения различных источников от толщины свинцовых фильтров. Как видно, кривая поглощения излучения ненасыщенного слоя руды занимает промежуточное положение между соответствующими кривыми для точечного источника и бесконечного пласта. Фильтр в 3 г/см² поглощает 35% излучения J_0 тонкого пласта и 45% — бесконечного. При фильтре в 6 г/см² характер поглощения, или, что то же самое, спектральный состав излучения, всех трех источников практически одинаков. Если за основу расчета взять излучение при фильтре 3 г/см² (J_3), то кривые поглощения для тонкого и бесконечного пластов будут идентичны (рис. 4).

Следует указать, что источником появления непрерывного спектра мягких гамма-квантов может быть обратнорассеянное излучение [12, 17, 21, 22]. Из опытных данных [21] следует, что интенсивность и спектр этого излучения зависят от атомного номера рассеивателя, энергии и интенсивности источника первичного излучения. Например, при источнике Cs^{137} (0,661 Мэв) максимум рассеянного излучения находится в области 0,1—0,2 Мэв; для рассеивателя из алюминия, дерева или железа амплитуда максимума в 2—2,5 раза превышает интенсивность первичного излучения.

Опыты на моделях бесконечного пласта показали, что погрешность за счет обратнорассеянного излучения может достигать 0,01—0,06% концентрации равновесного урана. При измерениях в горных выработках эта ошибка возрастает в 1,5—2 раза.

Из приведенных данных следует, что для осуществления экспресс-анализов необходимо выбирать детекторы, обладающие минимальной чувствительностью к квантам с энергией до 0,2—0,3 Мэв, а при высоких концентрациях урана в рудах — до 0,5 Мэв. Это практически важное требование может быть выполнено путем выбора приемников гамма-излучения с соответствующей спектральной характеристикой в сочетании с фильтрами, поглощающими мягкий компонент гамма-излучения.

В связи с этим кратко остановимся на характеристиках эффективности газоразрядных серийных счетчиков и ионизационных камер, применяемых для установок РКС. Наименее чувствительны к гамма-квантам малых энергий счетчики ГС и СТС (галогенные со стальным катодом) (рис. 5). Эффективность сцинтилляционных счетчиков в этой же области энергий гамма-лучей близка к 100%, и поэтому их использование наименее выгодно. Характеристика ионизационной камеры практически линейна в пределах рассматриваемых энергий [9, 17].

Следует отметить, что скорость счета, измеренная любым датчиком, пропорциональна интенсивности (мощности дозы) излучения любого спектрального состава только в том случае, если эффективность детектора линейно увеличивается при возрастании энергии гамма-квантов. Этому важному требованию в достаточной мере удовлетворяют интегри-



Рис. 4. Кривые поглощения гамма-излучения:

1 — точечный источник; 2 — тонкий и бесконечный пласты.

рующие ионизационные камеры; для счетчиков это условие приближенно выполняется только в ограниченной области (см. рис. 5). Таким образом, для экспресс-анализа предпочтительнее применять ионизационные камеры и счетчики МС или СТС с дополнительным экраном из железа или свинца толщиной в 3—4 г/см². Фильтр дает возможность устранить влияние спектрального состава излучения пластов различной насыщенности и спектральных характеристик датчиков; одновременно уменьшается регистрируемая доля гамма-излучения U в измеряемом излучении, что дополнительно повышает точность анализов.

Из приведенной выше характеристики спектрального состава прямого и обратнорассеянного излучения руд следует, что правильный выбор

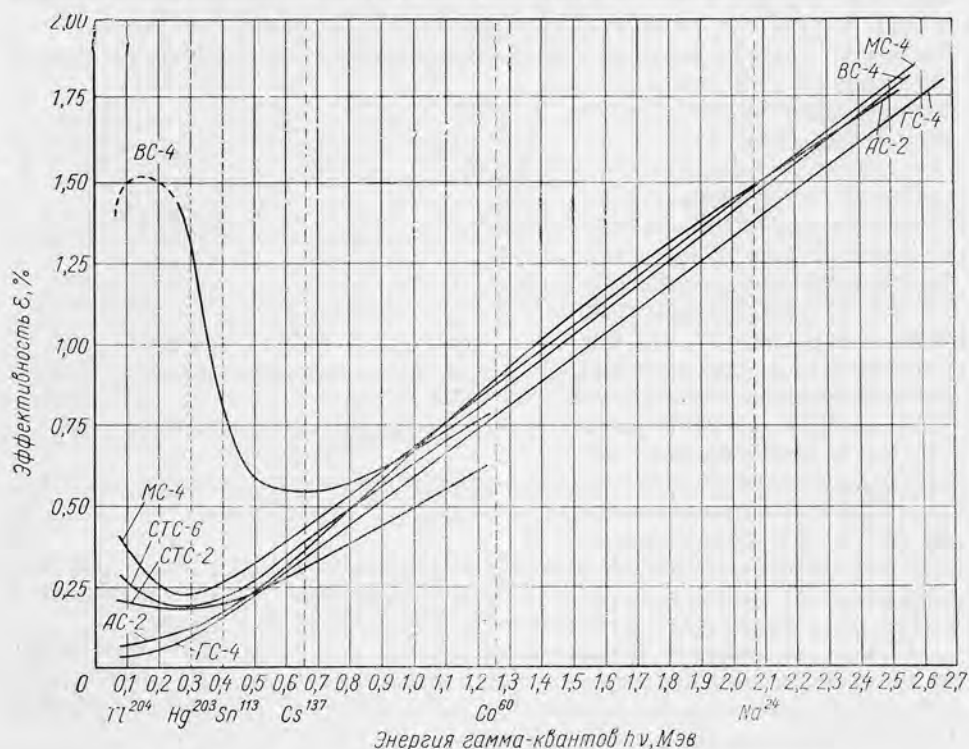


Рис. 5. Характеристика эффективности газоразрядных счетчиков.

типа счетчиков и экранировки всех датчиков особенно важен в условиях, благоприятных для возникновения рассеянного излучения значительной интенсивности. Такие условия имеют место, например, при экспресс-анализах в горных выработках, при контроле автомашин датчиками, расположенными над открытым кузовом, при промере богатых руд в условиях небольших помещений.

Влияние радиоактивного равновесия и эманирования руд

Как уже отмечалось, содержание урана в рудах фактически определяется по содержанию короткоживущих продуктов распада радона, и поэтому результаты анализа зависят от состояния равновесия между U и Ra ($B + C$).

Наиболее благоприятной радиологической характеристикой обладают смолковые руды, которые могут быть выделены в группу равновесных руд. Для большинства остальных типов руд характерно отсутствие равновесия между U и Ra ($B + C$), обусловленное эманированием (неиз-

менные первичные руды месторождений осадочного типа) или миграцией урана, радия и радона (руды гидротермальных и осадочных месторождений, подвергшихся воздействию гипергенных процессов).

Исследование миграции урана и радия показывает, что распределение этих элементов в зонах гипергенеза урановых месторождений подчиняется определенным закономерностям. Возможность выделения зон, характеризующихся теми или иными соотношениями урана и радия, зависит, таким образом, от дифференциации зон гипергенеза в пространстве. Чем сложнее морфология рудных тел и тектонические условия месторождения, тем менее четко дифференцированы зоны гипергенеза и труднее устанавливаются закономерности нарушений радиоактивного равновесия.

Как правило, наиболее сложная картина наблюдается в зоне окисления гидротермальных месторождений, где влияние указанных выше факторов проявляется особенно сильно. Типичным для этой зоны является перемежаемость небольших участков с любыми значениями коэффициентов радиоактивного равновесия. Руды с подобной радиологической характеристикой условно могут быть выделены в группу руд с локальными двусторонними нарушениями равновесия.

При менее сложном строении месторождения (что более характерно для месторождений осадочного типа) зональность нарушений радиоактивного равновесия проявляется более четко. Типичным для этих условий является наличие крупных участков с определенным средним соотношением урана и радия. В пределах этих участков колебания коэффициентов равновесия могут быть достаточно велики. Руды с подобной радиологической характеристикой условно можно выделить в группу руд с различными локально-зональными нарушениями равновесия.

Локальное нарушение радиоактивного равновесия в пределах коротких участков (длиной в 1—5 м) приводит иногда к появлению небольших масс руды с резко сдвинутым равновесием. Такое нарушение равновесия равносильно неравномерному распределению урана в рудной массе и поэтому влияет на анализы отдельных емкостей, но в значительной мере исключается при статистическом осреднении данных измерений по группе емкостей.

Локально-зональные сдвиги проявляются как сочетание одностороннего нарушения равновесия в пределах значительных площадей рудных тел с локальными отклонениями от среднего на отдельных участках. Поэтому в добытых рудах будут содержаться значительные массы неравновесного материала с определенным средним коэффициентом равновесия; при этом отдельные порции рудной массы могут иметь различные состояния равновесия. В некоторых случаях удается установить закономерную зависимость сдвига равновесия от концентрации урана в руде или от положения рудных тел по глубине и по отношению к флангам месторождения. Так, на одном из месторождений при увеличении концентрации от 0,01 до 0,1 % урана и более средний коэффициент равновесия уменьшался от 135 до 78%. Такие нарушения равновесия обязательно учитываются при организации экспресс-анализов и прежде всего при выборе материала для рудных эталонов. Для решения этого вопроса необходимо изучить основные закономерности нарушения равновесия по Ra и $Ra (B + C)$, исходя из определения коэффициентов равновесия по достаточному числу соответствующих проб. При этом можно в основном использовать радиометрический метод, описанный в инструкции [25].

При рассмотрении влияния эманирования необходимо учитывать, что эманирование добытых руд имеет свои особенности. Коэффициенты эманирования в порошках не всегда характеризуют эманирование крупнокусковых руд. Например, для одного месторождения руды забойной крупности, измеренные в герметизированных вагонетках, обладали весьма малым коэффициентом эманирования; по 32 порошковым про-

бам, приготовленным из тех же руд, коэффициент оказался равным 7,6% (с колебанием от 1 до 16%). Поэтому определение коэффициентов эманирования в случае значительного эманирования руд следует производить по возможности без нарушения их физического состояния (крупности, влажности). Такое определение производится в соответствии с основными этапами добычи и переработки руд, так как изменение внешних условий и физического состояния их при движении от забоя к складам на заводах приводит и к изменению эманирования. Примерами таких этапов являются сортировка горнорудной массы в горных выработках и на поверхности в процессе добычи, экспресс-анализ после длительной транспортировки или складирования и т. п.

2. ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОБЫТЫХ РУД

Распределение урана в рудной массе по классам крупности. Для большинства добытых и подвергшихся дроблению руд характерно избирательное обогащение материала определенной крупности и общее неравномерное распределение урана в измеряемом объеме. По экспериментальным данным наиболее часто имеет место обогащение материала мелких классов. Так, материал крупностью —5 мм в 1,8—8,0 раза богаче материала крупностью +25 мм. Однако известны и такие типы руд, в которых обогащен крупный материал.

Эффект сегрегации. Избирательное обогащение материала определенной крупности может привести к значительным систематическим ошибкам, если при погрузке и транспортировке руды имеет место сегрегация материала, а методика анализов не учитывает этого явления. Сегрегация особенно значительна для сухих руд при погрузке их из бункеров и рудоспусков, при длительных авто- и железнодорожных перевозках. При погрузке экскаваторами и другими механизмами или вручную эффект сегрегации значительно уменьшается.

Для выявления и оценки этого эффекта необходимо сопоставить результаты валового опробования и измерения верхней или нижней поверхности руд. Сопоставление результатов измерений поверхности 17 вагонеток, загруженных через рудоспуски, показывает, что относительная ошибка экспресс-анализа по сравнению с валовым опробованием составляет +71%. Причиной такого завышения является избирательная погрузка обогащенной мелкой фракции в верхнюю часть вагонеток.

При сравнении аналогичных данных для автомашин, загруженных через бункера, получены близкие результаты. Если проведение валового опробования невозможно, то можно выполнить 3—5 повторных измерений каждой емкости с пересыпанием руды, либо тщательно усреднить ее.

Равномерность распределения урана внутри емкостей. Добытые руды большинства месторождений характеризуются весьма неравномерным распределением урановых минералов. В отличие от закономерного избирательного обогащения материала определенных классов крупности такая неравномерность имеет, как правило, случайный характер. Например, при измерении гамма-активности на поверхности добытых руд в интервале 20—30 см интенсивность излучения может измениться в 2—3 раза и более.

Ошибки за счет неравномерности носят случайный характер и не оказывают существенного влияния на средний результат для больших рудных масс. Однако для отдельных емкостей возможно появление значительных ошибок. Поскольку степень усреднения руд при транспортировке в горных выработках и на поверхности может заметно измениться, то и изучение влияния неравномерности на точность индивидуальных анализов следует производить с учетом требуемой точности и условий измерений на каждом этапе. Такое изучение позволяет оценить объем возможных потерь урана и разубоживания руд за счет погрешности анализов.

Наиболее просто выявление и оценка эффекта неравномерности распределения урановых минералов производятся по измерениям при многократных пересыпках значительного количества проб (емкостей) руды на определенном этапе ее перемещения. По опытным данным ошибка за счет неравномерности уменьшается при уменьшении неоднородности руд по распределению урана между классами различной крупности и при уменьшении размеров кусков.

Влажность руд. Добытые руды в среднем имеют влажность порядка 2—5%, в некоторых случаях она составляет 10—12% и более. Повышение влажности приводит к пропорциональному уменьшению интенсивности гамма-излучения, так как влияние влажности эквивалентно разбавлению руды неактивным материалом. Следовательно, если не принимать во внимание влажность рудной массы, результат экспресс-анализа будет занижен по сравнению с лабораторным, где концентрация определяется на воздушносухой вес.

ГЛАВА II

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. СХЕМЫ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ РУД

В настоящее время созданы специфические системы разработки урановых месторождений, в связи с чем исключительно важную роль приобрели радиометрические методы и особенно экспресс-анализы добытых руд в различных емкостях.

На рис. 6 приведена схема транспортировки и сортировки горнорудной массы, применяемая на ряде крупных рудников с селективной подземной добычей богатых руд [15], обеспечивающая высокие темпы отработки месторождения с наименьшими потерями урана. Характерным в этих условиях является особая методика ведения горных работ, организация подземного транспорта и сортировка добытой горной массы на 5 сортов руды и породу. Из схемы ясно, что такая технология без применения установок РКС невозможна. Такое же значение имеют установки РКС и при разработке месторождений открытым способом, где разделение руды и породы в большинстве случаев производится путем определения содержания урана в рудной массе, транспортируемой на автомашинах. На месторождениях, добывающих не только урановые, но и другие руды (например, железные), схема контроля усложняется с целью разделения таких руд от породы и выдачи их на поверхность через скиповые подъемы или в вагонетках.

2. МЕСТО УСТАНОВОК РКС НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУД

В процессе движения добытой горнорудной массы от забоя к складу товарных руд, а также в процессе радиометрического и гравитационного обогащения установки РКС применяются для экспресс-анализа руд в различных емкостях.

Место установок РКС на рудниках определяется согласно схеме, изображенной на рис. 7; в основу этого определения положена последовательность производственного контроля добытой горнорудной массы в процессе движения от забоя к складам (см. рис. 6, 7).

Экспресс-анализы проб закладки в блоках выполняются установками РКС-3 или специальными радиометрами с батарейным питанием. Вся добытая в рудных забоях горнорудная масса при наличии скиповых

подъемов проходит предварительный повагонеточный контроль на подземных установках РКС-2 для разделения на руду и породу. При наличии перепусков между горизонтами РКС-2 устанавливается перед рудоскатами для разделения товарных и забалансовых руд от породы, что обеспечивает их дальнейшую раздельную транспортировку. В некоторых случаях подземные установки РКС-2 на рудничных дворах могут применяться для экспресс-анализов, обеспечивающих определение концентрации урана в отдельных вагонетках и их соответствующую маркировку.

При отсутствии подземных РКС-2 или при выполнении ими только предварительных измерений окончательная сортировка производится по экспресс-анализам установкой РКС-2 на поверхности у ствола шахты.

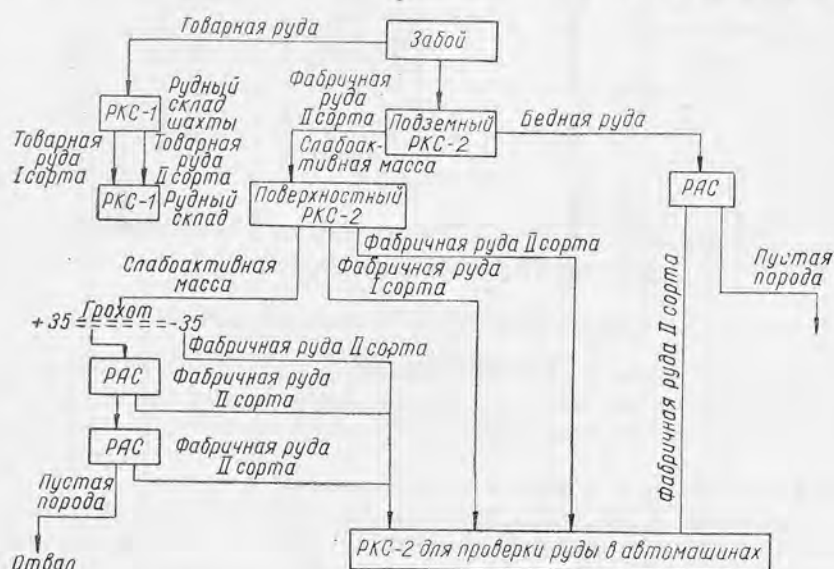


Рис. 7. Технологическая схема контроля и сортировки горнорудной массы.

Продукты первичной технологической обработки и обогащения в случае их отгрузки в автомашинах также подвергаются экспресс-анализам установками РКС-2. При отсутствии валового опробования возможно применение РКС-2 для определения качества однородных или хорошо усредненных руд в железнодорожных вагонах.

При селективной добыче экспресс-анализ богатых руд производится преимущественно в малых емкостях на шахтных или центральных складах установками РКС-1. Этими же приборами выполняется экспресс-анализ концентратов гравитационного обогащения и богатых руд на некоторых заводах.

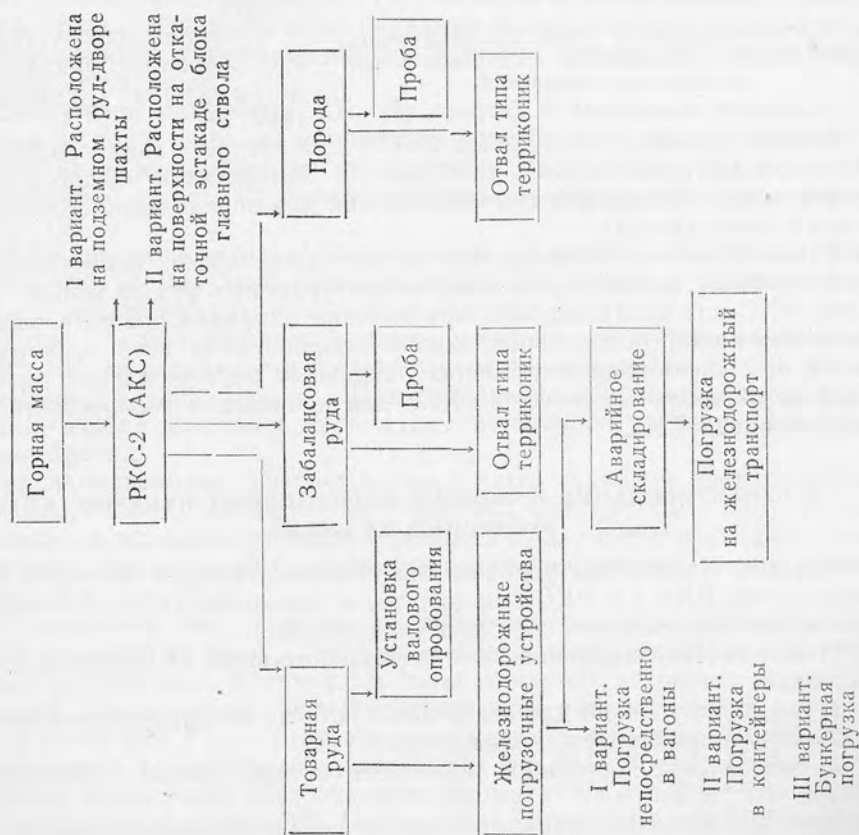
3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТИПОВЫХ ШАХТ, СОДЕРЖАЩИЕ УСТАНОВКИ РКС

В состав технологического комплекса поверхности шахт входят сооружения, обеспечивающие:

- 1) приемку и транспортировку руд с разделением по сортам;
- 2) технологическую обработку — дробление, грохочение, обогащение руд;
- 3) опробование, складирование и отгрузку товарного продукта;
- 4) доставку в отвал пустой породы.

На урановых рудниках к этому комплексу весьма часто примыкают устройства, необходимые для отделения руды от породы и разделения добытых руд по сортам при движении от забоев к стволам шахт.

а. С клетьевым подъемом



б. Со скипоклетьевым подъемом

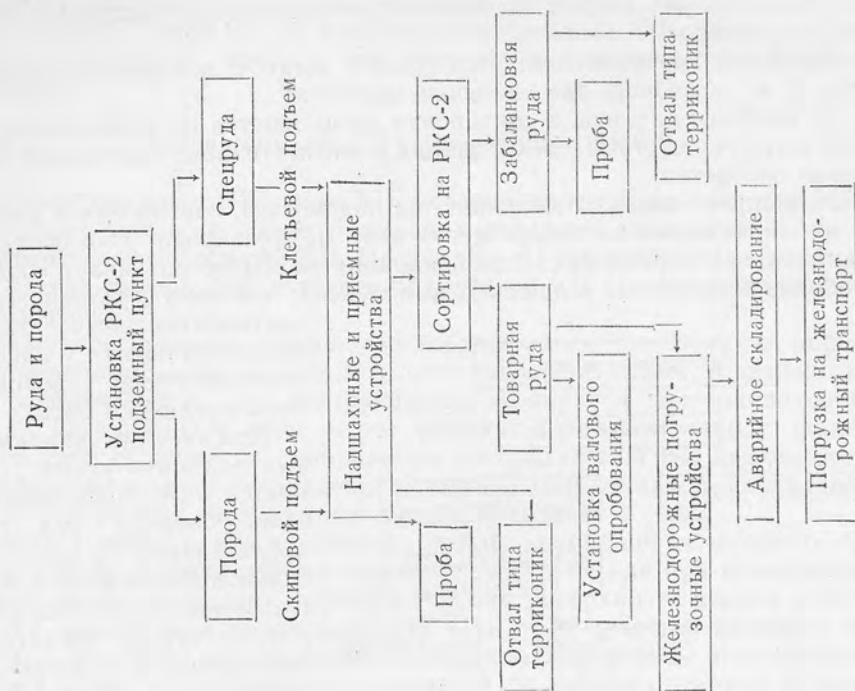


Рис. 8. Принципиальная схема технологических комплексов шахт.

Для выявления особенностей применения установок РКС на различных объектах рассмотрим несколько принципиальных схем технологических комплексов.

Наиболее простой является схема шахт с клетьевым подъемом (рис. 8, а), имеющая два основных варианта:

1) экспресс-анализы и сортировка выполняются на поверхности; при этом легко осуществима механизация и автоматизация сортировки и разгрузки вагонеток;

2) экспресс-анализы выполняются под землей, сортировка и разгрузка маркированных вагонеток могут быть механизированы на основе дистанционного управления. Такой вариант схемы обеспечивает создание наиболее компактных и дешевых комплексов; при этом в условиях резко континентального климата обеспечиваются наиболее благоприятные условия работы установок РКС-2.

При наличии скипоклетевых подъемов схема усложняется. Для селективной добычи богатых руд схема представлена на рис. 7, для валовой добычи — на рис. 8, б. Подземная установка РКС-2 в этом случае обязательна, сортировка и разгрузка вагонеток на поверхности механизуются и автоматизируются.

