

Применение специальной аппаратуры для экспресс-анализов добытых руд по γ -излучению

Л. Н. Посик, И. М. Тененбаум

Для оперативного учета количества и качества добытых руд и товарной продукции в различных емкостях (вагонетках, автомашинах, ящиках), а также для выделения обогащенной ураном отбитой горной массы, закладочного материала и отвальной породы широко применяются установки РКС (радиометр контрольный стационарный). В статье дается характеристика этих установок, описываются горногеологические условия их применения и те задачи, которые могут быть решены с их помощью.

С точки зрения рационального применения установок РКС-1 и РКС-2 для оперативного учета позабойной добычи, оценки товарной продукции, борьбы с потерями металла и разубоживанием руды все горнорудные предприятия могут быть разделены на две группы: 1) с валовой выемкой руды; 2) с преимущественно селективной выемкой руды.

На горнорудных предприятиях с валовой выемкой весь оперативный учет добытой и товарной руды основан на γ -экспресс-анализах всей отбитой массы в вагонетках и автомашинах, выполняемых на установках РКС-2. При селективной выемке позабойный учет добытой руды ведется на установках РКС-1. Этот учет служит основой для опробования добычей на гидротермальных жильных месторождениях с маломощными богатыми рудными телами. Экспресс-анализы богатых товарных руд также осуществляются на установках типа РКС-1.

Установки РКС-2 дают возможность не только оперативно определять активность руд и породы в отдельных емкостях, но и осуществлять полную автоматизацию трудоемких работ при откатке, сортировке и выгрузке вагонеток с отбитой горнорудной массой.

В процессе разведки и эксплуатации месторождений урана и тория для борьбы с потерями металла и подсчета запасов необходимо оперативно определять содержание металла в добытых рудах и пробах различного веса из разведочных выработок и закладочного материала и осуществлять контроль всей добываемой горнорудной массы. Для решения этих задач успешно применяются радиометрические измерения.

В 1946 г. профессор В. И. Баранов [1] описал метод опробования руд в ящиках с помощью ионизационного γ -электрометра. Однако из-за низкой производительности этот метод не нашел широкого практического применения. С 1946—1947 гг. для выполнения аналогичных измерений применяются полевые γ -радиометры (ВИРГ, ПР-5, УР-4). Этими приборами необходимо производить

многоточечные замеры на поверхности или по боковым плоскостям емкости с контролируемым материалом, что отнимает много времени. При таком методе отсутствие полной идентичности условий измерений различных проб и необходимость дополнительной обработки данных для получения среднего из серии замеров неизбежно приводят к малой точности результатов. Недостаточная линейность и разрешающая способность полевых радиометров также существенно ухудшает точность измерений. Поэтому использование полевых радиометров рационально только при малых объемах горных работ, не требующих высокой производительности и точности измерений.

В 1947—1948 гг. для решения задачи массовых γ -экспресс-анализов на крупных горнорудных объектах нами были созданы

первые специальные установки РКС и разработана методика их применения. С 1951 г. промышленность выпускает установки РКС серийно; с 1956 г. готовится производство более совершенных моделей.

Общим принципом конструкции этих установок является обеспечение однократного и наиболее представительного измерения всего объема горнорудной массы. Для этого датчик-приемник γ -излучения, состоящий из нескольких кассет, располагается

2—датчик-приемник γ -излучений, состоящий из двух кассет с группой счетчиков МС-9.

Установка используется в двух основных вариантах:

а) для измерений богатых руд и концентратов; в этом случае кассеты удалены от емкости с рудой на 10—30 см. Однако для этих руд лучшие результаты дают установки с ионизационными датчиками;

б) для экспресс-анализов различных укрупненных проб; при этом необходима наибольшая чувствительность измерений.