Применяются установки РКС-2 и на фабриках радиометрического обогащения (рис. 9).

Схемы применения установок РКС-1 для экспресс-анализов богатых руд и концентратов просты (см. рис. 7). Эти установки используются на фабриках гравитационного обогащения для определения содержания урана в концентратах.

Таким образом, сложившиеся в настоящее время технологические схемы добычи, сортировки и обогащения урановых руд включают установки РКС как неотъемлемый практически оправдавший себя элемент, обеспечивающий оперативное экспресс-опробование всей горнорудной массы. В разнообразных условиях различных месторождений был создан ряд контрольных пунктов (КП) для проведения экспресс-анализов на установках РКС.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТОВ (КП). ОСНОВНЫЕ ИХ ВИДЫ

Краткие технические условия для проектирования и монтажа КП с установками РКС-1 и РКС-2 приведены в приложениях 1 и 2. Основные требования этих условий состоят в следующем:

1) обеспечение наименьшего и стабильного фона от окружающих сооружений;

2) создание условий для стабильной работы аппаратуры при изменении внешней температуры, влажности и т. п.;

3) обеспечение постоянной геометрии системы датчик — измеряемый объем;

4) обеспечение необходимой данному технологическому участку производительности экспресс-анализов.

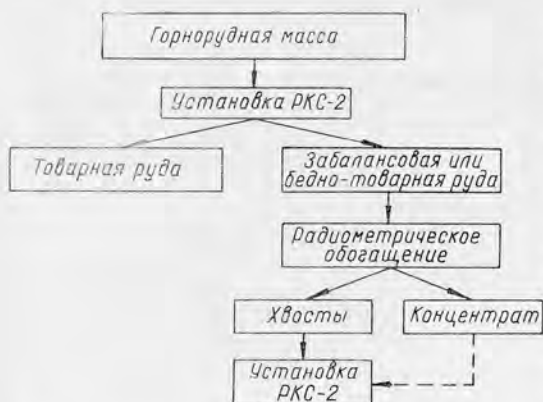


Рис. 9. Технологическая схема контроля горнорудной массы установками РКС-2 при радиометрическом обогащении.

При выборе места для КП необходимо обеспечить возможность систематического контроля работы отдельных установок. На крупных шахтах и карьерах с этой целью создается центральный КП с наиболее стабильной установкой, которая регулируется и эталонируется наиболее тщательно.

Основные виды КП с установками РКС-2

Рассмотрим некоторые виды КП, устанавливаемых на пути движения горнорудной массы от забоев к складам товарных продуктов.

Однопутевой подземный КП. На рис. 10—11 представлены общая схема и разрез камеры однопутевого подземного КП с автоматической подачей вагонеток.

Схема обеспечивает разделение горной массы на руду и породу для отдельной выдачи скиповым и клетьевым подъемами, и самокатное движение вагонеток от дозирующего стопора к задерживающему (между датчиками) и далее через автомат-стрелку к стволу шахты. При соответствующем эталонировании аппаратуры на КП выполняются количественные экспресс-анализы с последующей выдачей маркированных по сортам руд вагонеток на поверхность шахт.

Следует указать, что в условиях резких колебаний температур, при напряженном графике работы клетьевого подъема или при невозможности выполнить техусловия монтажа РКС на поверхности весьма целесообразна организация подземного КП. При этом качество анализов может быть улучшено за счет большей стабильности работы аппаратуры и меньшей зависимости времени измерений от графика работы подъемных механизмов.

Схема, изображенная на рис. 11, относится к случаю размещения КП в выработках с неустойчивыми породами и повышенным гамма-фоном. В менее сложных горно-технических условиях монтаж КП может быть значительно упрощен.

Двухпутевой подземный КП. На шахтах с мощными скиповыми и клетьевыми подъемами для обеспечения необходимой производительности экспресс-анализов вагонеток монтируются двухпутевые КП по схеме, изображенной на рис. 12; схема электрооборудования КП представлена на рис. 13а.

КП на поверхности шахт. Установки РКС-2 должны обеспечивать разделение всей горнорудной массы на отдельные потоки в соответствии с данным технологическим комплексом (см. рис. 7—9).

На рис. 14, 15 представлены схемы монтажа однопутевого автоматического КП на поверхности с самокатным движением вагонеток, разделяемых на 4 группы (сорта). Щит управления исполнительными механизмами можно использовать для дистанционного управления процессом сортировки.

При напряженном грузопотоке на шахтах большой производительности могут быть созданы двухпутевые КП (см. рис. 12 и 13б). Бесперебойное управление сортовыми стрелками 2, 3, 4 с помощью двух автоматических установок РКС обеспечивается переключателем напряжения питания (см. рис. 13а).

КП являются, как правило, основным измерительно-задающим элементом откаточных горок, с помощью которых осуществляется автоматическая сортировка, разгрузка и возврат пустых вагонеток к стволам шахт [15]. Наиболее распространенные типы автоматических сортировочных горок (АСГ) — тупиковые, кольцевые и с вагонеточными перестановочными платформами изображены на рис. 16—18. Схемы двух последних типов горок обеспечивают автоматическое разделение потока на 3 сорта руды и породу [15]. При выборе аппаратуры для АСГ необходимо учитывать, что производительность горки определяется циклом ра-

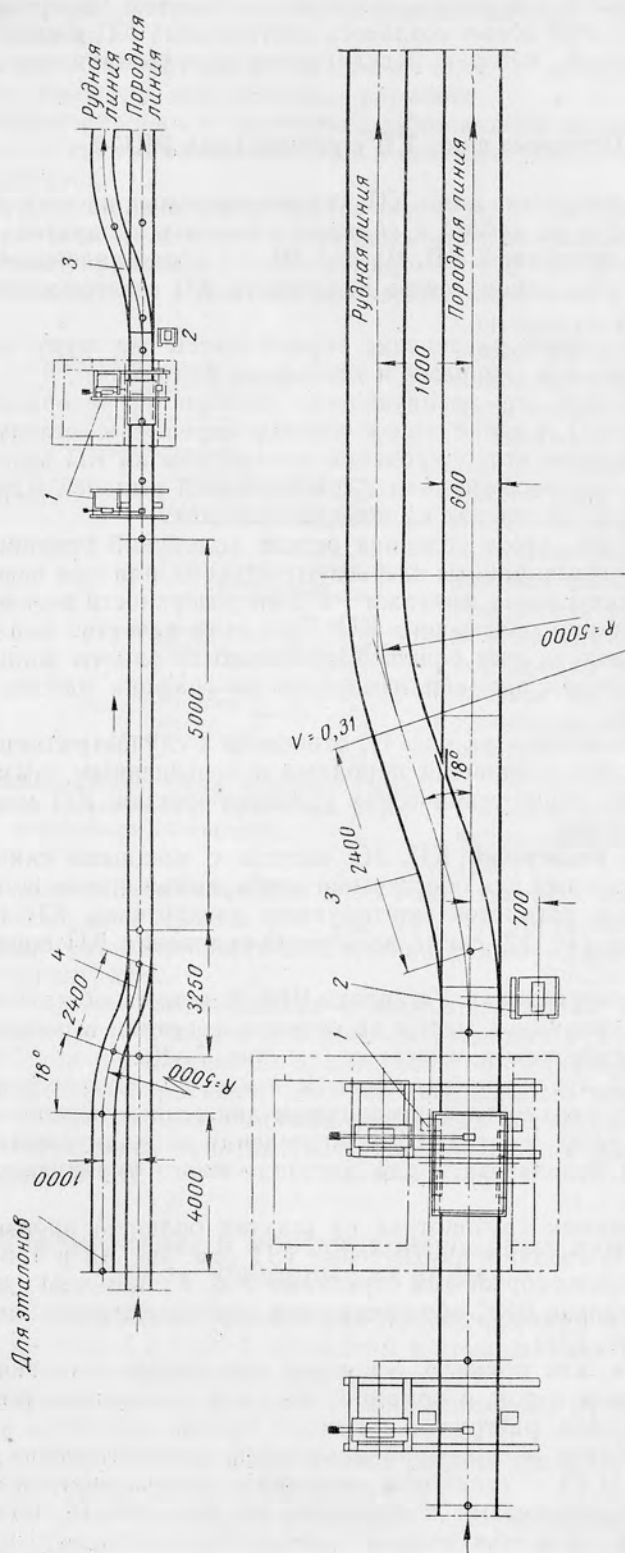


Рис. 10. Схема однопутевого подземного КП:

1 — дозирующий стопор; 2 — механизм перехода с электромагнитом; 3 — стрелочный перевод; 4 — резервный путь для этапонов.

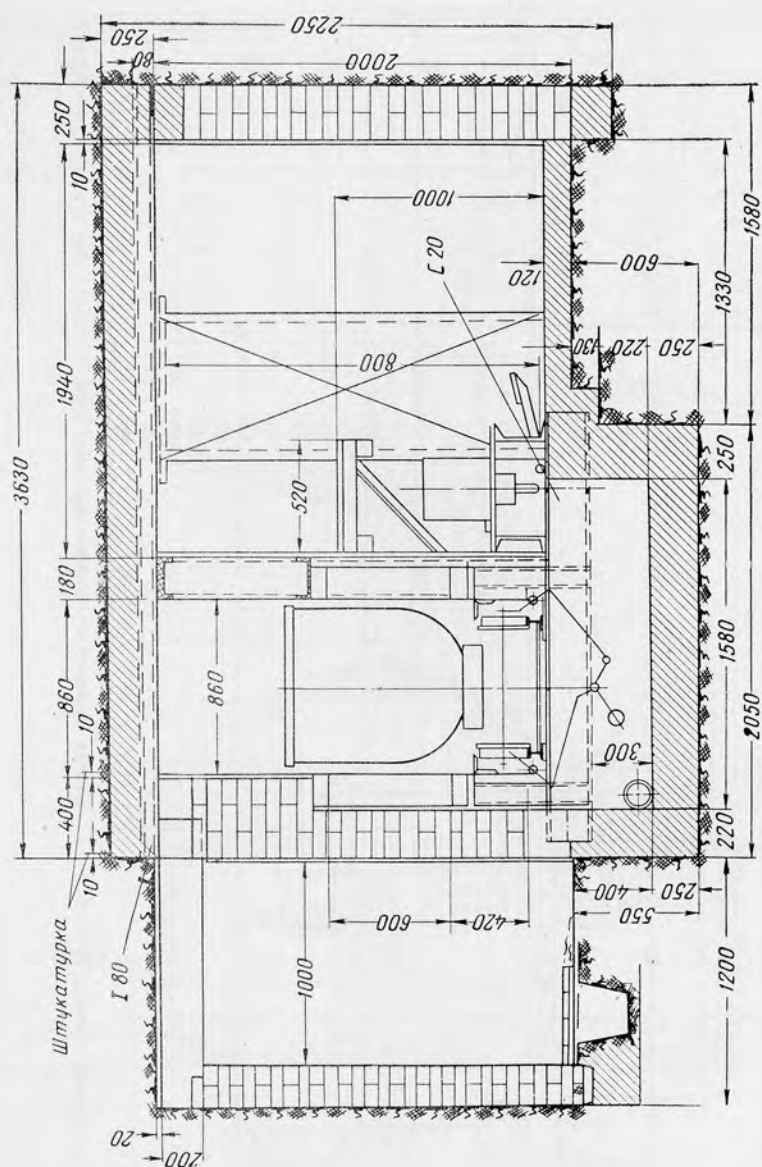


Рис. 11. Разрез камеры однопутевого подземного КП.

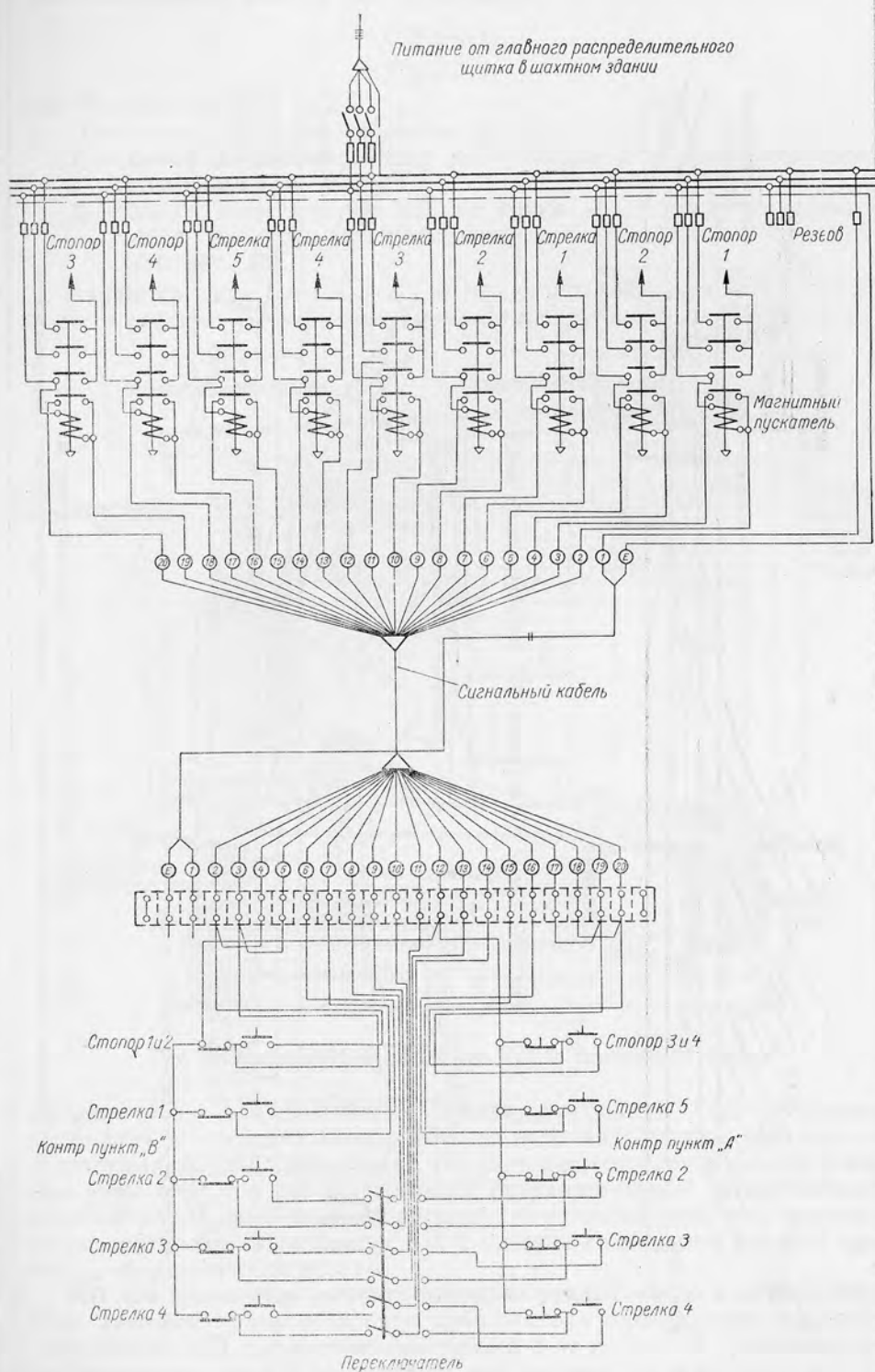


Рис. 13а. Схема электрооборудования двухпутевого КП на поверхности шахты.

боты радиометра РКС, релейного блока и стрелочных переводов. Условие безаварийной работы АСГ следующее:

$$\left. \begin{aligned} T &\geq t + t_1, \\ T &\geq t + t_2 \end{aligned} \right\} \text{м.}$$

где T — цикл работы АСГ;

t — время остановки вагонеток на КП;

t_1 — время движения между дозирующим 2 и задерживающим 1 стопорами (см. рис. 18);

t_2 — время движения от КП до точки 3 в пределах наибольшего участка, контролируемого сортирующей аппаратурой (см. рис. 18).

Например, если $t_1 = 15$ сек, $t = 10$ сек и $t_2 = 50$ сек, то $T = 60$ сек. Отсюда следует, что величина цикла лимитируется значениями t и t_2 и,

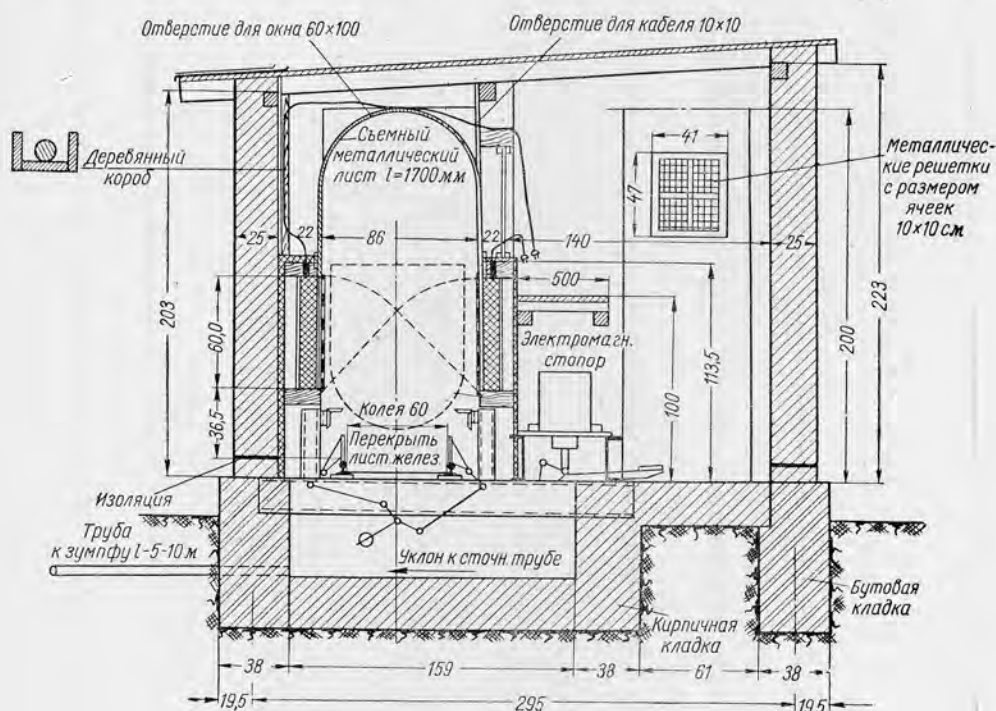


Рис. 15. Помещение однопутевого КП на поверхности шахты.

следовательно, для повышения производительности АСГ необходимо уменьшить расстояние между РКС и исполнительными механизмами (стрелками, опрокидывателями). На ряде месторождений бедные товарные руды попутной добычи проходят предварительный экспресс-анализ в вагонетках. В этом случае в процессе отгрузки не требуется автоматизация сортировки и создается КП с простой самокатной подачей вагонеток, оборудованный весами.

КП для проведения экспресс-анализов рудной массы в автомашинах. При массовой транспортировке добытых руд самосвалами создаются специальные КП, аналогичные изображенным на рис. 19. Отличительной особенностью этих КП является то, что датчики располагаются над кузовом автомашин; пункт обязательно имеет весы с приспособлением для остановки машин в фиксированном положении по отношению к датчикам.

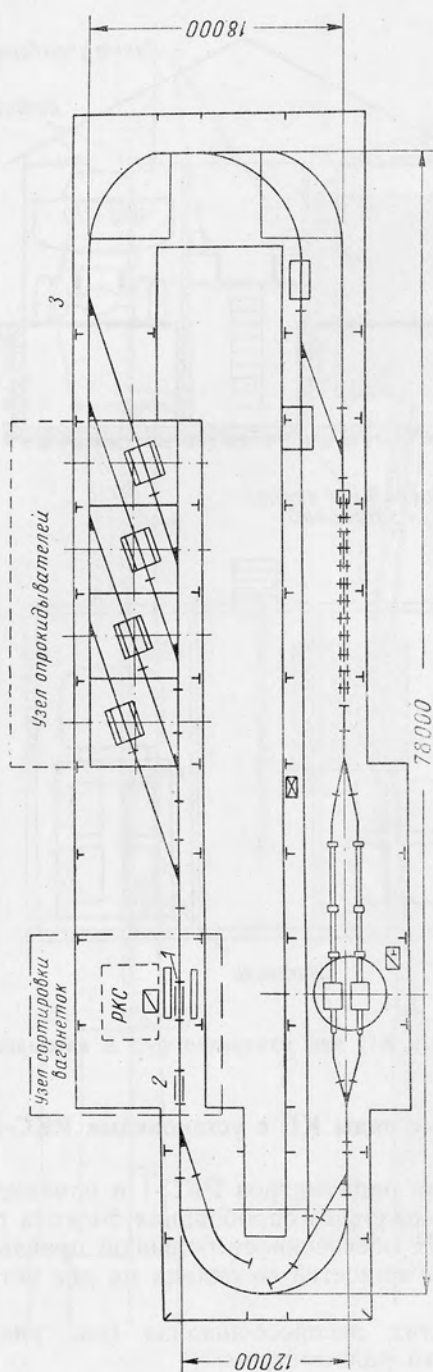


Рис. 18. Схема кольцевой АСГ с круговыми опрокидывателями:

1, 2 — задерживающий и дозирующий стопоры; 3 — конец контролируемого аппаратурой участка.

КП для промера железнодорожных вагонов. Экспресс-анализ руд в вагонах еще не имеет широкого применения и не обеспечен серийной аппаратурой. КП обычно создается совместно с железнодорожными весами на станциях или рудных складах.

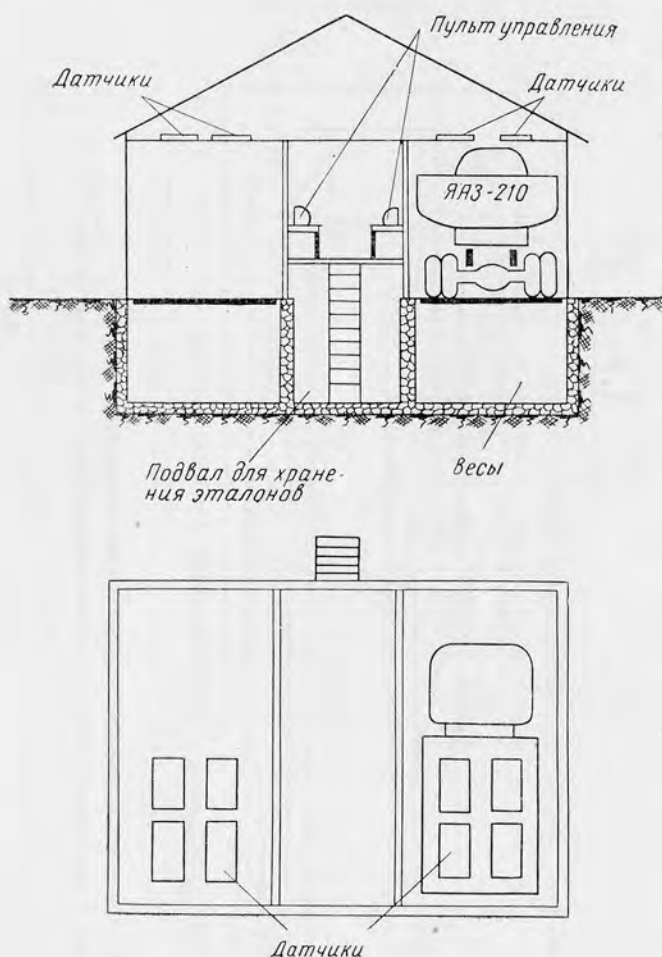


Рис. 19. Схема КП для измерения руд в автомашинах.

Основные виды КП с установками РКС-1

Схемы расположения радиометров РКС-1 и помещения для аппаратуры в цехе приемки и валового опробования богатых руд показаны на рис. 20 и 21. Такой КП обеспечивает большую производительность за счет самокатной подачи емкостей со склада на две установки РКС-1 и далее на сортировку.

На шахтных пунктах экспресс-анализа (см. рис. 7) создаются аналогичные КП с одним радиометром.

Для промера проб и конечного концентрата на фабриках гравитационного обогащения, для анализа недробленых геологических проб и контроля продуктов первичной сортировки богатых руд на шахтах создаются в соответствующих цехах и помещениях (с учетом требований приложения 1) КП с установками РКС.

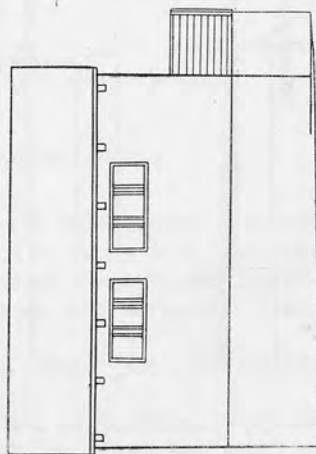
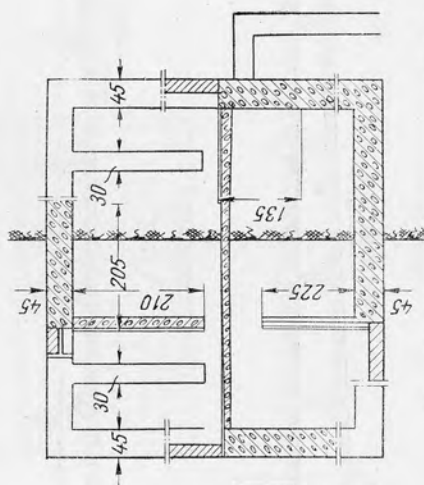
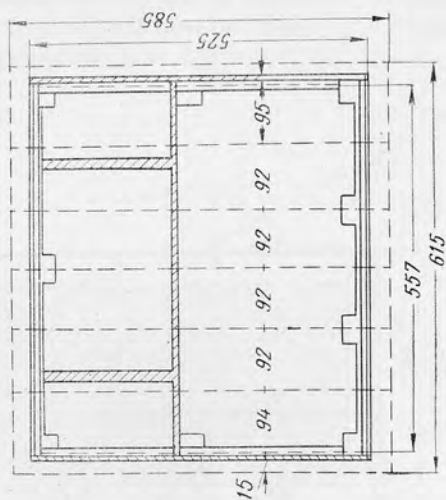
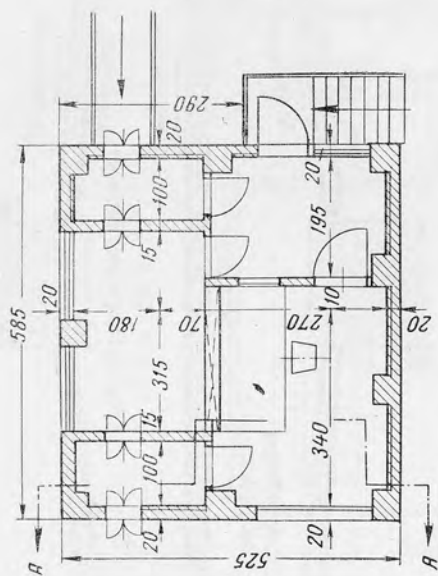
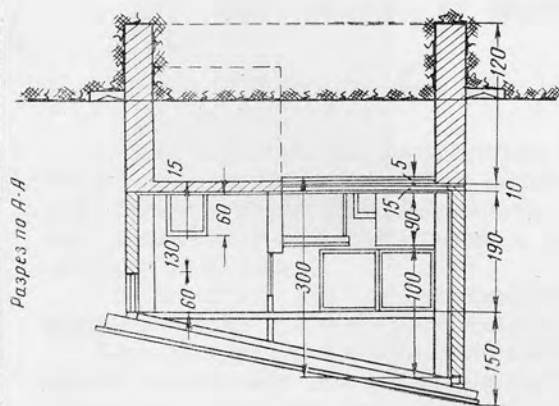
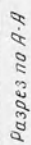


Рис. 21. Схема для установки РКС-1.

ГЛАВА III

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗОВ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК РКС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОРНОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РУДНИКОВ

Рациональность применения отдельных видов экспресс-анализов в основном определяется системой эксплуатации и разведки месторождений, масштабом горных работ, характером оруденения и сортностью рудного сырья. По этим факторам все эксплуатируемые месторождения урана можно условно разделить на две основные группы [15]: месторождения с селективной добычей богатых руд и попутным извлечением значительных масс бедных руд, закладочного материала и породы и месторождения с валовой добычей значительных масс бедных товарных и некондиционных руд.

На месторождениях первой группы установки РКС-1 и частично РКС-3 широко используются для выполнения следующих видов работ:

1) подсчет запасов урана в недрах на основе позабойных экспресс-анализов руд, добытых в выработках, оконтуривающих блоки («эксплуатационный» метод подсчета запасов);

2) оперативный учет добычи богатых руд за смену, сутки, декаду;

3) экспресс-анализ различных проб (из закладки, разведочных выработок, отвалов и т. п.)¹;

4) сортировка емкостей с рудой по качеству для подготовки укрупненных партий, направляемых при отгрузке на валовое опробование;

5) контроль правильности селективной выемки богатых руд, выявление случаев разубоживания в забоях;

6) экспресс-анализ концентратов гравитационного обогащения;

7) контроль и экспресс-анализ продуктов ручной и механической сортировки на поверхности.

Контроль всей отбитой горнорудной массы установками РКС-2 на этих предприятиях обеспечивает:

1) разделение руды и породы для предупреждения потерь и разубоживания при транспортировке через рудоспуски и при выдаче горной массы скиповыми подъемниками;

2) наиболее полный возврат потерь урана из выданной горной массы и закладки, для чего выделяются вагонетки с радиоактивным материалом, идущие на радиометрическое обогащение и переработку;

¹ Опробование закладки успешно выполняется также переносными радиометрами с направленной чувствительностью («Фон» и др.).

3) количественный экспресс-анализ бедных руд, получаемых при отработке закладки, а также при сортировке горной массы на поверхности;

4) экспресс-анализ материала мелкого класса крупности в бункерах и автомашинах, выделенного из некондиционных руд, для определения порядка дальнейшей переработки;

5) экспресс-анализ проб различных продуктов радиометрического обогащения, помещенных в контейнеры.

На месторождениях второй группы наибольшее значение имеет применение установок РКС-2 для разделения руды и породы в горных выработках, на поверхности шахт и карьеров; позабойного экспресс-анализа всех добытых руд в тех же условиях, а также для экспресс-анализа руд, добываемых при проходке разведочных выработок, с целью валового опробования.

Применение установок РКС-1 и РКС-3 на рудниках второй группы ограничивается экспресс-анализом различных недробленных проб, а также богатых руд на отдельных месторождениях с валово-селективной добычей.

Характер технологического комплекса шахт определяет только общую схему организации экспресс-анализов. Выбор рациональной схемы для конкретного комплекса определяется требованием максимального использования технических возможностей метода для решения задач контроля, экспресс-анализа, сортировки и т. п., целесообразным ограничением дублирования однородных измерений, а также возможностью прямого и оперативного контроля экспресс-анализов другими методами опробования.

Для практического внедрения метода на месторождениях с определенными типами руд в соответствии с этими требованиями необходимо:

1) определить круг задач, разрешимых с помощью экспресс-анализов, и выбрать необходимые типы аппаратуры;

2) наметить метод контроля результатов, установить объем контроля и периодичность его проведения;

3) выявить измерения, дублирующие друг друга, степень их рациональности и взаимной увязки;

4) обеспечить условия получения наибольшей точности экспресс-анализов путем выявления источников ошибок и устранения их влияния.

В связи с указанными требованиями рассмотрим основные положения методики экспресс-анализов и параметры аппаратуры, которые необходимо учитывать при оценке практических возможностей этих измерений.

2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗАХ РУД

В соответствии с приведенными в гл. I физическими особенностями отбитых руд при выполнении измерений необходимо учитывать следующие основные положения.

1. Определение концентрации (или количества) урана в отдельных емкостях является относительным, так как производится путем использования результатов эталонирования аппаратуры с помощью емкостей, заполненных рудой, с известной концентрацией урана.

2. Геометрия системы датчик — емкость должна быть постоянной при всех измерениях эталонов и проб в емкостях. Поэтому положение емкости по отношению к датчику необходимо механически фиксировать. Геометрия датчика должна обеспечивать регистрацию гамма-излучения измеряемого объема в пределах наибольшего практически возможного телесного угла. С этой точки зрения лучшими являются цилиндрические и П-образные датчики. Только при однородном материале допустимо измерение при малых телесных углах.

3. В зависимости от химического состава руд и размеров емкости изменяется степень насыщения измеряемой массы по гамма-излучению. Для насыщенных пластов измеряемая интенсивность гамма-излучения практически пропорциональна концентрации $Ra (B+C)$, которая обычно выражается в соответственных единицах равновесного с ним урана. Для ненасыщенных пластов такая же зависимость справедлива для общего количества $Ra (B+C)$ и равновесного с ним количества урана в измеряемом объеме (с учетом эффекта поглощения гамма-излучения).

3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Чувствительность. Чувствительностью любого измерительного прибора называется отношение изменения показаний счетно-измерительного индикатора (Δy) к приращению измеряемой величины (Δx), вызвавшему это изменение, т. е.

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

При работе с установками РКС используются два метода измерений — абсолютный счет количества импульсов (S выражается в количестве импульсов в минуту, приходящихся на 1% урана) и измерение скорости счета (S выражается в делениях шкалы прибора на 1% урана).

Шкала прибора может быть равномерной (чувствительность остается постоянной для любого интервала шкалы) или неравномерной (одному и тому же изменению измеряемой величины в разных участках шкалы соответствуют разные линейные перемещения указателя).

У приборов с газоразрядными счетчиками при измерении больших интенсивностей излучения из-за просчета импульсов чувствительность будет уменьшаться; ионизационные камеры обладают постоянной чувствительностью независимо от измеряемой интенсивности.

Чувствительность радиометра определяется по графику зависимости показаний прибора от интенсивности излучения и равна тангенсу угла наклона касательной к кривой в данной точке.

Не следует смешивать чувствительность прибора с порогом чувствительности, под которым понимают наименьшее уверенно регистрируемое значение измеряемой величины.

Порог чувствительности определяется утроенной величиной средней квадратичной ошибки серии измерений нормального фона

$$I_{\min} = 3 \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}},$$

где Δ — отклонения отдельных измерений от среднего арифметического;

n — число измерений.

Любая величина, превышающая значение $I_{\min}$, может быть отсчитана над уровнем флуктуаций фона.

Диапазон измерения интенсивностей и линейность показаний. Диапазоном измерения называется область, ограниченная наименьшим уверенно регистрируемым значением измеряемой величины (порог чувствительности) и некоторым предельным ее значением, отвечающим определенным техническим требованиям¹. Важнейшим из этих требований является степень линейности показаний индикатора.

Нелинейность в данной точке характеризуется относительным отклонением показаний прибора от строго линейных показаний; последние

¹ Обычно весь диапазон перекрывается несколькими поддиапазонами (шкалами), находящимися в определенном соотношении с первым, имеющим максимальную чувствительность.

определяются прямой, проведенной через начало координат при скомпенсированном (или вычтенном) фоне к начальному прямолинейному участку характеристики.

Линейность устанавливается по графику градуировки, построенному по данным измерения набора точечных стандартных эталонов, помещаемых в фиксированную точку таким образом, чтобы их суммарная интенсивность соответствовала конечной точке исследуемого поддиапазона.

Градуировка из одной точки обеспечивает постоянство геометрии и автоматический учет влияния рассеянного излучения.

Одной из основных причин нелинейности показаний является ограниченное разрешающее время счетного устройства τ , в течение которого 2 импульса, разделенные этим или меньшим временем, регистрируются схемой как один импульс. Максимальное число частиц, регистрируемых схемой в единицу времени при разрешающем времени τ , будет равно

$$n = \frac{1}{\tau}.$$

Воспроизводимость измерений. Воспроизводимость показаний радиометра характеризует стабильность его работы при действии внешних и внутренних факторов, среди которых можно указать на следующие: изменение питающих напряжений, старение деталей схемы, изменение температуры, влажности и давления окружающей среды, действие магнитных и электростатических полей и т. п.

Работу радиометра можно считать надежной, если его качественные показатели при условии нормальной эксплуатации изменяются в пределах, допустимых техническим паспортом прибора. Воспроизводимость показаний обычно оценивается в процентах расхождения основных технических характеристик от номинального их значения за определенный промежуток времени или при определенных изменениях различных факторов, влияющих на стабильность.

4. МЕТОДИКА ЭТАЛОНИРОВАНИЯ УСТАНОВОК РКС

При эталонировании установок, что является важнейшим этапом методики измерений, необходимо учитывать общие принципы измерений при экспресс-анализах и конкретные основные параметры применяемой аппаратуры.

Необходимо также учитывать отсутствие возможности повторных измерений емкостей в ряде случаев, например при наиболее массовом виде измерений — контроле вагонеток у ствола. Поэтому система эталонирования должна обеспечивать не только надежную градуировку, но и постоянный контроль стабильности аппаратуры.

В настоящее время основными являются два метода эталонирования:

- 1) по валовому опробованию группы партий с применением различных эквивалент-эталонов;
- 2) по эталонным емкостям.

При выборе того или иного метода необходимо учитывать возможности выполнения валового опробования в значительных объемах. Преимущество первого метода состоит в том, что при этом автоматически учитываются и исключаются погрешности, нормальные для средних производственных условий измерений: колебания коэффициентов равновесия по R_a ($B + C$), сегрегация и влажность материала, колебания гамма-фона, влияние соседних емкостей и т. п. Высокая точность эталонирования по валовому опробованию обеспечивается выполнением ряда условий.

Показания установок РКС-2 должны быть линейны для всех измеряемых концентраций урана в рудах отдельных партий; в подавляющем

большинстве случаев новые приборы РКС-2 удовлетворяют этому требованию. В противном случае эталонирование ведется по определенным диапазонам концентраций, в пределах которых график чувствительности прибора достаточно линеен.

Число емкостей в эталонной партии должно зависеть от особенностей вещественного состава руд; наименьшая партия для равновесных однородных руд состоит из 25—30 емкостей.

При линейной характеристике минимальное число партий, необходимых для эталонирования, должно быть равно одной-двум, в зависимости от условий измерений. При значительной величине гамма-фона и отсутствии «нулевого» эталона¹ берутся две партии с различными средними концентрациями. Желательно, чтобы концентрация урана одной партии соответствовала границе забалансовых и товарных руд, а во второй — богатым товарным рудам предприятия. При значительном не всегда постоянном фоне берутся одна-две партии и «нулевой» эталон; при малом стабильном фоне и относительно богатых рудах — одна партия с достаточно высокой концентрацией, причем все измерения ведутся с компенсацией фона.

Если по условиям предприятия возможно валовое опробование большего числа партий, то точность эталонирования при этом повышается. Так, по опытным данным, по одной партии погрешность составляла $\pm 3\%$, при пяти партиях — $\pm 2\%$.

Наряду с емкостями эталонных партий систематически следует измерять стандартные источники излучений или специальные эквивалент-эталоны. Последние изготавливаются на месте из хорошо усредненного порошка богатых руд крупностью 1—2 мм, герметично упакованного в металлические коробки или трубки, и надежно маркируются. Количество материала в отдельном эталоне устанавливается в соответствии со средними активностями эталонных партий. При измерениях обеспечивается строгое постоянство положения эталонов относительно датчиков с помощью надежной системы подвеса.

Для определения истинной величины гамма-фона места, где располагаются установки, проще всего использовать «нулевой» эталон. Фон определяется с особой тщательностью для КП, расположенных на отвалах, вблизи складов или в горных выработках при анализах или сортировке бедных руд.

По результатам химических и радиометрических анализов проб партий определяется цена деления прибора для каждого диапазона (в процентном содержании урана, приходящемся на одно деление) и одновременно номинальное значение концентрации, соответствующее взятым эквивалент-эталонам. При нескольких эталонных партиях строится график зависимости показаний установки от средних концентраций, являющийся характеристикой чувствительности прибора (эталонировочный график).

Вся рабочая градуировка выполняется затем по эквивалент-эталонам, а определение концентрации урана в отдельных емкостях или партиях — по величине цены деления прибора или по характеристике чувствительности (рис. 22).

В зависимости от условий эксплуатации установок повседневное измерение эквивалент-эталонов производится не менее 2—3 раз в смену, а при особо ответственных анализах — гораздо чаще. Характеристику чувствительности целесообразно получать ежемесячно. Эта характеристика является важнейшей градуировочной кривой приборов, с ее помощью можно производить:

¹ «Нулевым» эталоном служит емкость с неактивным материалом, близким по вещественному составу к измеряемым рудам (например, уголь, известняк, железная руда и т. п.).

1) окончательную регулировку чувствительности и в соответствии с назначением установок добиваться наибольшей линейности показаний в пределах измеряемых концентраций;

2) обеспечение идентичности или определение соотношения чувствительностей различных установок, смонтированных на отдельных точках для одних и тех же анализов;

3) определение воспроизводимости показаний во всем диапазоне при повторении градуировки через различные промежутки времени.

Следует указать, что при существенном изменении химического состава или состояния равновесия руд валовое эталонирование выполняется заново: эквивалент-эталон и цена деления при этом получают новые номинальные значения.

При отсутствии оборудования, необходимого для валового опробования партий весом в 25 т и более, градуировка выполняется по эталонным емкостям. Химический состав эталонов должен соответствовать анализируемым рудам. Поэтому материал для эталонов целесообразно

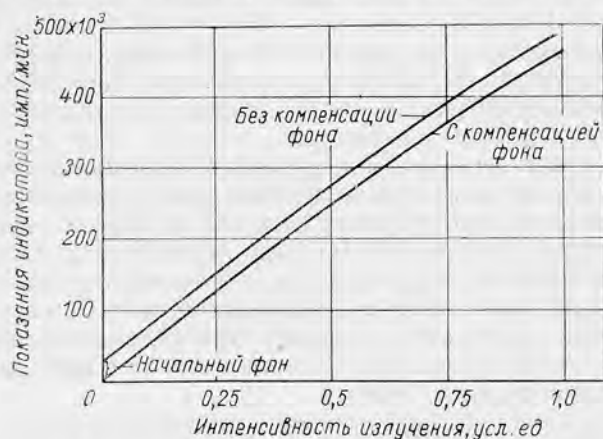


Рис. 22. Характеристика чувствительности установки РКС «Стенд».

получать из технологических проб, либо путем усреднения мелких проб, отбираемых на КП в течение нескольких недель из емкостей с данным типом руд. При накоплении материала необходимо обеспечить соответствие среднего состава руд и отбираемых частных проб по крупности.

Количество эталонных емкостей определяется условиями, указанными выше для эталонных партий. При наличии автоматической сортировки целесообразно иметь эталоны, соответствующие границам сортов руд, а также «нулевой» эталон.

Исходный материал дробится до $(-30) - (-50)$ мм, тщательно усредняется и сокращается до массы, вдвое большей веса эталона. После квартования половина упаковывается в эталонную емкость, а остаток обрабатывается по схеме, изображенной на рис. 23, с коэффициентом 0,5 до получения 4—9 аналитических проб [1]. Эти порошки подвергаются многократным химическим и радиометрическим анализам на радий и уран; необходимо также определить состояние равновесия по $Ra (B+C)$ и коэффициент эманирования $K_{эм}$. Окончательный паспорт эталона составляется по усредненным данным, включая и арбитражные (если таковые были необходимы). Как показывает опыт, целесообразно все эталоны, независимо от состояния эманирования, герметизировать и применять после полного накопления эманации. Такие эталоны обеспечивают удовлетворительную точность экспресс-анализов только тех руд, по отношению к которым материал эталонов является представительным.

Для руд, отличающихся по химическому составу от материала эталонных емкостей, последние практически могут применяться только как эквивалент-эталоны; для определения условной концентрации эталонов в этом случае необходимо выполнять контрольное валовое опробование, т. е. эталонировать по партиям. Кроме того, при значительных или непо-

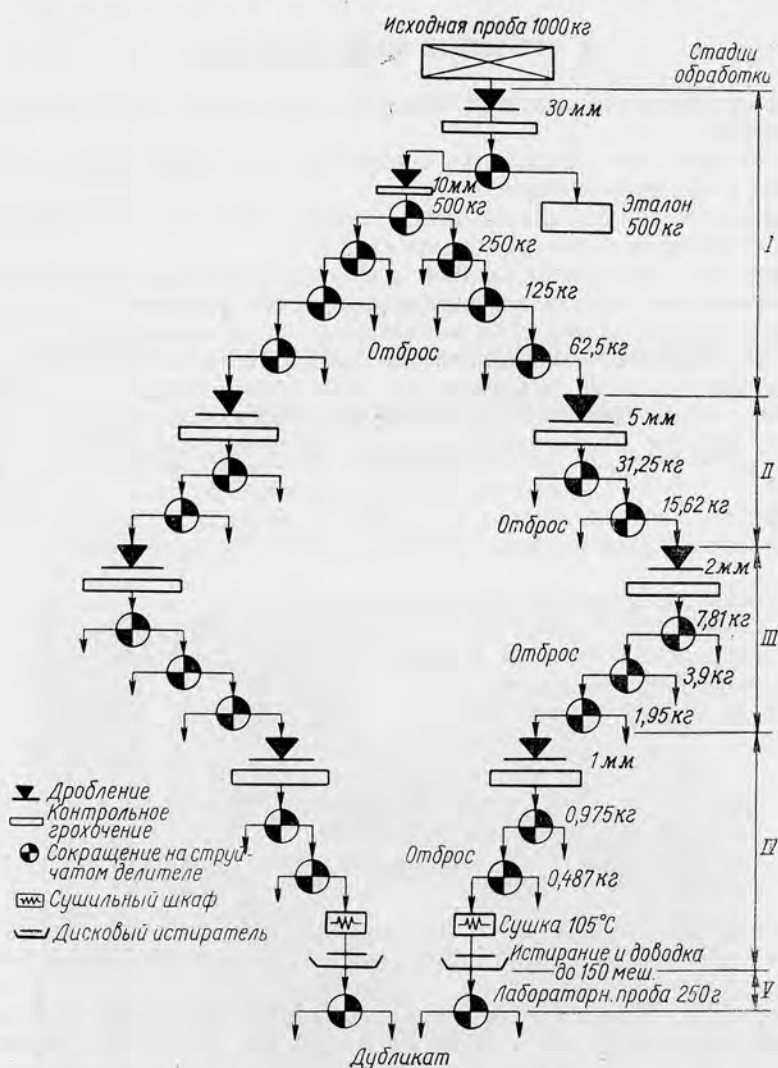


Рис. 23. Примерная схема обработки пробы для изготовления эталонов.

стоянных $K_{эм}$ руды герметизированные эталоны не удовлетворяют требованию представительности и для исходного материала. В этом случае также необходимо периодическое определение поправочных коэффициентов на основе контрольного валового опробования.

Таким образом, для обеспечения требуемой производству точности экспресс-анализов на предприятиях необходимо иметь технические возможности для механизированной обработки валовых проб в 30—50 т. Конкретная мощность установки валового опробования выбирается с учетом числа типов и радиологических особенностей добываемых руд (равновесие, эманирование и их постоянство). Расположение установок в составе технологического комплекса должно быть таким, чтобы обе-

спечить проведение контрольного валового опробования для всех (или большинства) точек, где производятся количественные экспресс-анализы. При отсутствии таких установок гамма-экспресс-анализы обеспечивают необходимую точность только для руд слабоэманулирующих и равновесных (или с постоянным сдвигом равновесия).

5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АНАЛИЗОВ

При производстве экспресс-анализов возможны два основных вида измерений:

1) анализы для определения средней концентрации урана по группе емкостей с заданной точностью;

2) анализы для оценки качества горнорудной массы в отдельных емкостях, обеспечивающие их сортировку.