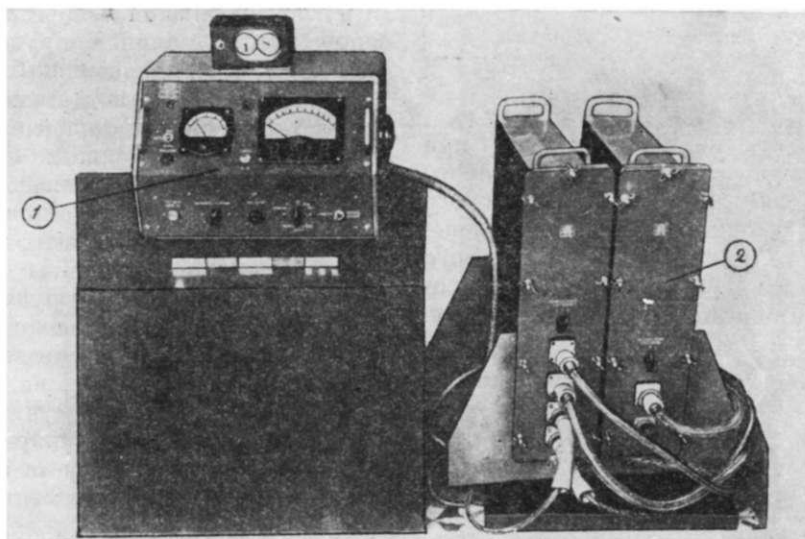


Рис. 1. Общий вид установки РКС-1.

с двух-трех сторон емкости с измеряемым материалом; в датчиках используются счетчики Гейгера различных типов или специальные ионизационные камеры. Размеры и геометрия датчиков определяются величиной и формой стандартных емкостей, применяемых на различных этапах горнотехнологического комплекса—вагонеток, автомашин, ящиков и т. п. В соответствии с этим создано два основных варианта приборов: РКС-1 и РКС-2.

Установки РКС-1 предназначены для экспресс-анализов богатых руд и укрупненных проб в малой стандартной таре различной формы, вмещающей до 100 кг активного материала. В состав прибора, представленного на рис. 1, входят следующие основные узлы: 1—пульта управления с источником питания и усилительно-измерительным устройством;

для чего кассеты устанавливаются с минимальным зазором.

Установки РКС-2 применяются для массового контроля и экспресс-анализов активного материала в рудничных вагонетках и автомашинах. Блок-схема и общий вид установки РКС-2 представлены на рис. 2 и 3; датчик прибора состоит из двух кассет большего размера, содержащих группу счетчиков типа МС-9.

В отличие от обычных методов валового опробования, связанных с механической обработкой материала, γ -экспресс-анализы дают возможность исключительно оперативно определять качество всех добытых руд с сохранением их позабойной маркировки (горизонт, блок, забой, дата, смена). При этом анализируется вся рудная

масса, а не часть ее, что существенно улучшает точность получаемых результатов. Эти важные преимущества дают возможность широко применять экспресс-анализы для решения

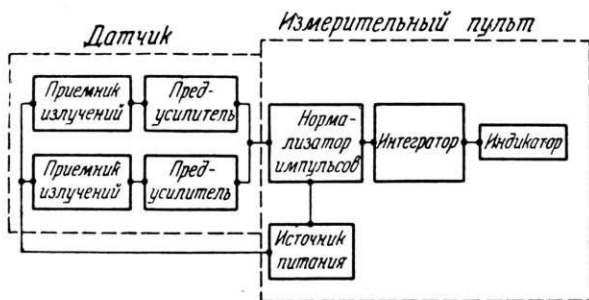


Рис. 2. Блок-схема установки РКС-2.

вопросов, практически неразрешимых при механической обработке проб: позабойного и ежедневного учета добычи; оперативного выявления разубоживания руд и обогащения закладочного материала; оперативного контроля процесса гравитационного и радиометрического обогащения и ряда других.

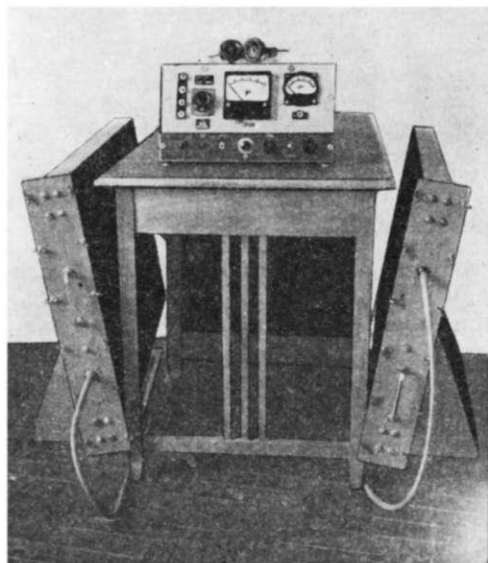


Рис. 3. Общий вид установки РКС-2.

Рациональность применения установок РКС в основном определяется системой эксплуатации и разведки месторождения, масштабом горнодобывающих работ, характером оруденения и числом сортов рудного сырья.

С этой точки зрения все месторождения урана можно разделить на две группы:

1) месторождения, разрабатываемые преимущественно селективной добычей богатых руд и попутным извлечением значительных масс бедных руд;

2) месторождения с валовой добычей значительных масс бедных товарных и некондиционных руд.