Допустимые величины ошибок для этих видов анализа изменяются в зависимости от радиологических и физических особенностей руд и средних концентраций урана. Для равновесных слабоэманулирующих руд, или с определенным сдвигом равновесия по Ra (B + C), точность групповых анализов рядовых товарных руд может быть доведена до $\pm 5\%$. Необходимое число емкостей n зависит от вариации концентраций по отдельным пробам и ориентировочно определяется следующим выражением [1, 5]:

$$n = \frac{4v^2}{\delta^2}, \quad (1)$$

где δ — заданная ошибка опробования в %;

v — коэффициент вариации, характеризующий равномерность распределения металла в рудной массе.

Этот коэффициент равен

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{q}, \quad (2)$$

где q — средняя концентрация металла в % или делениях шкалы прибора;

σ — среднеквадратичное отклонение концентраций отдельных проб от q .

Для определения v данного типа руд необходимо провести измерения всех проб нескольких партий различных содержаний (поскольку v зависит также от содержания).

В зависимости от значений коэффициента v и заданной δ определяется величина n и с учетом типа емкостей — барабаны, вагонетки, автомашины, железнодорожные вагоны — вес партии, удовлетворяющей заданным требованиям анализа.

Точность отдельных анализов невысока и весьма существенно зависит от указанных особенностей руд, средних концентраций и размеров емкостей. Так, при достаточно усредненном равновесном материале погрешность единичных анализов составляет для вагонеток $\pm 25\%$, ящиков и барабанов $\pm 15\%$, автомашин $\pm 25-40\%$, железнодорожных вагонов $\pm 50\%$ и более.

ГЛАВА IV

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ РУД В БОЛЬШИХ ЕМКОСТЯХ

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ

Для выполнения измерений в больших емкостях наиболее целесообразно использовать три новые серийные установки РКС-2.

Радиометр РКС «Стенд» (рис. 24) состоит из четырех кассет, содержащих по 25 счетчиков СТС-8, и измерительного блока; последний вклю-

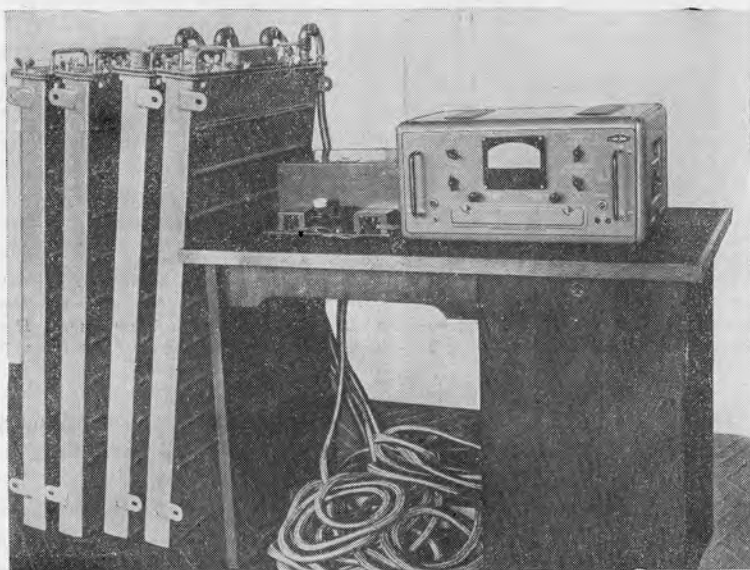


Рис. 24. Общий вид установки РКС «Стенд».

чает схему коммутации счетчиков, интенсивметр и схему питания; сетевое напряжение 127 или 220 в подается в блок через ферромагнитный стабилизатор типа КРС-0,2 (рис. 25).

Сигналы от четырех датчиков подаются на вход усилителя-смесителя; переключатель дает возможность работать при любом числе кассет. Импульсы после усилителя поступают на телефонные гнезда и нормализатор, а затем подаются на интегрирующий каскад с дозирующей емкостью.

Катодный повторитель между схемой интегратора и нормализатором обеспечивает устранение взаимного влияния каскадов схемы и понижение внутреннего сопротивления источника импульсов. При переключении поддиапазонов изменяется величина дозирующей емкости и постоянной времени интегрирующего контура (2, 5, 10 и 20 сек). Напряжение на контуре измеряется ламповым вольтметром, отградуированным в импульсах в минуту. Для установления нулевых показаний в блок измерения включен каскад компенсации фона.

В схему питания входят электронный стабилизатор анодного напряжения, стабилизатор цепей смещения и высоковольтный генератор питания счетчиков. В каждом датчике имеется температурная компенсация

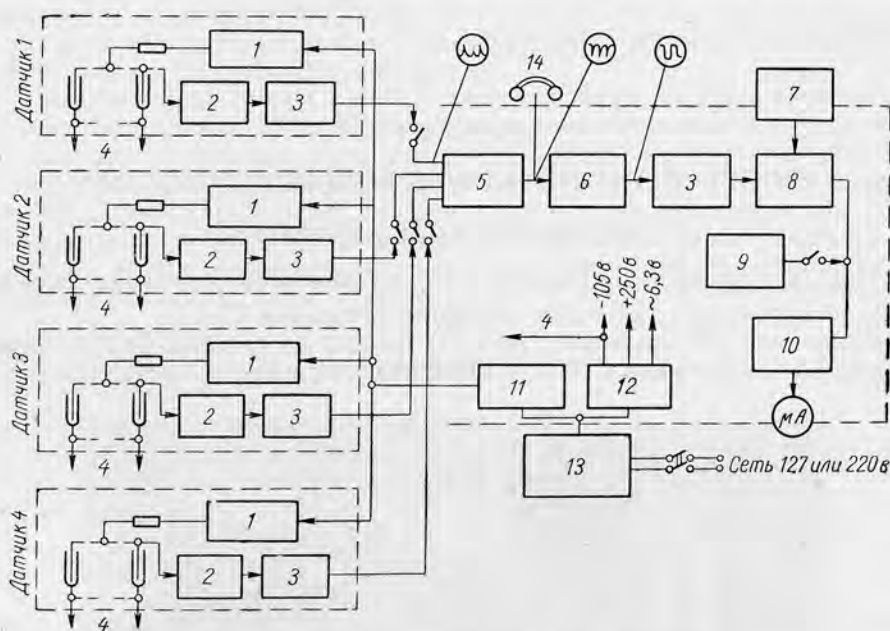


Рис. 25. Блок-схема установки РКС «Стенд»:

1 — высоковольтный источник с температурной компенсацией; 2 — усилитель; 3 — катодный повторитель; 4 — регулировка напряжения; 5 — усилитель-смеситель; 6 — нормализатор; 7 — компенсатор фона; 8 — интегратор; 9 — нагрузка RC; 10 — ламповый вольтметр; 11 — высоковольтный генератор; 12 — питание; 13 — ферромагнитный стабилизатор; 14 — телефон.

сдвига плато счетчиков — катодный повторитель с термосопротивлениями типа ММТ и коронным стабилизатором. Чувствительность каждого датчика порядка $200 \frac{\text{имп/мин}}{\text{мкр/ч}}$.

Прибор позволяет измерять пробы руд с концентрацией равновесного урана от 0,001 до 1,0%. Весь этот диапазон разбит на 4 шкалы — 15, 50, 150 и 500 тыс. имп/мин . Характеристика чувствительности линейна на первых трех диапазонах с точностью $\pm 5\%$, на последнем — с точностью $\pm 10\%$. При измерении больших активностей эффективность датчиков может быть уменьшена за счет изменения числа счетчиков до 10 или 15 в каждой кассете. Зависимость чувствительности от числа счетчиков в кассете представлена на рис. 26. Радиометр работает стабильно при колебаниях внешней температуры от -20 до $+40^\circ\text{C}$.

В настоящее время разработана переносная установка РКС «Кварц» на полупроводниковых элементах с универсальным питанием, предназначенная для измерений в горных выработках и полевых условиях. Описание установки приведено в гл. V.

Радиометр РКС «Стрела» (рис. 27, 28) предназначен для проведения экспресс-анализов и автоматической сортировки вагонеток. Датчики прибора такие же, как у радиометра «Стенд». Измерительный блок, кроме схемы коммутации и интенсиметра, имеет каналы записи и сортировки, исполнительные каскады, реле времени, счетчики числа вагонеток по сортам. В комплект входит также блок питания, самопишущий потенциометр ЭПП-09 и ферромагнитный стабилизатор КРС-0,5.

Сигналы с датчиков подаются на вход усилителя-смесителя, нормализуются и поступают на интегрирующие каскады двух каналов — измерительного и сортировочного. Каждый канал в свою очередь имеет два интегратора: сортировки и измерения. Напряжение на интегрирующих контурах измеряется ламповым вольтметром и регистрируется самописцем типа ЭПП-0,9. Переключение вольтметра с одного каскада на другой осуществляется пороговой схемой переключения диапазонов. В измерительном канале интегратор имеет схему линеализации с обратной связью через катодный повторитель. Балансный ламповый вольтметр позволяет работать с компенсацией фона.

При остановке вагонетки между датчиками в схему поступает сигнал с измерительного стопора, запускающий каскад временного ограничения; этот каскад на период установления показаний выключает схему переключения диапазонов. Одновременно с этим производится подготовка переключения схемы сортировки: сигналом реле времени через 15 сек включается соответствующее пороговое реле и схема управления работой стопоров и стрелок. Управление этими исполнительными ме-

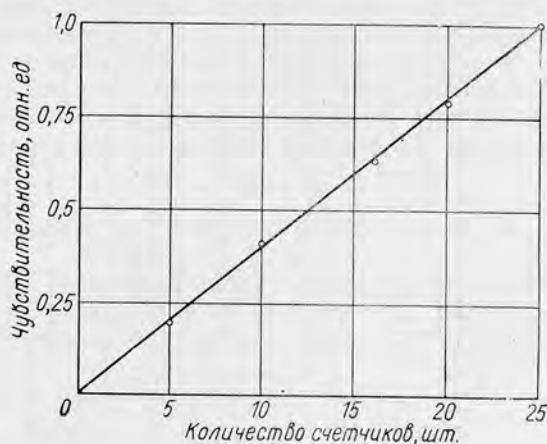


Рис. 26. Зависимость чувствительности установки РКС «Стенд» от числа счетчиков.

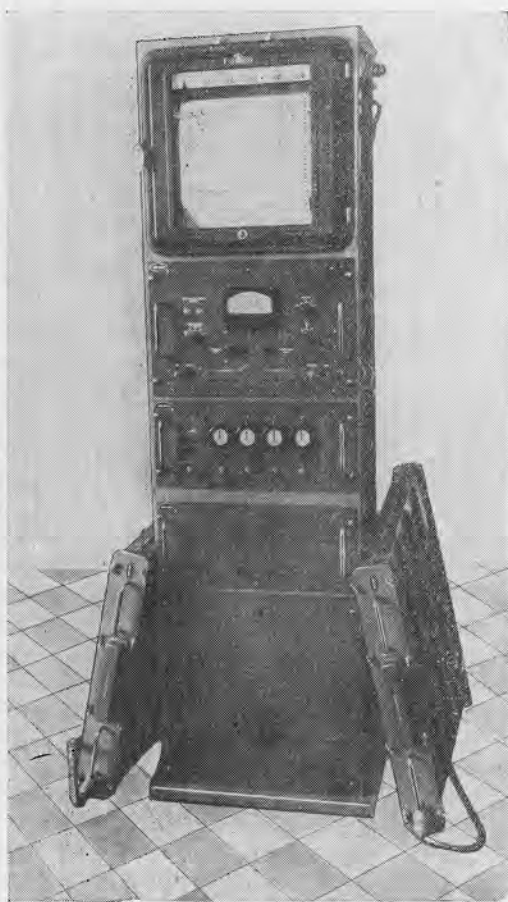
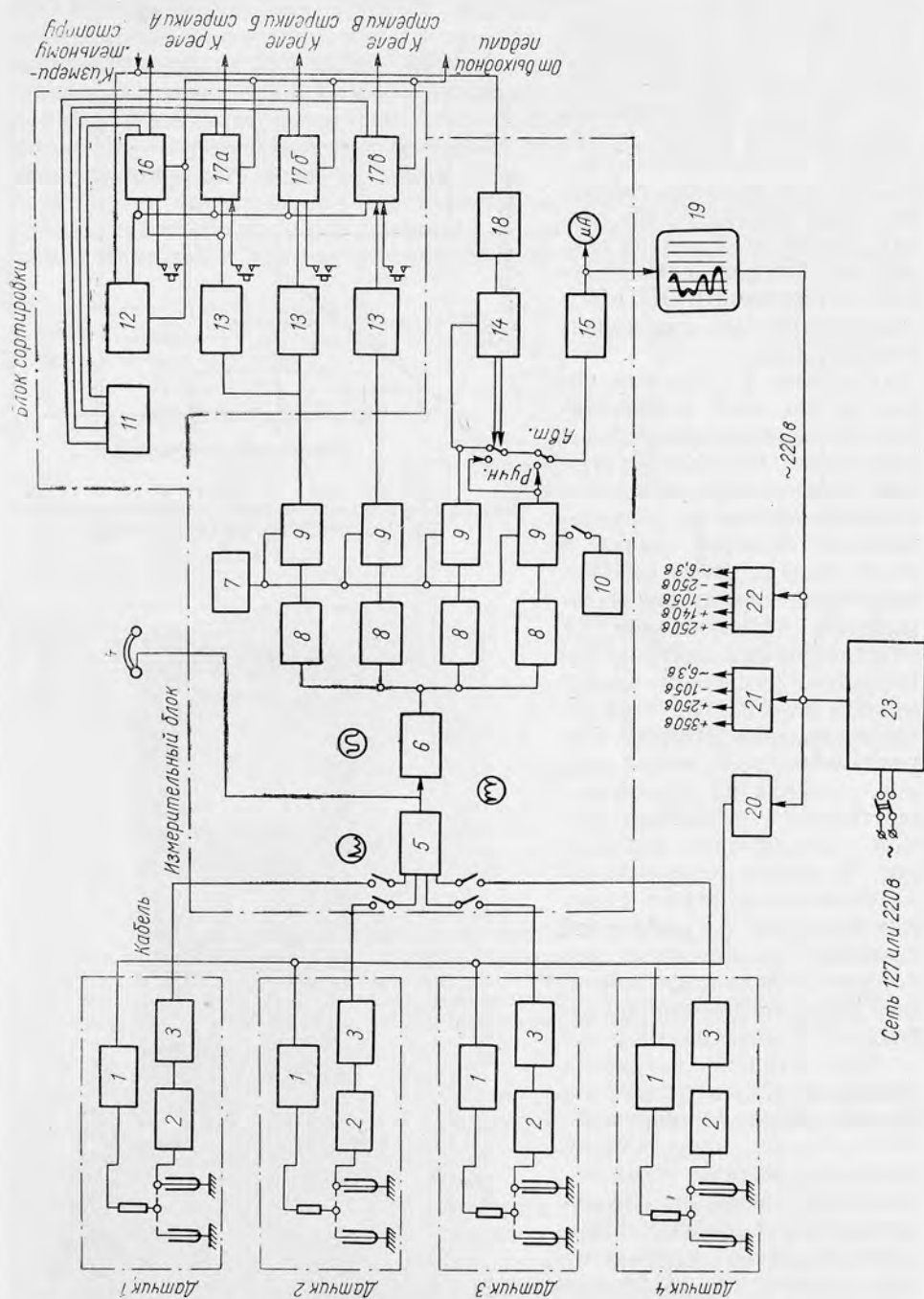


Рис. 27. Общий вид установки РКС «Стрела».

Рис. 28. Блок-схема установки РКС «Стрела»:

1 — высоковольтный источник с температурной компенсацией; 2 — усилитель; 3 — катодный повторитель; 4 — телефон; 5 — усилитель — смеситель; 6 — нормализатор; 7 — компенсатор фона; 8 — катодный повторитель; 9 — интегратор; 10 — затяжка RC; 11 — схема регистрации количества вагонов; 12 — реле времени; 13 — схема превышения уровня; 14 — схема переключения диапазонов; 15 — ламповый вольтметр; 16 — измерительные стопоры; 17 — схемы управления стрелами; 18 — схема временного ограничения; 19 — самопишущий регистратор типа ЭП1-09; 20 — высоковольтный генератор; 21 — питание измерительного блока; 22 — питание блока сортировки; 23 — ферромагнитный стабилизатор.



ханизмами может осуществляться и дистанционно с помощью кнопок блока сортировки.

Прибор предназначен для измерения руд, погруженных в вагонетки, с концентрацией урана от 0,001 до 1,0%. Характеристика чувствительности линейна на всем диапазоне концентраций в пределах $\pm 10\%$.

При напряженном графике контроля вагонеток приборы «Стенд» и «Стрела» монтируются со сдвоенными кассетами в датчике, что обеспечивает непрерывность измерений в случае дефекта какой-либо кассеты.

2. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ РУД В ВАГОНЕТКАХ

Задачи, решаемые на основе экспресс-анализов горнорудной массы в вагонетках, приведены выше (см. гл. III). Контрольные пункты с установками РКС создаются в горных выработках и на поверхности шахт в

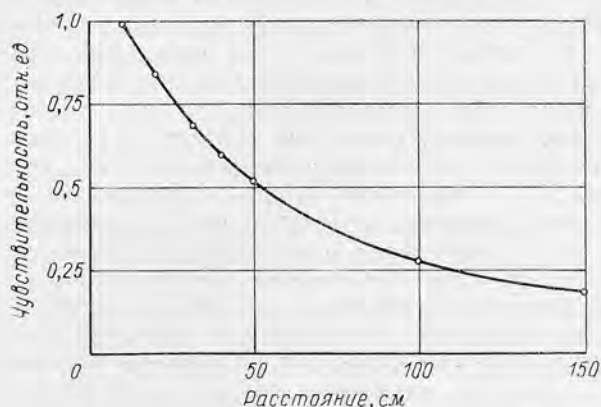


Рис. 29. Зависимость чувствительности установок РКС «Стенд» от расстояния между датчиками и бортами вагонеток.

соответствии с требованиями, приведенными в приложении 2. Расстояние от датчиков до стенок вагонеток не должно превышать 20—30 см, так как при дальнейшем его увеличении чувствительность аппаратуры существенно уменьшается (рис. 29). Если эти условия выполнить невозможно, необходимо принять меры для повышения порога чувствительности до уровня, обеспечивающего измерения минимальных заданных концентраций.

Толщина дополнительного экрана датчиков выбирается в соответствии с конкретными условиями анализов. При этом следует учитывать, что необходимая фильтрация гамма-излучения контролируемой руды обеспечивается стальными стенками вагонеток ($5 \text{ мм} \approx 4 \text{ г/см}^2$). При организации экспресс-анализов обязательно обеспечивается строгая маркировка всех вагонеток, выдаваемых на поверхность, с указанием места добычи (горизонт, блок, забой) и даты (смены). Измерения активности руд в отдельных вагонетках могут выполняться оператором (при немеханизированной подаче и сортировке) или автоматически. В первом случае продолжительность измерения определяется временем равновесия интенсиметра прибора. Величина времени равновесия вычисляется по соответствующей формуле [6, 18]. Результаты измерений активности руд в вагонетках и эталонов (см. гл. III) заносятся в журнал оператора (приложение 3). При автоматических измерениях выдержка вагонеток в датчике задается реле времени блока сортировки (см. рис. 28), а величина интенсивности регистрируется на ленту. В жур-

нал заносятся лишь сведения по маркировке вагонеток; замеры эталонов могут выполняться и без автоматической регулировки времени выдержки.

Пропускная способность установок «Стенд» и «Стрела» определяется двумя факторами: временем равновесия интегрирующей схемы и организацией подачи и откатки вагонеток.

Наибольшая производительность достигается при самокатной подаче и на автоматических сортировочных горках. В некоторых случаях для повышения производительности откатки возникает необходимость выполнять измерения руд не в отдельных вагонетках, а в нерасцепленных составах. Для решения задачи предложены два варианта измерений:

1. Экранировка торцевой части датчиков, резко уменьшающая влияние активности руд в соседних вагонетках на результаты измерений. Остаточный эффект исключается путем введения эмпирических поправок.

2. Применение двух малых дополнительных датчиков с компенсационной схемой, автоматически исключаяющей влияние излучения руд в соседних вагонетках; этот вариант требует практической проверки.

Интенсивность гамма-излучения руды отдельных вагонеток может определяться по стрелочному индикатору прибора двумя способами: с компенсацией фона и без компенсации его.

Первый способ является основным, так как при наличии «нулевого» эталона обеспечивается автоматическое вычитание истинного начального фона (см. рис. 22), упрощаются запись и вычисления при обработке данных визуальных отсчетов по прибору или зарегистрированных на диаграммную ленту. Измерения с компенсацией требуют систематического контроля за нулевым положением стрелки прибора.

При работе установки в качестве контрольно-отсечного прибора, разделяющего и сортирующего горнорудную массу, целесообразно устанавливать прямые пределы показаний индикатора (по диапазонам), соответствующие границам различных сортов руд. В этом случае каждая вагонетка маркируется после промера определенным индексом, на основании которого руда направляется для дальнейшей обработки. Эталонирование установок может выполняться по валовому опробованию или по эталонным емкостям. Пример результатов эталонирования по партиям приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эталонирования установки РКС по валовому опробованию руд в автомашинах

Тип руды	Количество автомашин	Вес руды (сухой), <i>т</i>	Удельная интенсивность, <i>усл. ед.</i> <i>т</i>	Результат эталонирования для одной автомашины весом 3,5 <i>т</i>	
				интенсивность излучения	
				<i>усл. ед.</i>	<i>усл. ед.</i> <i>кг У</i>
I	70	230,66	0,699	2,45±0,08	0,648
II	32	111,73	0,730	2,70±0,012	0,576
III	36	122,18	0,623	2,18±0,08	0,630
IV	47	131,81	0,340	1,29±0,06	0,658
V	35	119,41	0,744	2,60±0,12	0,6295

Примечания.

1. Пробы для химического анализа отбирались с транспортера в объеме 100/0 при естественной крупности и 10/0 — после дробления до — 5 мм.

2. Единица эквивалентного рудного эталона соответствует семи делениям установки РКС-2.

3. Колебания интенсивности излучения в условных единицах на килограмм У связаны с различным состоянием равновесия руд.

Для определения концентрации урана в отдельных вагонетках применяют два способа: графический и расчетный.

Графический способ основан на использовании характеристики чувствительности, построенной по результатам ежедневного промера эквивалент-эталонов или эталонных емкостей. Практическое преимущество способа заключается в простоте и скорости определений, делающих его доступным каждому оператору. При соблюдении некоторых основных положений, указанных ниже, в гл. VI, обеспечивается и вполне удовлетворительная точность результатов.

Если эталонирование велось без компенсации фона, то при построении графика чувствительности можно определить истинное среднее значение фона с учетом экранирующего действия вагонеток с горной массой, т. е. величину, измеряемую при наличии «нулевого» эталона. Очевидно, что это значение фона определяется отрезком, отсекаемым на оси ординат (показания прибора) продолжением линейного участка характеристики чувствительности (см. рис. 22). Найденный «нулевой» фон компенсируется или учитывается при всех измерениях, особенно при разделении руды и породы.

Расчетный способ дает возможность определять содержание урана по измерениям на основании формулы

$$q_p = q_{\text{эт}} \frac{I_p}{I_{\text{эт}}}, \quad (3)$$

где q_p , $q_{\text{эт}}$ — концентрация урана в пробе и эталоне;

I_p , $I_{\text{эт}}$ — отсчеты при измерениях пробы и эталона (без фона).

Этот способ может применяться при линейной характеристике чувствительности и измерениях с компенсацией фона. Для повышения точности и скорости вычислений при массовых измерениях иногда составляют таблицы по данным промера эталонов.

Если указанное требование линейности выполняется во всем диапазоне измеряемых активностей, то этот способ удобно использовать для определения средних концентраций и количества добытого урана за смену, сутки и т. д. Для этого вычисляется сумма отсчетов по всем вагонеткам. Количество урана M для всей массы будет

$$M = q_{\text{ср}} P = \frac{q_{\text{эт}}}{I_{\text{эт}}} \frac{\sum_1^n I_p}{n} p_{\text{ср}} n = \frac{q_{\text{эт}} p_{\text{ср}}}{I_{\text{эт}}} \sum_1^n I_p, \quad (4)$$

где $q_{\text{ср}}$ — средняя концентрация урана в рудной массе,

P , $p_{\text{ср}}$ — общий вес руды и средний вес вагонетки,

n — число взятых вагонеток,

$q_{\text{эт}}$, $I_{\text{эт}}$, I_p — определены в формуле (3).

Очевидная простота расчета делает результаты экспресс-анализа незаменимыми при оперативном учете всех добытых руд за смену, сутки и т. д. Для определения количества и качества урана, добытого в отдельных забоях, блоках и т. п., те же данные обрабатываются с учетом маркировки отдельных вагонеток. При этом в случае резкого снижения качества руд, выдаваемых определенным забоем или блоком, оперативно выявляются причины разубоживания руд, обычно связанные с нарушением технологии добычи. Обработка полных данных по всей выданной из блока горнорудной массе дает возможность определять величину и характер потерь урана в этой массе. Если установки РКС-2 используются для экспресс-анализов сырья и продуктов радиометрического обогащения, то при обработке повагонеточных данных оперативно контролируется ход обогащения и составляется баланс по урану за смену, сутки и т. п.

На тех месторождениях, где широко применяется радиометрическое опробование с экранами и в шпурах, данные экспресс-анализа в вагонетках можно использовать для определения пересчетных коэффициентов по большим массам добытых руд [15]. Для этого радиометрическое опробование увязывается с маркировкой вагонеток.

3. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ РУД В АВТОМАШИНАХ

Для контроля руды в автомашинах наиболее рационально применять установку «Стенд» с двумя или четырьмя датчиками (в зависимости от размеров кузова и однородности руд); датчики располагаются над кузовом, что увеличивает телесный угол измерений. Монтаж выполняется так, чтобы суммарное экранирующее действие покрытий нижней части датчиков соответствовало фильтру толщиной 3 г/см^2 (см. рис. 19).

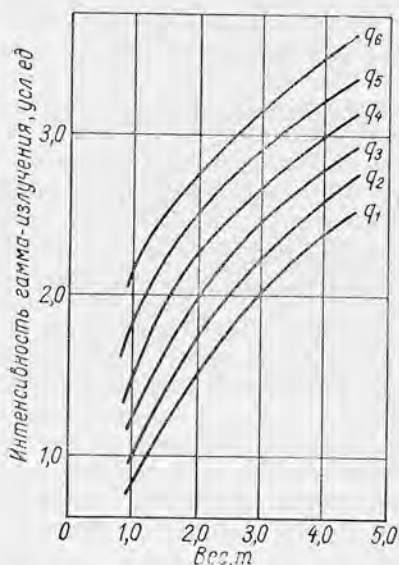


Рис. 30. Зависимость интенсивности гамма-излучения от веса руды в автомашине (q_0 — руды различных концентраций).

маркировку, время измерения, номер и место разгрузки автомашин.

По валовому опробованию руд каждого типа определяется интенсивность излучения эквивалент-эталонов в условных единицах на килограмм урана. Эталонирование установок наиболее целесообразно выполнять по таким эквивалент-эталонам. В зависимости от физических особенностей материала число опробуемых автомашин составляет 30—70 шт. (см. табл. 1).

Применение эталонов в автоприцепах при ежесменном эталонировании снижает производительность измерений и при анализе нескольких типов руд также требует корректировки по данным валового опробования.

При обработке результатов измерений вычисляется среднее показание прибора (в делениях) и средний вес руды в автомашине; полученное среднее показание прибора переводится по эталонировочному графику в условные единицы эквивалент-эталонов или в концентрацию урана (если применялись эталон-прицепы). Если средний вес автомашины за смену, сутки и т. д. отличается от принятого при эталонировании, то в среднюю величину показаний прибора (в условных единицах) вносится поправка по опытному графику рис. 30; количество урана определяется

При массовом контроле руды в автомашинах большой грузоподъемности измеряемый слой руды принимается за насыщенный для гамма-лучей; процесс экспресс-анализов при этом не отличается от массового контроля вагонеток. В ряде случаев контролируемый слой является ненасыщенным по гамма-излучению, и пропорциональность между интенсивностью и концентрацией урана нарушается. Поэтому при анализах необходимо учитывать вес руды и характер заполнения кузова или обеспечивать постоянство этих факторов. Обычно на КП операции измерения и взвешивания совмещаются; кроме того, бетонный котлован весов существенно уменьшает фон и в ряде случаев устраняет необходимость применения «нулевых» эталонов.

При выполнении измерений вид маркировки руды в автомашинах определяется конкретными условиями. Оператор заносит первичные данные в журнал (см. приложение 3), отмечая

по исправленному значению показаний прибора. Установлено, что характер зависимости показаний прибора (см. рис. 30) от веса не одинаков для различных типов руд и размеров емкостей (марок автомашин). В случае применения эталонов в автоприцепах поправка на вес вносится в величину показаний, выраженную в делениях прибора.

На результаты измерений влияет также форма слоя руды, так как для большинства машин поверхность руды после погрузки (из бункера, экскаватором и т. п.) не является плоской. Максимальная величина относительной ошибки за счет формы слоя (по отношению к конусной) достигает 10—20%. Величины этих ошибок для шести типов руд даны в табл. 2.

Таблица 2

Относительные погрешности экспресс-анализа руд
в автомашинах за счет формы слоя при погрузке

№ опыта	Тип руды	Марка автомашин	Число измерений	Относительное отклонение от истинной активности, %		
				среднее	максимальное	
1	I	ГАЗ	6	—2,4	+3,8	—21,3
2	I	ЗИЛ	44	—5,5	+6,2	—20,0
3	II	ГАЗ	18	—3,5	+15,7	—16,7
4	II	ЗИЛ	13	—10,4	+3,4	—40,0
5	III	"	29	—8,2	0	—21,0
6	IV	"	16	—9,8	0	—17,3
7	V	"	19	—1,6	+11,1	—8,2
8	VI	"	5	—3,1	0	—5,9

Таким образом, средняя ошибка при конусной форме поверхности руды всегда отрицательна, так как наибольшей удельной интенсивностью излучения обладает плоский слой. Положительные погрешности наблюдаются реже и связаны, очевидно, с неравномерностью руд.

Ошибки за счет неравномерности могут быть значительными (табл. 3).

Таблица 3

Относительные погрешности экспресс-анализа руд
в автомашинах за счет неравномерности распределения урана

№ опыта	Тип руды	Марка автомашин	Число измерений	Относительное отклонение от истинной активности, %		
				среднее	максимальное	
1	I	ЗИЛ	32	+7,7	+31,3	—17,1
2	III	"	15	+11,3	+15,4	—36,0
3	III	"	21	+5,7	+8,0	—21,0
4	III	"	10	+5,6	+3,8	—14,3
5	III	"	9	+7,6	+5,1	—23,5
6	III	"	9	+2,9	+9,5	—8,7
7	IV	"	10	+12,9	+20,0	—32,3
8	V	"	10	+5,0	+8,0	—4,9
9	VI	"	6	+1,0	0	—5,7

Дополнительная погрешность измерений возникает при значительном изменении расстояния между датчиком и поверхностью руды. Как правило, это расстояние велико, изменяется случайно и в незначительных

пределах (например, для автомашины ЗИЛ 80 ± 7 см). Поэтому ошибка за счет изменения расстояния может не учитываться.

Следует помнить, что при эталонировании по валовым пробам все эти ошибки исключаются; при градуировке по эталонам в автоприцепах они должны учитываться на основе контрольного опробования.

4. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ РУД В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНАХ

Этот вид анализов имеет в настоящее время ограниченное применение. Для измерений руд в неподвижных вагонах может быть использована установка РКС «Стенд» с датчиками двух типов:

а) специальный датчик из двух труб со счетчиками, распределенными по длине вагона. Трубы монтируются по сторонам вагона на расстоянии до 1 м от стенок (в зависимости от требуемой чувствительности). Высота крепления датчика соответствует середине рудного слоя в вагонах;

б) стандартный комплект из 2—4 кассет установки, закрепленных над поверхностью руды в вагоне. Высота подвески и число кассет в датчике выбираются в зависимости от условий измерений и типа руд. Этот вариант датчика существенно хуже трубчатого вследствие большой потери чувствительности при монтаже на высоте, определяемой железнодорожным габаритом.

При изготовлении и монтаже обоих датчиков необходимо обеспечить экранировку счетчиков фильтром толщиной не менее 3 г/см^2 с учетом экранирующего действия стенок вагона и величины фонового излучения в пункте измерений.

Эталонирование аппаратуры при этих анализах также наиболее целесообразно выполнять по валовому опробованию с применением эквивалент-эталонов. Если же такое опробование выполнить невозможно, применяют эталон-вагоны.

Измерения и форма записи при эталонировании и контроле вагонов практически такие же, как и в предыдущих видах анализов. Контроль стабильности аппаратуры наиболее целесообразно выполнять с помощью эквивалент-эталона.

На результаты экспресс-анализов руд в вагонах весьма существенно влияют неоднородность руд, сегрегация материала при погрузке или вследствие дальних перевозок и форма излучающей поверхности. Ошибки, связанные с некоторыми из этих факторов, могут быть существенно снижены за счет правильного выбора геометрии измерений. Так, при наличии сегрегации руды датчики следует располагать по обеим сторонам вагона; при значительных колебаниях толщины слоя и формы его поверхности лучше располагать датчики над вагоном на высоте в несколько метров (если чувствительность аппаратуры достаточна). При весьма неоднородном распределении урана в рудах целесообразно в некоторых случаях применять датчики, обеспечивающие измерение гамма-излучения по сторонам и над вагоном.

ГЛАВА V

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ РУД В МАЛЫХ ЕМКОСТЯХ

Контрольные пункты с установками РКС-1 для выполнения экспресс-анализов в малых емкостях создаются в соответствии с требованиями приложения 1.

1. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗЫ БОГАТЫХ ТОВАРНЫХ РУД И РУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Аппаратура

Аппаратура для анализа богатых товарных руд должна иметь прямолинейную характеристику чувствительности в широком диапазоне концентраций урана в руде при цене одного деления шкалы порядка 0,01% урана. Воспроизводимость показаний в процессе эксплуатации должна быть не хуже $\pm 5\%$, а производительность не ниже 150—200 проб в час.

В настоящее время для количественного экспресс-анализа богатых товарных руд в малых емкостях применяются приборы типа РКИ-1У, РКС-1, РКС-И-55 и РКС «Осина».

Радиометры РКИ-1У и РКС-И-55 в качестве приемников излучения имеют ионизационные камеры, а приборы РКС-1 — газоразрядные счетчики. Ионизационные приборы обладают лучшими техническими параметрами, чем радиометры со счетчиками [9, 17]. Это объясняется тем, что при измерении больших интенсивностей статистические флуктуации тока камер малы (см. гл. VI); величина тока пропорциональна интенсивности излучения, поскольку отсутствует потеря импульсов за счет мертвого времени и случайных совпадений; срок службы камер практически не ограничен. Указанным выше требованиям полностью удовлетворяет радиометр РКИ-1У. Приведем краткое его описание.

Прибор РКИ-1У (рис. 31) состоит из датчика, пульта управления и блока питания. Датчиком является герметичная ионизационная камера П-образной формы, наполненная воздухом при нормальном атмосферном давлении (объем 80 л), обеспечивающая геометрию измерения порядка 2л. Конструкция камеры схематически изображена на рис. 32.

Для осмотра внутренней полости камеры и ремонта верхняя ее стенка может быть снята. Для устранения влияния внешних электромагнитных полей и защиты от механических повреждений камера помещается в металлический кожух, от которого изолируется плексигласовыми пластинами. Внутри в средней плоскости расположен П-образный собирающий электрод, закрепленный в трех точках. Изолятором электрода служит

янтарь, помещенный в бронзовые охранные кольца (см. рис. 32). Электрод через боковую стенку камеры выводится в герметичную и светонепроницаемую металлическую коробку, в которой размещен усилитель

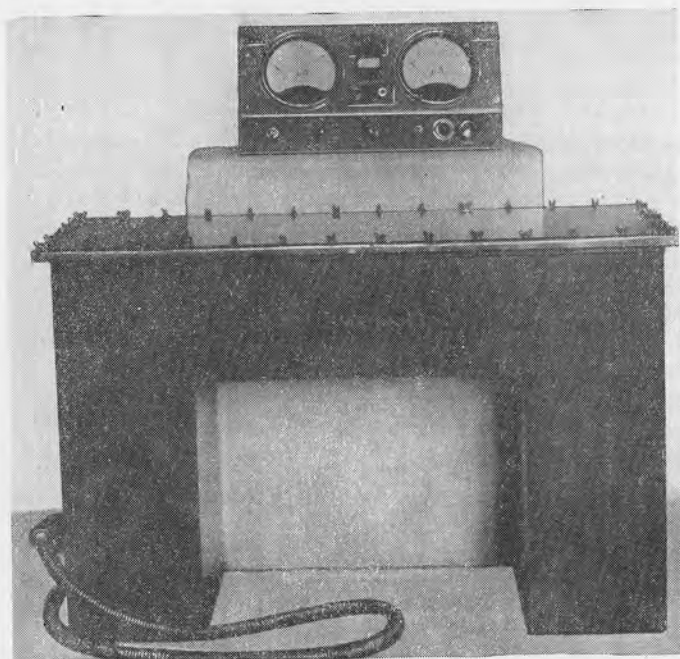


Рис. 31. Общий вид установки РКИ-IV.

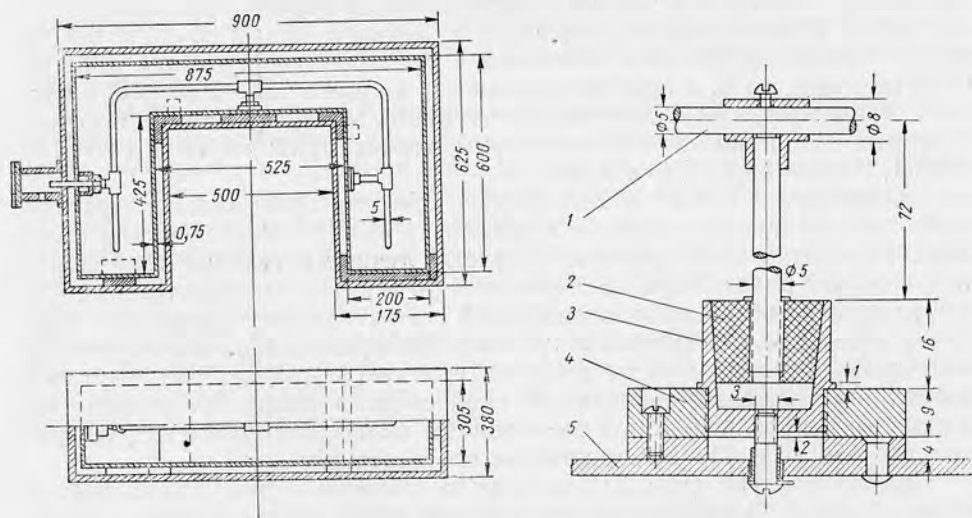


Рис. 32. Конструкция камеры и крепления центрального электрода установки РКИ:

1 — электрод (латунь); 2 — изолятор (янтарь); 3 — охранные кольца; 4 — изолятор (плексиглас); 5 — стенка камеры (латунь).

постоянного тока на лампе 6Ж1Ж (или 6К1Ж). Режим работы лампы электрометрический:

$$E_a = 14\text{в}, \quad E_{g_2} = 14\text{в}, \quad E_{g_1} = 1,5\text{в}, \quad E_{\text{н}} = 3,5\text{в}, \quad E_{g_3} = -3\text{в}.$$

Измерение ионизационного тока камеры в этом приборе осуществляется по методу компенсации.

Сущность этого метода состоит в том, что падение напряжения на нагрузочном сопротивлении камеры компенсируется напряжением от отдельного источника, величина которого пропорциональна ионизационному току камеры. Принципиальная схема радиометра РКИ-1У представлена на рис. 33.

Особенностью схемы является то, что все шкалы измерения имеют одинаковую чувствительность. Отсчет показаний по любой шкале определяется путем сложения (а не умножения, как в других радиометрах данного назначения) величины, указанной против данного контакта пе-

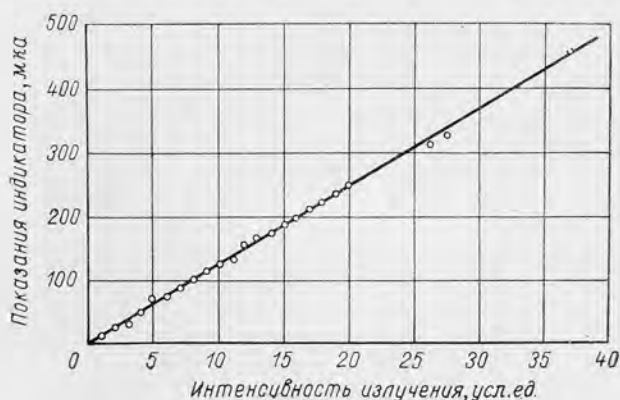


Рис. 34. Характеристика чувствительности радиометра РКИ-1У.

реключателя шкал, с отсчетом по шкале микроамперметра, включенного в анодную цепь лампы. Прибор позволяет измерять активность товарных руд практически любых концентраций урана с требуемой точностью. Характеристика чувствительности прибора РКИ-1У, снятая точечными радиевыми эталонами, изображена на рис. 34.

Методика и техника анализов¹

Как видно из рис. 34, показания радиометра РКИ-1У прямо пропорциональны интенсивности гамма-излучения в широком диапазоне. В случае измерения руды пропорциональность при более высоких концентрациях урана нарушается вследствие различного характера самопоглощения мягкой части измеряемого гамма-спектра в объеме пробы. Для исключения этого влияния на характеристику чувствительности необходимо применять свинцовый фильтр с поверхностной плотностью 3—3,5 г/см² [22]. Такой фильтр дает возможность получить прямолинейную характеристику чувствительности во всей области практически встречающихся концентраций урана.

Дальнейшее увеличение толщины фильтра нежелательно, так как при этом происходит заметное уменьшение интенсивности жестких гамма-квантов (рис. 35), а улучшения характеристики чувствительности не наблюдается.

При экспресс-анализах богатых руд (см. гл. III) желательно иметь минимум два «нулевых» эталона — первый со средним атомным номе-

¹ Дальнейший материал будет изложен с учетом применения установок РКИ-1У. Он справедлив также и для других приборов данного типа.

ром, соответствующим рудам с малой концентрацией, второй — с большим, отвечающим богатым рудам.

Необходимо отметить, что при регулировке прибора снятие характеристики чувствительности следует производить несколькими эталонами (исключая «нулевые»), равномерно перекрывающими весь диапазон из-

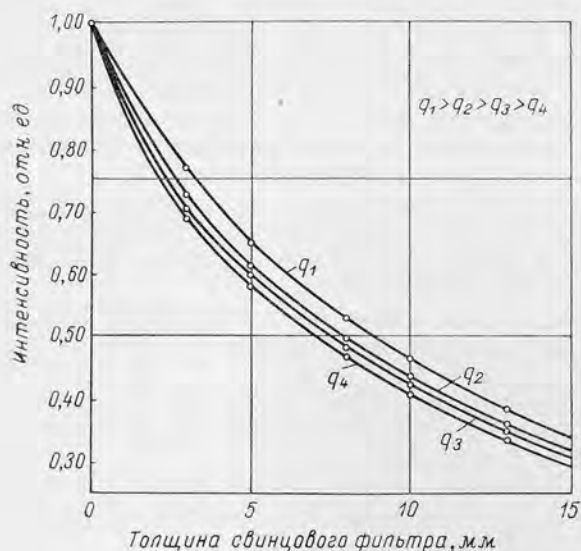


Рис. 35. Кривые поглощения излучения фильтром в датчике установки РКИ-1У для различных концентраций урана q .

меряемых концентраций урана. Измерением полного комплекта эталонов обеспечивается систематический контроль стабильности работы радиометра и линейности его показаний.

Определение количества урана по забоям и блокам

По результатам анализа урановых руд установками РКС можно производить подсчет запасов так называемым «статистическим» методом, который применяется на жильных месторождениях с крайне неравномерным оруденением [15]. Большая часть урана на этих месторождениях извлекается в товарный продукт непосредственно в процессе горных работ. При селективной выемке линз руда упаковывается в забое в специальную тару и транспортируется на рудосортировочные станции ОТК. При этом в каждую емкость вкладывается этикетка с указанием индекса забоя или блока.

В процессе добычи в основном учитываются потери урана из-за неполноты отбойки руды, потери в закладке и в отвалах. Потери в отвалах определяются по данным анализов руд в вагонетках установками РКС-2 (см. гл. IV), потери из-за неполноты отбойки руды и в закладке определяются по данным анализа соответствующих проб установками РКС-3. Радиоактивная горная масса, добытая на участках с рассеянной минерализацией, направляется на различного типа обогатительные установки и анализируется на установках РКС-2. Вся товарная руда, полученная как из забоя, так и с обогатительных установок, контролируется на приборах РКС-1.

Форма записи результатов приведена в приложении 4.

Анализ товарных руд на установках РКС-1 на шахтах и обогатительных фабриках дает также возможность вести оперативный учет добычи

товарной продукции по забоям и рудникам. Одновременно с этим ведется разделение всей добытой руды по сортам, границы содержаний которых устанавливаются непосредственно по показаниям радиометра.

Экспресс-анализ рудных концентратов

Обычно товарной продукцией фабрик гравитационного обогащения является рудный материал с малыми колебаниями концентрации урана. В процессе обогащения руда дробится и тщательно перемешивается. Все это способствует повышению точности радиометрических экспресс-анализов товарной продукции фабрик; как будет показано ниже, расхождения между результатами радиометрического опробования и химического анализа в этом случае составляют менее 1 %.

Методика измерений концентратов не отличается от вышеописанной. Однако рудный концентрат гравитационных фабрик обладает повышенной влажностью, в связи с чем при расчете содержания необходимо учитывать ее влияние по формуле (24).

В соответствии со спецификой отчетности данной фабрики и составления партий готовой продукции возможны следующие виды групповых анализов:

1) анализы концентрата, полученного при обогащении руд данного месторождения, используемые при расчетах с поставщиком руды и составлении баланса фабрики по урану.

2) анализы продукции, полученной фабрикой или бригадой за определенную смену, сутки, необходимые для оперативной отчетности и контроля процесса обогащения.

Использование установок РКС-1 на обогатительных фабриках может полностью исключить механическое валовое опробование и проведение химических анализов полученных проб.

Экспресс-анализ партий товарной продукции

При экспресс-анализах руд, подготовленных в партии для отгрузки потребителю, обеспечивается более высокая точность результатов, чем при измерениях в процессе первичного контроля.

Товарные руды на основе данных экспресс-анализа предварительно сортируются по содержанию. При валовом опробовании руд составляются партии весом в несколько тонн, упакованные в стандартные барабаны. Так как при сортировке и комплектации партий материал в значительной степени усредняется, то при радиометрическом опробовании нет необходимости подвергать анализу все барабаны данной партии. Для ориентировочного определения представительного количества частичных проб (барабанов, ящиков и т. п.) n с целью получения требуемой точности анализа можно пользоваться выражением (1).

Практика работы по измерению товарных руд жильных месторождений показывает, что коэффициент вариации v при измельчении товарной руды до —10 мм не превышает $\pm 20\%$. При этом для получения точности анализа $\pm 3\%$ представительное количество частичных проб составит 200—300 шт.

Экспресс-анализ проб, число которых определено указанным способом, выполняется для последующих партий в строгом соответствии с методикой, описанной для измерений товарных руд. Форма записи дана в приложении 5.

2. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ НЕДРОБЛЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ

Задачи и область применения метода

Экспресс-анализы недробленных геологических проб и отдельных штUFFов имеют существенное значение в геофизическом обслуживании

действующих рудников, обогащательных гравитационных фабрик, а также геологоразведочных партий. По данным этих анализов могут быть подсчитаны запасы урана для некоторых типов месторождений, учтены потери урана в закладке и в отвальных массах, осуществлен оперативный контроль работы гравитационных фабрик и установок для радиомеханического обогащения.

Меньшая точность отдельного анализа по сравнению с данными измерения порошковых проб компенсируется возможностью произвести большое число измерений непосредственно в условиях исследуемого участка.

Аппаратура

Приборы для измерения недробленых проб должны обеспечивать выполнение измерений в горных выработках. Этим условиям отвечают приборы РКС-3 (опытная серия) и радиометры «Кварц». Оба типа приборов имеют цилиндрический полый датчик, внутрь которого помещается проба весом от 3—4 до 10—15 кг.

Радиометр «Кварц» является переносным прибором, предназначенным для экспресс-анализа руд в вагонетках и цилиндрических емкостях (рис. 36, 37). Прибор состоит из измерительного пульта с отсеком питания (батарейное или сетевое через выпрямитель), двух кассет со счетчиками СТС-8 (по 15 шт. в каждой) и цилиндрического полого датчика (25 счетчиков типа СТС-8). Комплект батарей типа 2С (6 шт.) или МЦ-7 обеспечивает непрерывную работу в течение ~ 80 ч. В схеме имеется стабилизатор напряжения, исключающий необходимость установки режима и обеспечивающий нормальную работу при питании от сети, напряжение которой колеблется в пределах 80—250 в.

Схема прибора выполнена целиком на полупроводниковых элементах и малогабаритных радиодеталях. В каждый датчик входит каскад температурной компенсации напряжения питания счетчика, обеспечивающий изменение высокого напряжения, равное сдвигу рабочей точки по счетной характеристике при изменении температуры. В регистрирующей схеме имеются две последовательные бинарные пересчетные ячейки, улучшающие статистику распределения импульсов на входе измерителя скорости счета с дозирующей емкостью. Каскад стабилизации амплитуд импульсов, подаваемых на интенсиметр, обеспечивает независимость показаний от изменения температуры среды.

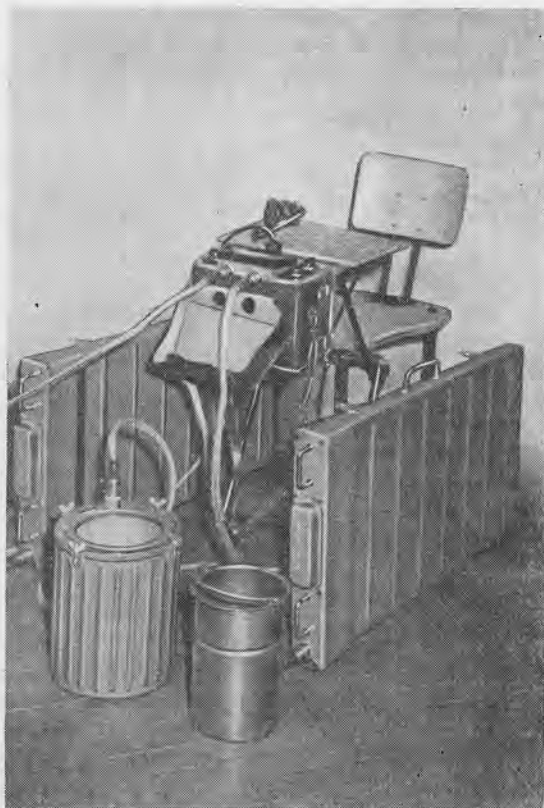


Рис. 36. Общий вид радиометра «Кварц».

Интенсиметр прибора имеет постоянные времени 2,5 и 10 сек и пределы измерений 5, 15, 50, 150 и 500 тыс. *имп/мин*. Предусмотрена компенсация фона в пределах 6000 *имп/мин* с общей нулевой точкой на всех шкалах. Нелинейность градуировки шкал не превышает $\pm 10\%$ на 4-х первых шкалах, а на последней — $\pm 15\%$.

Прибор нормально работает в интервале температур $-10 + 40^\circ\text{C}$ и при относительной влажности $95 \pm 3\%$ (20°C). Вес измерительного блока 5,1, цилиндрического датчика с ведром 4,8 и кассет 7,5 кг.

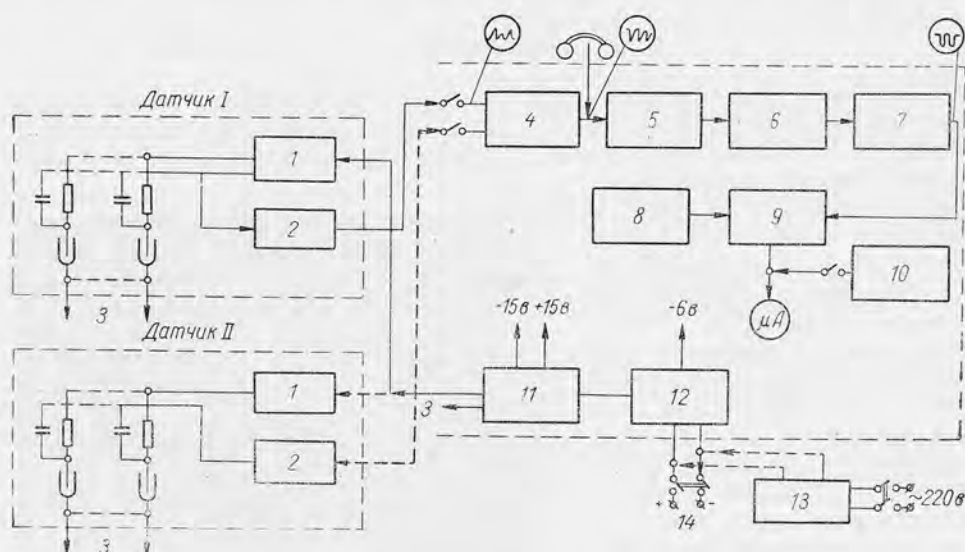


Рис. 37. Блок-схема установки «Кварц».

1 — высоковольтный источник с температурной компенсацией; 2 — буферный каскад; 3 — регулировка напряжения; 4 — усилитель-смеситель; 5 — пересчетная ячейка 1:2; 6 — усилитель; 7 — нормализатор; 8 — компенсатор фона; 9 — интегратор; 10 — затяжка RC; 11 — преобразователь; 12 — стабилизатор напряжения; 13 — выпрямитель; 14 — батарея 6 в.

Организация измерений и эталонирование

Радиометры РКС-3 и «Кварц» устанавливаются на рудных дворах, в кварцлаггах, в пунктах рудосортировки, на обогатительных фабриках и в лабораториях, непосредственно вблизи от места отбора проб и образцов. При анализе проб с малой концентрацией урана необходимо обеспечить минимальный уровень натурального фона путем выбора места измерений или экранировки датчика.

Гранулометрический состав отдельных проб должен соответствовать среднему составу общей массы измеряемого материала. Каждая проба маркируется с указанием блока, забоя и даты отбора. При измерениях концентрата гравитационных обогатительных фабрик, руды из отвалов и т. п. применяется условная маркировка. Все пробы перед измерениями взвешиваются.

Для эталонирования радиометров применяются несколько рудных и нулевой эталоны. Эталонировка производится обычным порядком (см. гл. III). При анализах, которые необходимо провести с повышенной точностью, эталонировка производится через 5—10 проб, причем один и тот же объем руды измеряется 3—5 раз с пересыпанием из одной емкости

в другую. По результатам эталонировки определяется чувствительность прибора

$$\varepsilon = \frac{q_{\text{эт}} p_{\text{эт}}}{I_{\text{эт}} f(\nu)}, \quad (5)$$

где ε — количество килограммов урана на 1 деление индикатора или на число импульсов в секунду;

$p_{\text{эт}}$ — вес эталона в килограммах;

$I_{\text{эт}} = I_{\text{общ}} - I_{\text{нф}}$ — число делений индикатора или импульсов в секунду при измерении эталона;

$q_{\text{эт}}$ — концентрация урана в эталоне;

$f(\nu)$ — функция, учитывающая поглощение излучения в материале пробы.

Концентрация урана в пробе вычисляется по формуле

$$q_{\text{пр}} = \varepsilon \frac{I_{\text{пр}} f(\nu)}{p_{\text{пр}}} = \frac{q_{\text{эт}} p_{\text{эт}}}{I_{\text{эт}} p_{\text{пр}}} I_{\text{пр}}, \quad (6)$$

где $q_{\text{пр}}$, $p_{\text{пр}}$, $I_{\text{пр}}$ — соответственно концентрация урана, вес и число делений (или импульсов в секунду), на которое отклонится индикатор при измерении пробы.

Такой расчет справедлив при условии, что измеряется ненасыщенный по гамма-излучению слой руды. Исходя из этого, можно измерять и количество урана в отдельных штуфах, помещаемых в центре цилиндрического датчика. При этом штуф взвешивается, а расчет производится по данным эталонировки прибора штуфом с известной концентрацией урана и весом по формулам (5) и (6)¹. Результаты эталонировки и анализов записываются в журнал и сводятся в таблицу, где указывается номер пробы, маркировка пробы, ε , $I_{\text{пр}}$, $p_{\text{пр}}$ и подсчитывается $q_{\text{пр}}$.

Экспериментальная проверка точности анализов

Для оценки влияния отдельных факторов на точность анализов было произведено большое количество измерений произвольно выбранных не-

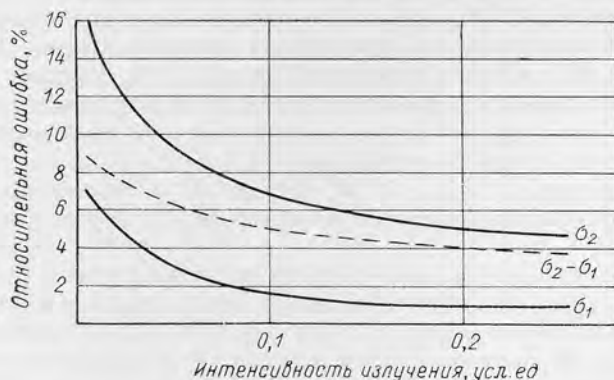


Рис. 38. Относительные среднеекватичные ошибки измерений отдельных проб прибором «Кварц» для двух видов анализа.

дробленных проб и определена среднеекватичная ошибка отдельного анализа (рис. 38). На графике приведены кривые ошибок при трех условиях измерения:

¹ В качестве эталона применяется штуф, изготовленный из цементированной порошковой пробы.

σ_1 — относительная среднеквадратичная ошибка измерений пробы при многократном пересыпании ее, σ_2 — то же без ее пересыпания, $\sigma_2 - \sigma_1$ — ошибка за счет неравномерности распределения активного компонента в пробе.

Как видно из графика, наибольшие ошибки измерений не превышают 10—15%, даже для проб с концентрацией урана в несколько тысячных долей усл. ед. Величина

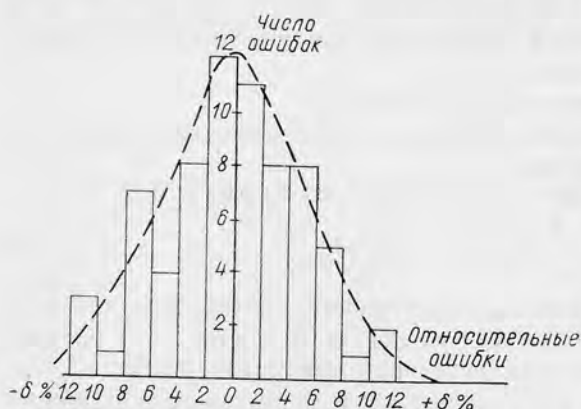


Рис. 39. Гистограмма относительных ошибок анализов σ рудного концентрата.

$\sigma_2 - \sigma_1$ тем больше, чем значительнее самопоглощение излучения в материале пробы. При измерении проб с равномерным распределением урана эффект самопоглощения не оказывает влияния на результаты анализа. На рис. 39 приведена гистограмма распределения относительных ошибок измерения рудного концентрата обогатительной фабрики. Как видно, ошибки измерений в этом случае в основном невелики. Они определялись на основании данных химического анализа большого количества проб. При измерении проб с крайне неравномерным распределением урана ошибки могут быть снижены путем уменьшения размеров емкости или применения фильтра с поверхностной плотностью 3—4 г/см², помещаемого между пробой и приемником излучения. Однако при этом уменьшается и чувствительность датчика, что вызывает в свою очередь необходимость увеличения времени отдельного измерения для достижения заданной точности анализов.

Наибольшая возможная ошибка за счет неоднородности для прибора РКС-3 составляет $\pm 25\%$. Это было установлено сравнением результатов измерений навески руды (в порошке), расположенной поочередно в центре неактивной пробы (кварцевый песок) и у боковой стенки датчика, а также равномерно распределенной по всему объему пробы.

ГЛАВА VI

ТОЧНОСТЬ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗОВ

1. ИСТОЧНИКИ ОШИБОК ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗОВ

Все известные источники погрешностей гамма-экспресс-анализов можно разделить на три основные группы: аппаратурные, физические и технические. Без выявления и устранения этих ошибок нельзя обеспечить достаточной точности анализов. Поэтому необходимо кратко охарактеризовать эти погрешности, способы их определения и учета.

Аппаратурные ошибки измерений

Статистические ошибки

Аппаратурные ошибки измерений на установках с ионизационными камерами, газоразрядными и сцинтилляционными счетчиками в значительной степени определяются статистической природой радиоактивных излучений, а также статистическим характером процессов, происходящих в приемниках излучения и некоторых элементах измерительной схемы. В подавляющем большинстве случаев статистические погрешности подчиняются закону нормального распределения. Теория ошибок подробно описана в ряде работ [4, 13, 20, 24, 26]. В табл. 4 приведены основные формулы для расчета статистических погрешностей измерений различными методами.

При работе с интегральными ионизационными камерами флуктуации во входной цепи измерительной схемы значительно превосходят колебания ионизационного тока камеры, поэтому они и определяют порог чувствительности схемы [4, 6]. Из выражения (7) следует, что выгодно иметь большое значение постоянной времени входной цепи, однако при этом возрастает время измерения (15).

При работе с импульсными приемниками излучения для измерения проб с весьма малой концентрацией урана применяется метод абсолютного счета импульсов. Во всех остальных случаях используются измерители скорости счета, показания которых прогнандуированы в импульсах в минуту или в единицах концентрации.

Как видно из приведенных выражений (8—13), наличие фонового излучения существенно увеличивает погрешность измерений главным образом при большом значении отношения $\frac{n_{\text{ф}}}{n_{\text{пр}}}$, т. е. при измерении

Основные формулы для определения погрешностей измерений

Наименование параметра	Формула	№ фор мул
Порог чувствительности электрометрической схемы с интегральной ионизационной камерой	$q_{\min} \approx \frac{3 \cdot 10^{-8}}{\eta} \sqrt{\frac{I_g}{RC}}$	(7)
Порог чувствительности прибора с импульсными приемниками излучения	$q_{\min} = \frac{3}{\eta} \sqrt{\frac{n_{\phi}}{T}} = \frac{3}{\eta} \sqrt{\frac{n_{\phi}}{2RC}}$	(8)
Минимальная скорость счета, которая может быть зарегистрирована измерителем скорости счета при заданных δ и n_{ϕ}	$n_{\min} = \frac{1}{4RC\delta^2} + \sqrt{\frac{\phi}{RC\delta^2}}$	(9)
Относительная среднеквадратичная ошибка измерения скорости счета от пробы (или эталона) при абсолютном счете импульсов	$\delta_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{1 + \frac{n_{\phi}}{n_{\text{пр}}} \left(1 + \frac{T_{\phi}}{T_{\text{пр}}}\right)}{T_{\text{пр}} n_{\text{пр}}}}$	(10)
при регистрации измерителем скорости счета	$\delta_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{1 + 2 \frac{n_{\phi}}{n_{\text{пр}}}}{2RC n_{\text{пр}}}}$	(11)
Относительная среднеквадратичная погрешность вычисления концентрации урана в пробе [17] при абсолютном счете импульсов	$\delta_{q\text{пр}} = \sqrt{\delta_{\text{пр}}^2 + \delta_{\text{эт}}^2 - 2 \frac{\Delta n_{\phi}^2}{n_{\text{пр}} n_{\text{эт}}}} =$ $= \sqrt{\frac{1 + \frac{n_{\phi}}{n_{\text{пр}}} \left(1 + \frac{T_{\phi}}{T_{\text{пр}}}\right)}{T_{\text{пр}} n_{\text{пр}}} + \frac{1 + \frac{n_{\phi}}{n_{\text{эт}}} \left(1 + \frac{T_{\phi}}{T_{\text{эт}}}\right)}{T_{\text{эт}} n_{\text{эт}}} - 2 \frac{n_{\phi}}{T_{\phi} n_{\phi} n_{\text{эт}}}}$	(12)
То же, при регистрации измерителем скорости счета	$\delta_{q\text{пр}} = \sqrt{\frac{1}{2RC} \left(\frac{n_{\text{эт}} + 2n_{\phi}}{n_{\text{эт}}^2} + \frac{n_{\text{пр}} + 2n_{\phi}}{n_{\text{пр}}^2} - 2 \frac{n_{\phi}}{n_{\text{пр}} n_{\text{эт}}} \right)}$	(13)
Время измерения с заданной погрешностью δ при абсолютном счете импульсов	$T = \frac{1 + 2 \frac{n_{\phi}}{n_{\text{пр}}}}{n_{\text{пр}} \delta^2}$	(14)
То же, для схемы с измерителем скорости счета	$T = 0,5RC \ln \frac{1}{\delta^2}$	(15)

Примечание.

q — концентрация урана в пробе или эталоне;
 I_g — сеточный ток электрометрической лампы;
 RC — постоянная времени интегрирующего контура в секундах;

η — чувствительность приемника излучения, выражается в амперах или импульсах в секунду на единицу концентрации урана;

n_{ϕ} , $n_{\text{пр}}$, $n_{\text{эт}}$ — скорости счета импульсов от фона, пробы и эталона соответственно;

T_{ϕ} , $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{эт}}$ — время (сек) измерения импульсов фона, пробы и эталона соответственно;

$\Delta n = \sqrt{\frac{n}{T}}$ — среднеквадратичная флуктуация скорости счета.

малых концентраций. Погрешность измерения уменьшается при увеличении постоянной времени RC . Однако при этом возрастает время отдельного измерения (15), а следовательно, снижается производительность экспресс-анализов.

В радиометрах имеют место также статистические погрешности, связанные с ограниченным разрешающим временем схемы в целом, обусловленным «мертвым» временем счетчика частиц τ_c , усилительно-регистрающей схемы τ_n и регистрирующего устройства τ_p .

В случае, если $\tau_c \gg \tau_n$, общее «мертвое» время будет определяться величиной τ_c . Относительная ошибка при этом находится из соотношения

$$\delta = n\tau_c, \quad (16)$$

где n — число зарегистрированных частиц.

Если $\tau_c < \tau_n$ (например, сцинтилляционные счетчики) и N — истинное число импульсов, то разрешающая способность определяется согласно данным работы [27] «мертвым временем»

$$\tau = \tau_n + f(\tau_c) \approx \tau_n + \frac{1}{2} N\tau_c^2, \quad (17)$$

причем погрешность измерения в этом случае также может быть подсчитана по формуле (16), если τ_c заменить на τ .

Разрешающее время τ_p регистратора импульсов (ЭМСа) в схемах современных радиометров не является определяющим, так как в случае больших скоростей счета используются пересчетные схемы, для которых относительная ошибка за счет просчетов определится [28] выражением

$$\delta_k = \frac{N-n}{N} = \frac{(N\tau)^k}{k!} \frac{1}{1 + N\tau + \frac{(N\tau)^2}{2} + \dots + \frac{(N\tau)^k}{k!}}, \quad (18)$$

где k — коэффициент пересчета.

При $k = 1$ выражение (18) приводится к соотношению (16), если $N\tau \ll 1$.

Из выражения (18) следует, что пересчетные схемы целесообразно применять лишь при условии $\tau_n > \tau_c$ (или $\tau_p > \tau_c$). В этом случае пересчет снижает требуемую разрешающую частоту нормализатора или ЭМСа, что позволяет существенно улучшить линейность характеристики измерительного устройства.

Полное разрешающее время можно определить экспериментально по максимальному числу зарегистрированных частиц или методом двух источников [7, 9]. Для газоразрядных счетчиков τ_c зависит от скорости счета, поэтому его определение необходимо производить для средней фактической скорости счета.

Прочие аппаратные погрешности

Погрешность показаний индикатора. Стрелочные измерительные приборы по ГОСТу характеризуются предельной погрешностью — отношением абсолютной погрешности к предельному значению величины, которая может быть измерена по шкале прибора

$$\delta_m = \frac{a_x - a}{a_m} 100\% = \frac{\Delta}{a_m} 100\%. \quad (19)$$

По допустимой величине основной приведенной погрешности приборы согласно ГОСТу делятся на классы 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0, номера которых указывают допустимый процент основной погрешности.

Например, для микроамперметра на 100 мка класса точности 1,0 абсолютная погрешность в любой точке шкалы будет составлять ± 1 мка,

а относительная погрешность в начале шкалы (до $1/5$ ее максимального значения) может достигать 5%.

Погрешности, вызываемые изменением параметров элементов схем. Все детали и приборы радиоаппаратуры в той или иной степени меняют свои параметры во времени в результате старения, действия влаги, температуры, давления, внешних магнитных и электростатических полей и т. п. Кроме того, каждая деталь данного типа имеет определенный разброс параметров относительно номинальной величины. Это положение следует иметь в виду при замене тех или иных деталей схемы.

В связи с изложенным в технических условиях на аппаратуру предусматривается допустимый процент изменения показаний за определенный промежуток времени при определенных внешних условиях.

Для определения стабильности работы (воспроизводимости показаний) аппаратуры необходимо производить систематическую эталонировку радиометров с обязательным повторением ее после замены тех или иных элементов в схеме.

При работе с различными видами аппаратуры могут иметь место и другие источники ошибок, которые носят систематический характер.

Они могут быть вызваны смещением нулевого положения стрелки индикатора, «дрейфом» нуля в процессе измерений, постоянным, но односторонним внешним воздействием и т. п. Определение этой ошибки осуществляется на основе многократных измерений в одних и тех же условиях с последующим статистическим анализом; исключение ошибки производится путем введения поправки или путем устранения причин, вызывающих ее.

Физические ошибки

Эта группа ошибок связана с особенностями химического состава руд, влиянием равновесия и эманирования руд, спектрального состава измеряемого гамма-излучения и т. д.

Как отмечалось в гл. I, физические ошибки могут иметь и случайный, и систематический характер. Случайные ошибки существенно влияют на точность отдельных анализов и устраняются при определении средней концентрации урана по достаточно большой группе емкостей. Для устранения систематических ошибок в результаты анализов необходимо вводить соответствующие поправки.

Учет состояния радиоактивного равновесия

Если по радиохимическим или радиометрическим анализам порошковых проб определен коэффициент радиоактивного равновесия эталонного материала $K_{pp} = \frac{Ra}{U \cdot 3,4 \cdot 10^{-7}} \cdot 100\%$, то без учета эманирования вводится следующая поправка:

$$q_p = \frac{q_t}{K_{pp}},$$

где q_p — концентрация урана с учетом состояния равновесия;

q_t — концентрация, определенная по экспресс-анализам.

Отсюда следует, что формула (3) при различных коэффициентах равновесия контролируемых руд и эталонного материала принимает вид

$$q_p = q_{эт} \frac{I_p K_{pp}^{эт}}{I_{эт} K_{pp}^p}, \quad (20)$$

где $K_{pp}^{эт}$, K_{pp}^p — коэффициенты равновесия эталонного и рудного материала.

Это выражение дает возможность вести анализы при любом соотношении коэффициентов равновесия руд и эталонов.

Для определения $K_{эм}$ с сохранением физического состояния добытых руд можно применить метод измерения гамма-излучения при накоплении радона в герметичной емкости, содержащей 10—15 кг материала (рис. 40); при этом крупность материала и физическое состояние пробы соответствуют контролируемым рудам.

С этой целью производится отбор частных проб весом в 1—2 кг с поверхности отдельных емкостей в 4—5 точках. Для однородных руд отбор таких проб не представляет затруднений. Для руд с неоднородным распределением урана по отдельным классам крупности (см. гл. I) на основании предварительного ситового анализа определяется средний выход основных классов крупности (в процентах от всей массы). Для крепких, кусковатых руд выделяются, например, три класса крупности: —5, +5, —25 и +25 мм. С помощью мерных ящиков или весов проба отбирается так, чтобы соотношение отдельных классов крупности соответствовало среднему ситовому анализу руд. От материала высокой крупности при этом приходится отбивать более мелкие куски, что, строго говоря, приводит к частичному несоответствию гранулометрического состава руды и пробы. Однако другого метода отбора представительных проб малого веса не существует, а влияние указанного физического несоответствия проб и руды на эманирование материала, очевидно, будет незначительным. Объединение 10—15 таких частных проб из отдельных емкостей дает достаточно представительную пробу.

Для повышения статистической точности измерения этих проб целесообразно выполнять с помощью пересчетных установок, обладающих линейной счетной характеристикой в области определяемых активностей.

Коэффициент эманирования проб $K_{эм}$ определяется по формулам:

$$I_p = I_0 + \frac{I_t - I_0}{1 - e^{-\lambda t}}; \quad K_{эм} = \frac{(I_p - I_0) 100}{I_p} = \frac{I_t - I_0}{I_p - I_0 e^{-\lambda t}} 100\%, \quad (21)$$

где I_p — скорость счета, соответствующая равновесию между радонам и радием;

I_0 , I_t — скорость счета в начальный момент и через t часов;

λ — постоянная распада радона.

Величина I_0 измеряется в момент герметизации исследуемых проб, а I_t — по прошествии 3—4 дней. При этом следует строго следить за тем, чтобы геометрия измерения проб была бы во всех случаях одинакова.

Для надежного определения среднего значения $K_{эм}$ необходимо на каждом этапе контроля руд промерить 20—25 представительных проб, отобранных в течение 20—30 дней; при переходе к анализам руд новых типов определения величины $K_{эм}$ обязательны. Измерения проб повторяются периодически и при изменении химического состава руд. Исключение влияния эманирования производится на основе формулы

$$q_p = q_{эт} \frac{I_{пр} (1 - K_{эт})}{I_{эт} (1 - K_p)} = \alpha_{эм} q_{эт} \frac{I_{пр}}{I_{эт}}, \quad (22)$$

где q_p — истинная концентрация урана в рудах;

$q_{эт}$ — концентрация урана в эталоне;

$K_{эт}$, $K_{пр}$ — коэффициенты эманирования материала эталона и руды (без перевода в порошок);

I_p , $I_{эт}$ — измеренные интенсивности гамма-излучения руды и эталона.

Выражение $\frac{1 - K_{эт}}{1 - K_p} = \alpha_{эм}$ позволяет быстро оценить знак и величину ошибок при различных $K_{эт}$ и K_p . При $K_p > K_{эт}$ $\alpha > 0$, и резуль-

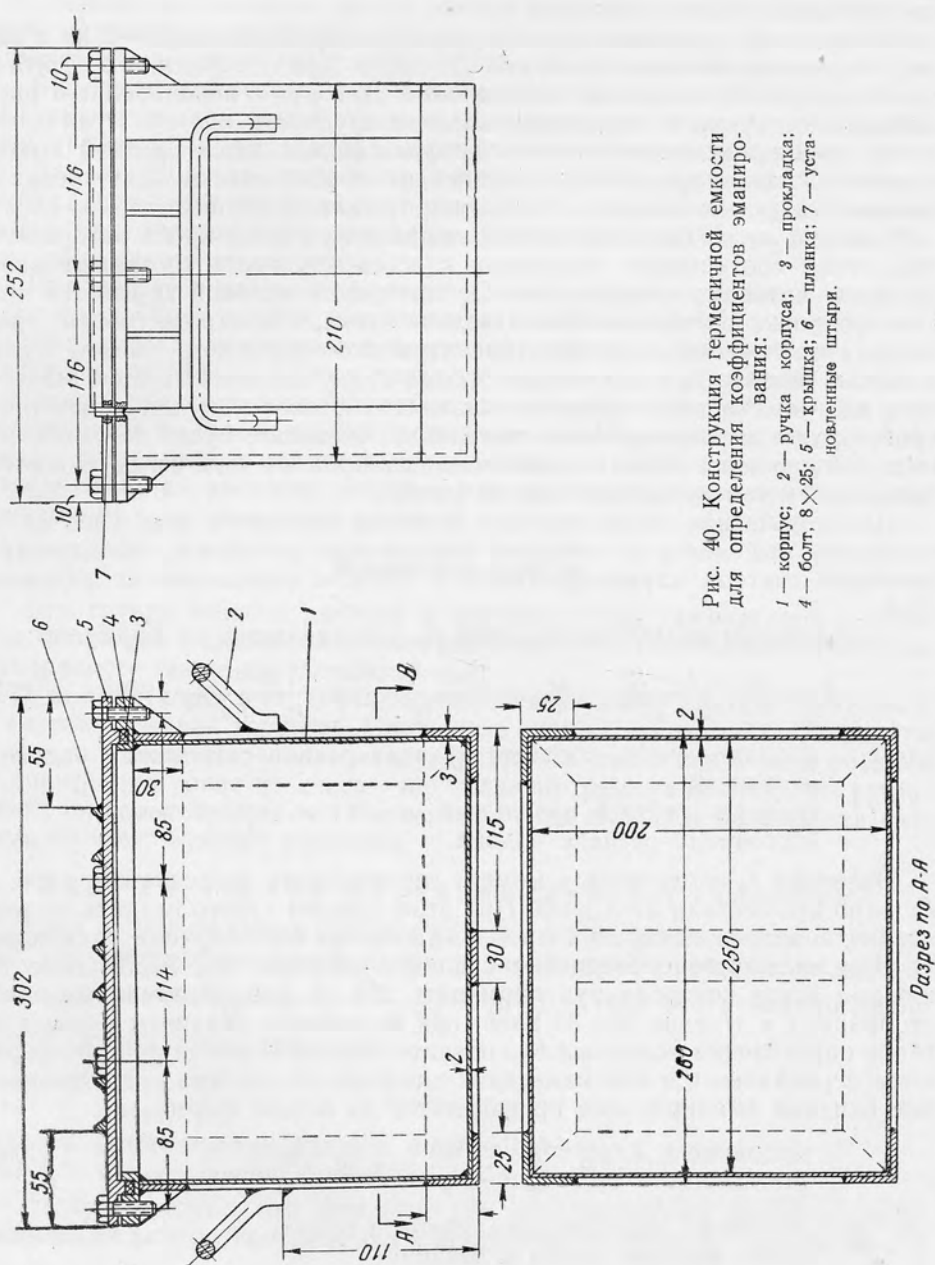


Рис. 40. Конструкция герметичной емкости для определения коэффициентов эманации:

тат экспресс-анализов, если не учитывать эманирование, будет занижен, при $K_p < K_{эт}$ ($\alpha < 1$) — завышен. Пользуясь этой зависимостью, можно по коэффициентам эманирования порошковых проб оценить пределы возможных ошибок еще до начала детальных работ. При использовании герметизированных эталонов величина ошибок целиком определяется коэффициентом эманирования руд, так как $\alpha_{эм} = \frac{1}{1 - K_p}$. Это

обстоятельство дополнительно подтверждает целесообразность применения именно таких эталонов, поскольку в этом случае подлежат определению только коэффициенты эманирования руд; одновременно обеспечивается стабильность показаний при измерении эталонов.

При сложном характере изменения состояния радиоактивного равновесия и эманирования руд поправочные коэффициенты могут определяться по результатам лабораторных анализов групповых (или контрольных) борздовых или керновых проб, представительных для данного рудного тела, блока и т. п. В этом случае прежде всего необходимо учитывать состояние равновесия по Ra (B + C), т. е. не принимать во внимание разницу $K_{эм}$ контролируемых руд и порошковых проб.

Иногда при больших коэффициентах эманирования или при циркуляции радоновых вод в трещиноватых зонах следует учитывать влияние диффузионного перемещения радона на гамма-излучение руд и вмещающих пород. Это влияние приводит к двум основным ошибкам измерений:

1) завышению концентрации урана в бедных рудах и породах в несколько раз, что приводит к ошибочному отнесению отдельных емкостей (чаще всего вагонеток) с пустой или слабоактивной горной массой к забалансовым или бедным рудам. Наличие такого явления качественно устанавливается повторным анализом проб малой активности после просушки их в течение нескольких дней;

2) занижению концентраций урана в рудах иногда до 15% за счет перемещения радона из краевых зон рудных тел во вмещающие породы.

При учете зависимости коэффициентов эманирования от геологических особенностей рудных тел эта ошибка исключается указанным ранее способом.

Учет влажности руд

При определении истинной концентрации урана в измеренных емкостях и эталонах в полученные величины концентраций вносится поправка на влажность по формуле

$$q_0 = q_n \frac{100}{100 - \eta}, \quad (23)$$

где q_n — концентрация при влажности η %;

q_0 — концентрация на сухой вес.

При значительных колебаниях влажности руд расчет концентрации q_0 можно выполнять по формуле

$$q_p^0 = q_{эт}^0 \frac{I_p}{I_{эт}} \frac{1 - \eta_{эт}}{1 - \eta_p} = \alpha_v q_{эт}^0 \frac{I_p}{I_{эт}}, \quad (24)$$

где $\eta_{эт}$, η_p — влажность эталонного материала и пробы в (относительных единицах),

$q_{эт}^0$, q_p^0 — концентрация урана в эталонном материале и пробе на сухой вес.

Выражение (24) аналогично формуле (22), и поэтому оценка возможных ошибок по величине α_v производится так же, как и по $\alpha_{эм}$. Воз-

возможные величины относительных ошибок анализа, если не учитывать различные значения влажности, могут достигать $\pm 10\%$ (табл. 5).

Таблица 5

Возможные величины ошибок анализов σ для различных коэффициентов влажности

$\eta_{\text{эт}}, \text{ } 0/\text{ } 0$	$\eta_{\text{р}}, \text{ } \%$	$\alpha_{\text{в}}$	$\sigma, \text{ } 0/\text{ } 0$	$\eta_{\text{эт}}, \text{ } 0/\text{ } 0$	$\eta_{\text{р}}, \text{ } 0/\text{ } 0$	$\alpha_{\text{в}}$	$\sigma, \text{ } \%$
1,0	1,0	1,0	0	5,0	1,0	0,96	+4
1,0	3,0	1,02	-2	5,0	3,0	0,98	+2
1,0	5,0	1,04	-4	5,0	5,0	1,0	0
1,0	10,0	1,10	-10	5,0	10,0	1,06	-6
3,0	1,0	0,98	+2	10,0	1,0	0,91	+9
3,0	3,0	1,0	0	10,0	3,0	0,93	+7
3,0	5,0	1,02	-2	10,0	5,0	0,95	+5
3,0	10,0	1,08	-8	10,0	10,0	1,0	0

Технические ошибки

Эта группа погрешностей обусловлена некачественным изготовлением эталонов, загрязнением емкостей мелким активным материалом, сегрегацией материала и различием степени заполнения емкостей при погрузке, а также дефектами методики измерений: неправильным эталонированием (например, отсутствует нулевой эталон, не учитывается экранирующее действие емкостей), влиянием активности рудных складов, бункеров и т. п. В некоторых случаях имеют место недостаточное время измерения пробы, погрешности при вычислениях и т. п.

Методы определения фактических значений всех указанных ошибок и способы их устранения приведены ниже.

2. СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ И СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ АНАЛИЗОВ

При рассмотрении вопросов точности экспресс-анализов необходимо все возможные погрешности разделить на случайные и систематические [5, 15, 22]. На основании приведенной выше классификации источников ошибок к случайным погрешностям анализа отдельных емкостей относятся:

1) статистическая ошибка измерения интенсивности гамма-излучения пробы, определяемая по формулам табл. 4. Расчетные значения этих ошибок σ_n для установок РКС-1, РКС-2 и РКС-3 приведены в табл. 6;

2) ошибка за счет неравномерности распределения урана внутри емкости — σ_n ;

3) погрешность, связанная с расхождением между коэффициентом равновесия $K_{\text{рр}}$ пробы и средним его значением за месяц (или для определенной партии) — $\sigma_{\text{рр}}$;

4) аналогичная погрешность за счет коэффициента эманирования — $\sigma_{\text{эм}}$;

5) то же, за счет влажности — $\eta - \sigma_{\text{в}}$;

6) ошибка за счет различного заполнения емкостей — $\sigma_{\text{з}}$.

Суммарная величина случайной ошибки для отдельной емкости составит

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_n^2 + \sigma_{\text{рр}}^2 + \sigma_{\text{эм}}^2 + \sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{з}}^2} = \pm \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{\text{ф}}^2 + \sigma_{\text{з}}^2}, \quad (25)$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ — физическая ошибка, связанная с особенностями вещественного состава руд и распределения урана в пробе.

Статистическая ошибка σ_n надежно определяется по многократным измерениям герметизированных рудных или стандартных эталонов. При стабильной работе аппаратуры средняя фактическая величина σ_n не превышает 1,5—2% (см. табл. 6).

Таблица 6

Расчетные значения
ошибок измерения различными установками РКС

Тип установок	Постоянная времени RC , сек	Пороговая чувствительность при $n_\Phi = 30$ мкр/ч	Относительная среднеквадратичная погрешность для середины первого поддиапазона (при $n_\Phi = 30$ мкр/ч), %	Цена деления первого поддиапазона (для шкалы в 100 делений)
РКС-2	2—20	1—3 мкр/ч	2,0—5,0	0,4 мкр/ч/дел
РКС-3	40—60	0,7—0,8 мкр/ч	0,8—1,0	0,1 мкр/ч/дел
РКИ-1У	2	10^{-14} а	1,0	0,02% U на одно деление для всех поддиапазонов

При правильном эталонировании аппаратуры наибольшее влияние на точность индивидуального анализа имеет погрешность σ_n [15]. Как указывалось, наиболее просто величина этой ошибки определяется при измерениях с 3—5-кратным пересыпанием или усреднением рудного материала.

Так, для месторождения с неравномерным распределением урана по результатам измерений 137 вагонеток средняя относительная ошибка составляла $\pm 8,8$, а максимальная достигала $\pm 42,5\%$.

Для 10 типов руд другого месторождения, измеренных в 200 автомашинах, эта ошибка изменялась в пределах от $\pm 1,0$ до $\pm 12,9\%$.

При больших колебаниях коэффициентов радиоактивного равновесия и эманирования ошибки σ_{pp} и $\sigma_{эм}$ могут быть также значительны. Так, по 371 пробе ошибки, определенные на основе величин коэффициентов равновесия между U и Ra (B + C), составили: средние — до $\pm 19,7\%$, максимальные — до $\pm 26,8\%$.

Остальные ошибки отдельного анализа, как правило, меньше и не требуют отдельного определения.

Истинная величина ошибки σ_Φ наиболее надежно определяется по сопоставлению данных экспресс-анализа с валовым опробованием достаточного большого числа отдельных емкостей. Это число зависит от состава руд, но, как правило, должно быть не менее 20—25. Величина σ_Φ (см. гл. I) может изменяться в широких пределах. Для равновесных руд, измеренных на установке «Кварц» или РКС-3, σ_Φ не превышает 3% (см. рис. 42); для неравновесных и эманлирующих руд, измеренных в вагонетках и автомашинах, случайные ошибки значительно возрастают. В качестве примера в табл. 7 даны результаты контрольного опробования руд с различной степенью неоднородности материала в вагонетках.

Из этих данных следует, что средняя ошибка σ_Φ изменяется от $\pm 6,9$ до $\pm 31,0\%$. При выполнении контроля валовым опробованием целесообразно получаемые порошковые пробы анализировать комбинированным методом и определять состояние равновесия в них между U и Ra (B + C). Очевидно, что для неоднородных руд с переменным коэффициентом равновесия и значительным эманированием величины ошибок будут еще больше.

К систематическим погрешностям отдельных анализов относятся:

- 1) ошибки эталонирования, связанные с отклонением коэффициента равновесия для эталонного материала между U и Ra ($B + C$) от среднего его значения для добытых руд за месяц или для определенной партии;
- 2) то же за счет расхождения величин влажности;
- 3) то же за счет различия химического состава эталона и проб;
- 4) ошибка за счет влияния сегрегации или систематического загрязнения вагонеток радиоактивным мелким материалом;
- 5) ошибки анализа эталонного материала на радий и уран;
- 6) погрешности за счет влияния соседних емкостей, например при измерениях без расцепки вагонеток.

Таблица 7

Результаты контрольного опробования руд различных типов

№ опыта	Тип руды	Число вагонеток	Относительная ошибка для всей массы руды, %	Относительная ошибка единичного анализа, %		
				средняя	максимальная	
1	I	59	-0,7	+31,0	+90,0	-36,0
2	II	50	+1,4	+23,0	+72,0	-31,4
3	III	137	0	+6,9	+22,5	-26,6
4	IV	85	-5,1	+6,9	+43,3	-66,7
5	V	42	-6,0	+22,7	+38,5	-62,3
6	VI	18	+5,8	+22,4	+91,3	-36,9
7	VII	25	+1,2	+24,0	+36,0	-43,0

Наличие систематических ошибок устанавливается с помощью различных видов контрольного опробования. Наиболее надежным и практически ценным является систематическое контрольное опробование с использованием производственного валового опробования товарной руды при отгрузке. В зависимости от постоянства состава руд и условий анализов такой контроль может выполняться ежемесячно, ежеквартально и т. д.; на рудниках, имеющих механизированное валовое опробование, проведение контроля не представляет затруднений. Необходимо только обеспечить надежное сопоставление данных промера руды установками РКС с результатами валового опробования.

Другим методом контроля могут явиться экспресс-анализы руд на транспортерах, точность которых в ряде случаев сравнима с точностью валового опробования. При отсутствии валового товарного опробования и экспресс-анализа на транспортерах контроль может выполняться путем отбора представительных проб от отдельных емкостей. Такое опробование может проводиться в выборочном порядке с привязкой проб к рудным телам, горизонтам и т. д.

Необходимое число емкостей для каждого типа руд зависит от их физических особенностей, но обычно не должно быть менее 25—30. При постоянстве условий измерений и эталонирования этот контроль, как более трудоемкий, производится не реже одного раза в год. При этом истинная точность указанных методов для каждого типа руд должна быть определена независимо.

Следует отметить, что при проведении всех видов контрольного опробования необходимо учитывать и истинную точность самих контрольных методов. Так, при валовом опробовании точность результата определяется ошибками химических анализов и пробоотбора.

Точность пробоотбора зависит от способа взятия и обработки проб (тип и режим работы пробоотборника, схема дробления и сокращения и т. д.) и устанавливается путем сравнения результатов химических ана-

лизированных проб. Например, при сравнении четырех шихтовых проб с валовыми (весь материал пущен в обработку) получены ошибки: -16 и $\pm 4\%$, в среднем $\pm 7\%$.

Таким образом, требование абсолютной сходимости результатов экспресс- и химических анализов валовых проб является необоснованным. Например, расхождение в $\pm 5\%$ для концентраций до $0,1\%$ является вполне допустимым. Существенно, чтобы при сопоставлении по нескольким партиям расхождения данных экспресс- и химических анализов имели бы различные знаки (т. е. плюс и минус). В противном случае возможно наличие систематической ошибки, величина которой превышает допустимые погрешности химических анализов и опробования. Для обоснованного решения вопроса о наличии систематических ошибок экспресс-анализа результаты контрольного опробования подвергаются статистической обработке.

3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ КОНТРОЛЬНОГО ОПРОБОВАНИЯ

Простейшим видом статистической обработки результатов измерений является составление корреляционных графиков, дающих возможность предварительно оценить вероятность систематических расхождений и характер погрешностей в зависимости от концентраций урана [19]. При этом можно также исключить из дальнейшего анализа отдельные измерения с наиболее высокими и не типичными для данных условий расхождениями; эту же операцию можно выполнить, пользуясь критерием Шовене [20].

Более надежные выводы могут быть получены при статистическом анализе, исходя из вычисленных значений коэффициента вероятности [5, 17, 19].

$$t = \frac{(M_p - M_x) n}{\sqrt{\sum (q_p - q_x)^2 - n(M_p - M_x)^2}}, \quad (26)$$

где M_p , M_x — средние концентрации урана по экспресс-анализам и контрольному опробованию;

q_p , q_x — концентрации по отдельным емкостям,
 n — число емкостей.

При $t \geq 2$ имеет место систематическая ошибка; если $t \leq 1$, систематическая погрешность отсутствует, при $1 < t < 2$ расхождения имеют неопределенный характер. Если число сопоставляемых емкостей достаточно велико, то целесообразно такую обработку выполнить по интервалам концентраций (например, по сортам руд); число проб каждого интервала должно быть не менее 20—25.

Более удобно использовать номограмму (рис. 41), связывающую число пар проб N и разность S в числе положительных и отрицательных отклонений от средних значений M_p , M_x с вероятностью P наличия существенных систематических расхождений. Число S определяется как разность числа положительных ($n+$) и отрицательных ($n-$) расхождений $q_p - q_x$. Величина P_s по данным N и S берется по ступенчатой линии номограммы.

Если $P_s \geq 0,95$, то имеется систематическая погрешность; при $0,90 < P_s < 0,95$ систематическая ошибка весьма вероятна; при $P_s < 0,90$ результат анализа является неопределенным; при $P_s < 0,75$ систематическая ошибка отсутствует.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВочНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Если результаты контрольного опробования и статистической обработки полученных данных подтверждают наличие систематической ошибки экспресс-анализов, то следует выявить и устранить причину этой по-

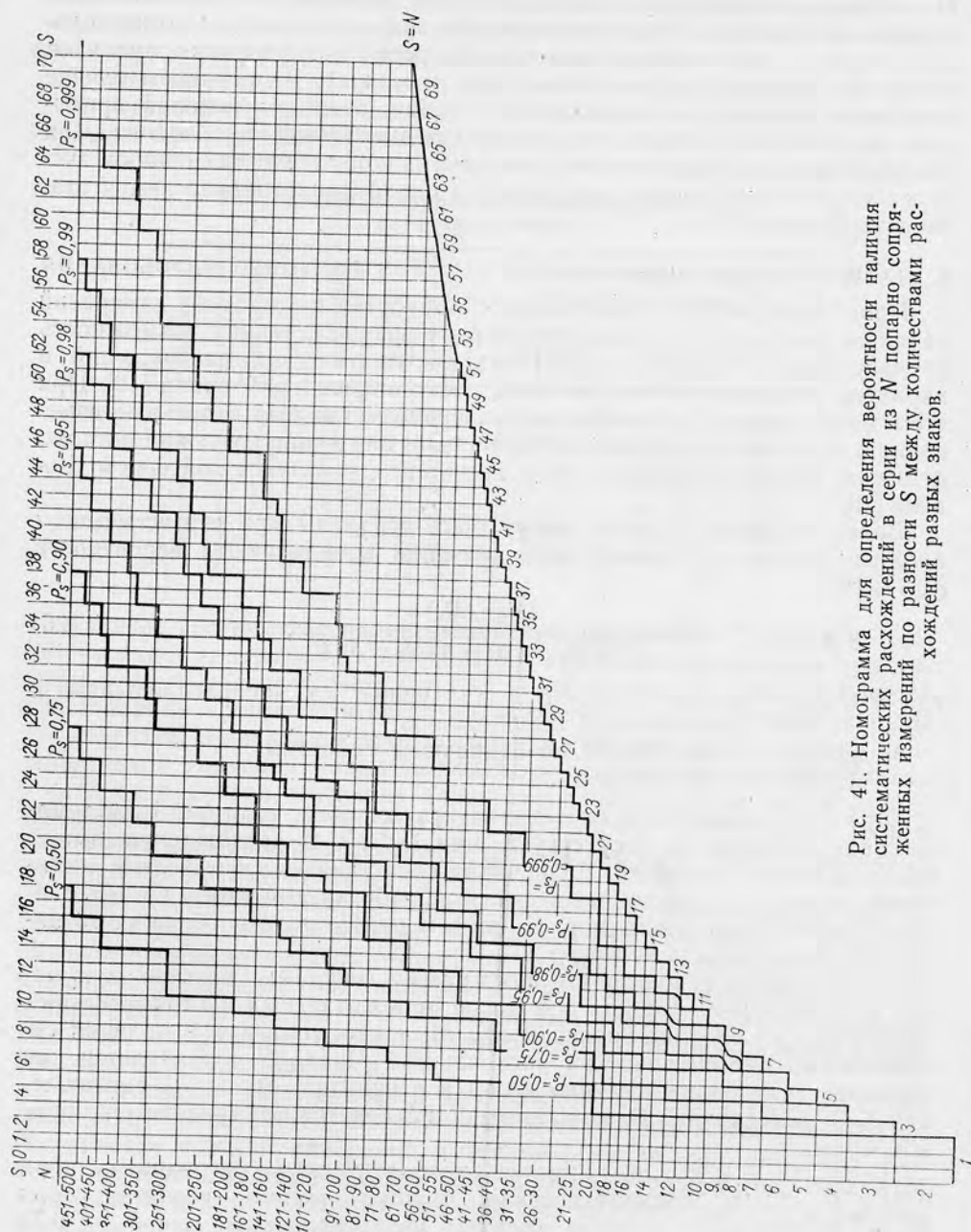


Рис. 41. Номограмма для определения вероятности наличия систематических расхождений в серии из N попарно сопряженных измерений по разности S между количествами расхождений разных знаков.

грешности. При этом необходимо учитывать все приведенные выше источники систематических ошибок. Однако в ряде случаев источник погрешности устранить практически нельзя, как, например, в случае анализов нескольких типов руд с помощью одних и тех же рудных эталонов. Весьма часто также в измеряемых рудах имеет место изменение состояния равновесия между U и Ra (B + C) по сравнению с эталонами того же состава. Такое положение встречается не только для различных типов руд, но и для отдельных блоков одного и того же рудного тела. Очевидно, что изготовление эталонов для каждого типа руд, добываемых на одном и том же месторождении, нецелесообразно. Поэтому, если источник систематической ошибки сохраняется, то в результаты экспресс-анализа вводится поправочный коэффициент по соотношению

$$K = \frac{M_x}{M_p}, \quad (27)$$

где M_x , M_p имеют те же значения, что и в формуле (26).

Если статистическая обработка выполнена и по интервалам концентраций, то можно получить два вида коэффициентов: а) средние — для определенного типа руд и данных условий анализов; б) дифференциальные — для взятых групп концентраций или сортов руды. Эти коэффициенты особенно необходимы при нелинейной характеристике чувствительности аппаратуры в пределах измеряемых активностей.

Наиболее обоснованные коэффициенты получаются при сопоставлении результатов валового опробования партий товарных руд и экспресс-анализов руд в емкостях, вошедших в партию. Средневзвешенная концентрация урана по данным экспресс-анализов составит

$$q_{cp} = \frac{\sum_1^i q_{pi} p_i}{P}, \quad (28)$$

где q_{pi} , p_i — концентрация и вес отдельных проб,
 P — вес руды в партии.

Поправочный коэффициент будет

$$K^{cp} = \frac{q_x^{cp}}{q_p^{cp}}, \quad (29)$$

где q_x^{cp} — концентрация по валовой пробе.

Коэффициенты определяются ежегодно и для всех новых типов руд. При стабильной аппаратуре и постоянстве физических особенностей руд величины K достаточно устойчивы (табл. 8).

Таблица 8

Значения поправочных коэффициентов K
 для различных типов руд

№ опыта	Тип руды	Среднегодовые K		
		первый год	второй год	третий год
1	I	0,88	0,88	0,88
2	II	1,12	1,09	—
3	III	1,09	0,92	—
4	IV	2,07	1,92	—
5	V	1,51	—	—
6	VI	1,0	1,0	—

Примечание. Экспресс-анализ производился с помощью эталонов из руды типа VI.

В зависимости от конкретных условий полученные коэффициенты используются оперативно в процессе измерений при определении концентраций урана в рудах отдельных емкостей по характеристике чувствительности или по формуле, аналогичной выражению (3); средние поправочные коэффициенты часто применяются для корректировки окончательных результатов по типам руд и крупным партиям.

Кроме систематических работ по определению поправочных коэффициентов, целесообразно проводить и оперативный контроль точности экспресс-анализов с учетом состояния аппаратуры, постоянства условий измерений и физических особенностей руд. При этом может проводиться либо выборочное контрольное опробование одиночных емкостей, либо используется текущее товарное опробование. Очевидно, что методика оперативного контроля не отличается от вышеописанной.

5. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗОВ

Приведенные выше данные показывают, что точность экспресс-анализов не во всех случаях удовлетворяет требованиям производства. Только при измерениях равновесных, слабоэманулирующих руд в малых емкостях средние погрешности измерений по отдельным пробам и партиям, как правило, не превышают $\pm 5\%$. Для таких же руд в вагонетках средние ошибки отдельных анализов достигают $\pm 20-30\%$, а по партиям $\pm 5-6\%$. Для неравновесных эманулирующих руд точность анализов гамма-методом еще ниже, поскольку дополнительная ошибка для единичных проб за счет колебаний равновесия может превышать $\pm 10\%$, достигая $\pm 25\%$ и более (см. гл. VI). Для руд в больших емкостях — автомашинах, железнодорожных вагонах — средние показатели точности будут, очевидно, еще ниже, чем для руд в вагонетках.

Причиной снижения точности гамма-экспресс-анализов являются, как указывалось, физические особенности руд и аппаратурно-технические ошибки. Учитывая характер этих погрешностей и опыт массового контроля добытых руд в разнообразных условиях, можно указать следующие пути дальнейшего повышения точности экспресс-анализов.

1. Систематическое проведение контрольного валового опробования по партиям или по группам измеряемых емкостей. Этот контроль является основным средством выявления и устранения ошибок, характерных для данного типа руд и условий измерений, и обеспечивает по крупным партиям (или за месяц) точность не ниже $\pm 5\%$.

Практически более ценным является опробование по партии в 25—70 однотипных емкостей или по большим партиям валового товарного опробования; полученные при этом поправочные коэффициенты являются наиболее представительными. При постоянстве среднего состояния равновесия, эманулирования и условий измерений эти коэффициенты достаточно определять раз в год. Если указанные условия не постоянны, то коэффициенты необходимо определять чаще.

Следует отметить, что опробование партий, как правило, механизировано; это существенно облегчает процесс контроля. При этом, в зависимости от неоднородности и крупности руд, в пробу направляется от 3 до 10% исходной массы или 1% после дробления до -5 мм; величина коэффициента, входящая в формулу Чечотта, при обработке пробы берется не ниже 0,5 [1].

Опробование по партиям или отдельным емкостям сопровождается тщательным эталонированием аппаратуры эквивалентами или эталонными емкостями.

Для проведения контрольного опробования могут быть использованы также экспресс-анализы на транспортерах. Наибольшая точность при этом обеспечивается на дробленых рудах (например, -50 мм) с устойчивым состоянием равновесия между U и Ra ($B + C$).

2. Изучение и определение величины основных ошибок анализа отдельных емкостей, характеризующих точность первичной сортировки горнорудной массы. Для большинства руд главным источником этой группы ошибок является неравномерность распределения урана и в некоторых случаях изменения коэффициентов равновесия и эманирования. Точность отдельных анализов можно существенно повысить путем применения дифференциальных поправочных коэффициентов, определенных контрольным опробованием по достаточному числу емкостей или по группе партий с различными средними концентрациями. Повышение точности отдельных анализов обеспечивается также при дополнительном усреднении материала, например, при предварительном дроблении руды в горных выработках или на поверхности, при добыче роторными или многоковшовыми экскаваторами и т. п. (рис. 42).

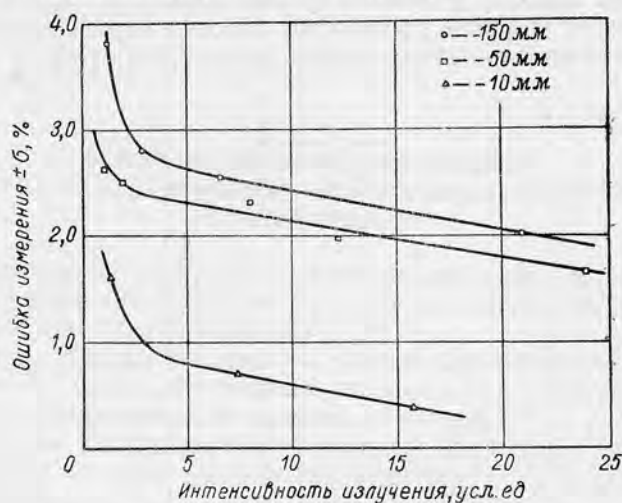


Рис. 42. Зависимость относительной ошибки отдельного измерения проб от концентрации урана при различной крупности рудного материала.

3. Выбор оптимального способа эталонирования и материала для эталонов.

Наиболее целесообразно эталонирование проводить по валовому опробованию и эквивалент-эталонам. Во всех случаях необходимо применять герметизированные эталоны, учитывая только эманирование контролируемого материала. Необходимо также с помощью «нулевых» эталонов или характеристики чувствительности учитывать изменение фона при экранировании датчиков емкостями с рудой. При различии химического состава эталонов и руд необходимо определять и вводить поправочные коэффициенты.

4. Выявление и, если возможно, устранение всех источников систематических ошибок анализа, особенно существенных для сортировки отдельных емкостей. Например, влияние сегрегации устраняется при изменении системы погрузки, загрязнение емкостей — введением виброочистки, мойки и т. п.

5. Правильный выбор места для монтажа установок, обеспечение оптимальных условий измерений руд в отдельных емкостях. В случае необходимости контроля руд в нерасцепленных составах учитывается влияние излучения руд в соседних емкостях.

6. Дальнейшее повышение стабильности и эксплуатационной надежности всех новых установок РКС за счет применения более качественных счетчиков, деталей, стабилизаторов переменного напряжения и т. п.

7. Усовершенствование общей организации экспресс-анализов на предприятиях за счет перехода от многоступенчатой системы к более простой и лучше контролируемой. При этом необходимо все основные этапы контроля обеспечить новыми установками РКС в первую очередь РКС-2 для вагонеток, автомашин и вагонов. Наиболее ответственные экспресс-анализы руд, результаты которых служат, например, для расчетов между рудниками и заводами, необходимо выполнять в емкостях с минимальным в условиях данного предприятия весом руды или на транспортерах.

8. Усовершенствование методики экспресс-анализов особенно для неравновесных эманулирующих руд. Необходима дальнейшая разработка методики оперативного определения коэффициентов равновесия и эманирования или коэффициента равновесия между U и Ra ($B + C$), соответствующих данному физическому состоянию руд. При решении этой задачи возможно широкое применение способа определения $K_{эм}$ в герметичных емкостях на средних пробах недробленных руд.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТОВ С УСТАНОВКАМИ РКС-1

1. Контрольные пункты должны монтироваться на площадке с минимально возможным гамма-фоном. Месторасположение КП должно обеспечивать удобную транспортировку руды.

2. Складские помещения должны находиться от здания КП на расстоянии не менее 10 м, а помещение для установки датчика радиометра должно быть экранировано от внешнего излучения.

3. Помещение КП должно обеспечивать безопасные для оператора условия работы, а также постоянство температуры и влажности (в известных пределах).

4. КП должен быть связан со складскими помещениями соответствующими путями транспортировки руды.

5. Контрольный пункт должен быть обеспечен автоматическими стрелочными весами, причем взвешивание пробы должно производиться одновременно с ее анализами (измерением).

6. Для установки проб и эталонов в строго постоянном положении относительно приемника излучения КП должен быть снабжен соответствующими стопорами.

7. В КП должна быть предусмотрена звуковая или световая сигнализация в складские помещения и пункт сортировки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТОВ С УСТАНОВКАМИ РКС-2

Контрольные пункты с установками РКС-2 монтируются в подземных выработках и на поверхности шахт и служат для контроля и экспресс-анализов вагонеток у рудоспусков, на руддворах и на отдельных технологических линиях.

I. Условия для подземных выработок

1. Установка монтируется на неактивном по возможности сухом участке горных выработок. Расстояние от бункеров или стволов шахт должно быть не менее 6—10 м.

2. Для монтажа готовится специальная площадка. Длина площадки 10 м на всю ширину горной выработки. При наличии обгонных путей на основных горизонтах монтируются установки на обоих путях, ведущих к стволу шахты. Площадка симметрична по отношению к оси монтажа установки.

3. По всей длине площадка покрывается бетоном. Если в выработке имеется подсыпка, содержащая активный материал, то необходимо снять слой в 30 см, затем это место на 20 см засыпать совершенно неактивным материалом и залить цементом. Верхний слой на 10 см заливается бетоном, полностью покрывающим шпалы. Боковые панели цементируются на высоту 50 см по всей длине площадки. В бетоне и у краев площадки делаются водостоки, к площадке подводится вода для смывания активного материала.

4. При проектировании и заливке площадки предусматривается крепление держателей для кассет, направляющих рам для опрокидывающихся вагонеток, заделка труб и гнезд для стопоров. При глухих вагонетках направляющие рамы не монтируются.

5. Направляющие рамы представляют собой прочную конструкцию из углового железа, обеспечивающую симметричное положение вагонетки при измерениях и защиту кассет от удара перекошенными вагонетками.

6. Стопора для остановки вагонеток в строго определенном положении по отношению к кассетам приводятся в действие механическим или электрическим способами.

7. Для питания установки, смонтированной на руддворе, необходимо напряжение 220 в (110 в). У рудоспусков могут быть использованы установки с питанием от аккумуляторов.

8. Кассеты монтируются в изолированных отсеках или имеют металлические решетки. Кабель от пульта управления к кассетам укладывается в металлической трубе.

9. Будка для операторов легкая металлическая или деревянная высотой 2,2—2,3 м, шириной 2—3 м, длиной 2—3 м, двери замыкаются. В кабине оператора необходимо место для стола размером 1,2—0,5 м, стула и железного шкафа. В сырых выработках необходима крыша и над кассетами.

10. Напряжение для питания установки должно быть по возможности стабильным. В будке монтируется щиток с предохранителями, две штепсельные розетки, освещение.

11. Для эталонных вагонеток необходимо иметь запасной тупик. Длина тупика рассчитана на 3 вагонетки, расстояние от ближайшей вагонетки до установки не менее 10 м.

II. Условия для поверхности шахт

1. Установка монтируется на эстакаде или на другой точке поверхности шахты, обладающей минимальной активностью и удобной для дальнейшей сортировки вагонеток. Расстояние до ствола шахты должно быть не менее 10 м, до бункеров — не менее 6—10 м.

2. Для установки РКС, входящей в комплекс автоматической или полуавтоматической сортировочной горки, принимаются основные размеры радиометра «Стрела».

3. Площадка длиной 10 м, симметричная по отношению к кассетам, покрывается кровельным железом или бетоном.

4. Помещение установки делается по отдельному проекту или по схемам, изображенным на рис. 14, 15.

5. Пункты 6, 10, 11 условий для подземных выработок применимы и для поверхности.

6. Для более точного определения веса бедных товарных руд, направляемых на отгрузку, желательна установка на пункте вагонеточных весов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Формы записи результатов измерений на установке РКС-2

а. При позабойном экспресс-анализе

Прибор РКС-2 № _____, КП № _____ Рудник _____

Оператор _____ Дата _____ Смена _____

№ п/п.	Участок, блок, забой	Отсчет для вагонетки	Отсчет для эталонов	Содержание U, %	Класс руды	Вес вагонетки, т	Примечание

б. Сводные результаты позабойных экспресс-анализов за сутки, декаду и т. д.

Рудник _____ Дата _____

№ п/п.	Участок, блок, забой	Товарные руды						Забалансовые руды	Порода, вес, <i>m</i>	
		— сорт		— сорт		— сорт				
		вес, <i>m</i>	содержание U, %	вес, <i>m</i>	содержание U, %	вес, <i>m</i>	содержание U, %			вес, <i>m</i>

в. Сводные результаты измерений по руднику за месяц, квартал и т. д.

Рудник _____

№ п/п.	Тип установки, № контрольного пункта КП	Местонахождение КП	Всего промерено вагонеток	В т. ч. по классам						Забалансовые руды	Порода, вес, т
				товарные руды							
				— сорт		— сорт		— сорт			
				число, вес	содержание U, %	число, вес	содержание U, %	число, вес	содержание U, %		

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Форма записи результатов измерений установкой РКС-1 при позабойном экспресс-анализе

№ п/п. тары	Блок (забой) индекс	Вес пробы, кг	Показания прибора, деления	Содержание U в пробе, %	Содержание U в пробе (после введения поправок)		Количе- ство урана, кг	Примечание
					%	сорт		

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Форма записи результатов измерений установкой РКС-1 при экспресс-анализах по партиям

Номер партии _____ Вес брутто _____ Нетто _____

Количество мест _____ Коэффициент влажности _____

№ пробы	Показания прибора, деления	№ пробы	Показания прибора, деления	№ пробы	Показания прибора, деления
Эталон		Эталон		Эталон	
1					
2					
3					
и т. д.					
до 25—50					

Примечание. Промер активности эталонов выполняется в начале и конце серии измерений. Условный нуль установки равен . . . делениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбов М. Н. Опробование рудных месторождений. М., Metallurgizdat, 1952.
2. Баранов В. И. Радиометрия. М., Изд-во АН СССР, 1956.
3. Баранов В. И., Гольдфарб М. Л., Горбушина Л. В. Ионизационный гамма-электрометр и его применение. М., Госгеолиздат, 1946.
4. Барит И. Я., Подгорецкий М. И., Чудаков А. Е. Статистика и просчеты при работе с пересчетными схемами. Ж. техн. физ., XIX, вып. 6, 730 (1949).
5. Барышев Н. В. Опробование месторождений и рудных масс для составления баланса металла на горнорудных предприятиях. Сов. геол., 20. М., 1947.
6. Бонч-Бруевич А. М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. М., Гостехиздат, 1955.
7. Бочкарев В. В. и др. Измерение активности источников бета- и гамма-излучений. М., Изд-во АН СССР, 1953.
8. Булашевич Ю. П. О самопоглощении излучающего шара. Ж. техн. физ., XXVI, 2599—2600 (1956).
9. Векслер В. И. и др. Ионизационные методы исследования излучений. М.—Л., Гостехиздат, 1949.
10. Воскобойников Г. М. Интегральные уравнения и приближенные формулы для расчета интенсивности γ -излучения в однородной излучающей среде. Тр. Горно-геол. ин-та, геофиз. сб. № 2, 152—161 (1957).
11. Воскобойников Г. М. Интенсивность γ -излучения в однородной излучающей среде. Тр. Горно-геол. ин-та, Геофиз. сб. № 2, 162—172 (1957).
12. Горшков Г. В. Гамма-излучение радиоактивных тел. Л., Гос. ленингр. ун-т, 1956.
13. Маликов М. Ф. Основы метрологии. М., Трудрезервиздат, 1949.
14. Мелков В. Г., Пухальский Л. Ч. Поиски месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
15. Посик Л. Н., Тененбаум И. М. Применение специальной аппаратуры для экспресс-анализов добытых руд по γ -излучению. «Атомная энергия», 3, 7, 28 (1957).
16. Посик Л. Н. Поле излучения прямоугольного параллелепипеда с учетом самопоглощения. «Атомная энергия», 4, 470 (1958).
17. Горшков Г. В., Граммасов А. Г. и др. Радиометрические методы поисков и разведки урановых месторождений. М., Госгеолиздат, 1957.
18. Санин А. А. Радиотехнические методы исследования излучений. М., Гостехиздат, 1951.
19. Смирнов В. И. Подсчет запасов минерального сырья. М., Госгеолиздат, 1950.
20. Уорсинг А., Геффнер Д. Методы обработки экспериментальных данных. М., Изд-во иностр. лит., 1948.
21. Хайн и Мак-Колл. Обратное рассеяние γ -излучения. *Nucleonics*, 12, № 4 (1954).
22. Шашкин В. Л. Количественные радиометрические измерения радиоактивных руд в естественном залегании. «Атомная энергия», 2, 48—53, 1957.
23. Шашкин В. Л., Шумилин И. П., Пруткина М. И. Соотношение β - и γ -излучения естественных радиоактивных элементов. Приложение № 6 к ж. «Атомная энергия», 136—145, 1957.
24. Основные формулы физики. Под ред. Д. Мензела. М., Изд-во иностр. лит., 1957.
25. Шашкин В. Л., Шумилин И. П. Радиометрический метод определения урана в рудных пробах. Приложение № 6 к ж. «Атомная энергия», 127—135, 1957.
26. Яковлев К. П. Математическая обработка результатов измерений. М., Гостехиздат, 1953.
27. Damon P. E., Winters P. N. Resolution Losses in Counters and Trigger Circuits. *Nucleonics*, 12, № 12 (1954).
28. Bell R. E. Canadian J. of Physics, 34, № 6, 563 (1956).

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Физические основы метода	5
1. Радиологические особенности руд	5
2. Физическая характеристика добытых руд	10
Глава II. Элементы технологических комплексов горнорудных предприятий	12
1. Схемы добычи и транспортировки руд	12
2. Место установок РКС на различных этапах добычи и переработки руд	12
3. Элементы технологических комплексов типовых шахт, содержащие установки РКС	14
4. Проектирование и монтаж контрольных пунктов (КП). Основные их виды	16
Глава III. Методика экспресс-анализов	29
1. Характеристика условий применения установок РКС в зависимости от горногеологических особенностей рудников	29
2. Общие принципы измерений при экспресс-анализах руд	30
3. Основные параметры радиометрической аппаратуры	31
4. Методика эталонирования установок РКС	32
5. Основные виды анализов	36
Глава IV. Экспресс-анализы руд в больших емкостях	37
1. Краткое описание аппаратуры	37
2. Экспресс-анализы руд в вагонетках	41
3. Экспресс-анализы руд в автомашинах	44
4. Экспресс-анализы руд в железнодорожных вагонах	46
Глава V. Экспресс-анализы руд в малых емкостях	47
1. Экспресс-анализы богатых товарных руд и рудных концентратов	47
2. Экспресс-анализ недробленных геологических проб	52
Глава VI. Точность экспресс-анализов	57
1. Источники ошибок экспресс-анализов	57
2. Систематические и случайные погрешности измерений. Методы определения практической точности анализов	64
3. Статистическая обработка данных контрольного опробования	67
4. Определение поправочных коэффициентов и их использование	67
5. Пути повышения точности экспресс-анализов	70
Приложения	73
Литература	77

*Лев Нотович Посик,
Иван Васильевич Кошелев,
Владимир Павлович Бовин.*

**Радиометрический экспресс-анализ
добытых руд
(краткое руководство)**

Редактор *М. А. Сагура*
Обложка художника *М. А. Шевцова*
Техн. редактор *Е. И. Мазель*
Корректор *М. В. Пословская*

Сдано в набор 28/XII 1959 г.
Подписано в печать 22/IV 1960 г.
Формат бум. 70 × 108 ¹/₁₆. Печ. л. 5,0.
Привед. печ. л. 6,85. Уч.-изд. л. 6,18. Зак. Изд. 375.
Тираж 5000 экз. Зак. 3. Т-05414.
Цена 3 руб. 10 коп.

Атомиздат, Москва, В-180,
Старомонетный пер., 26.

Типография № 8 Управления полиграфической
промышленности Ленсовнархоза.
Ленинград, Прачечный пер., д. 6.