На месторождениях первой группы результаты экспресс-анализов установками РКС-1 широко используются для решения практических задач:

1) подсчета запасов металла в недрах на основе экспресс-анализов руд, добытых в выработках, оконтуривающих блоки («эксплуатационный» метод подсчета запасов). При этом статистически определяется вероятная продуктивность отдельных блоков.

Точность подсчета запасов по результатам позабойных экспресс-анализов всех руд определяется сходимостью фактической продуктивности, полученной в процессе отработки отдельных блоков, рудных тел и месторождения в целом, с расчетными данными. Статистический анализ этих величин дает возможность получать надежные поправочные коэффициенты, учитывающие особенности оруденения для дальнейшего повышения точности подсчета запасов;

2) оперативного учета добычи за смену, сутки, декаду;

3) экспресс-анализов различных проб;

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

5) контроля отходов, полученных при сортировке добытой руды.

С помощью установок РКС-2 контроль всей горнорудной массы осуществляется с целью решения следующих задач:

1) разделения руды и породы для предупреждения потерь и разубоживания при транспортировке через рудоспуски и выдаче горнорудной массы скиповыми подъемами;

2) обеспечения наиболее полного возврата потерь металла из выданной на поверхность горной массы и закладки. При этом выделяют вагонетки с активной породой, идущие на радиометрическое обогащение и переработку;

3) количественного экспресс-анализа бедной товарной руды, получаемой из закладки

и при сортировке горной массы на поверхности.

Для месторождений второй группы применение установок РКС-2 имеет наибольшее практическое значение при следующих видах измерений:

1) разделении руды и породы;
2) позабойном экспресс-анализе всех добытых руд на поверхности для разделения по сортам и определения содержания металла в отдельных вагонетках;

3) экспресс-анализе товарной руды или продуктов первичной сортировки горнорудной массы, загруженных в автомашины. По этим экспресс-анализам производится оперативный и позабойный учет качества всех добытых руд. Статистическая обработка данных по отдельным блокам, рудным телам и т. п. дает возможность сопоставить расчетный и фактический выходы металла и определять качество руд. Результаты γ -экспресс-анализов являются также базой для сопоставления различных видов радиометрических измерений в массиве с валовым опробованием при определении пересчетных коэффициентов бесконечного и полубесконечного пластов [2].

Применение установок РКС-1 на месторождениях второй группы ограничивается выполнением всего нескольких видов измерений. К ним относятся:

1) экспресс-анализы укрупненных геологических проб и проб закладки;



Рис. 5. Технологическая схема автоматической кольцевой сортировочной горки.

1 — контрольный пункт РКС-2; 2 — автоматический стопор; 3 — начало уклона; 4 — стрелка с соленоидным приводом; 5 — ствол шахты; 6 — компенсатор высоты; 7 — разгрузка.

2) экспресс-анализы богатых руд на отдельных месторождениях с валово-селективной добычей.

Контрольные пункты с установками РКС-1 создаются в цехах приемки богатых руд, вблизи проборазделочных геологической службы или в пунктах первичной сортировки руд.

Установки РКС-2 монтируются на рудничных дворах или у рудоспусков в горных выработках, на поверхности вблизи шахт-

ных стволов и на складах приемки бедных товарных руд (рис. 4).

При выборе места и помещения для таких контрольных пунктов необходимо обеспечить минимальную величину и постоянство фонового излучения от окружающих пород и руд.

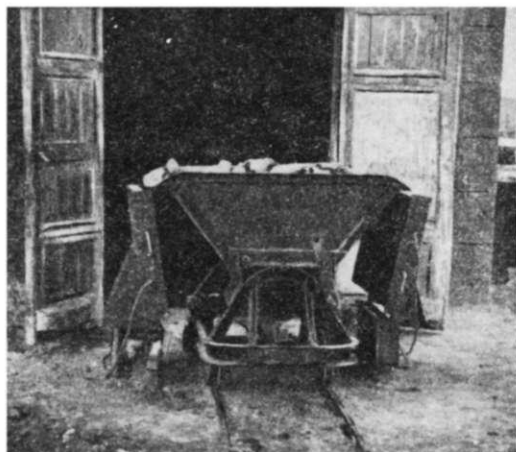


Рис. 4. Контроль руды в вагонетках с помощью установки РКС-2.

Установки РКС-2 на приемных складах и все установки РКС-1 снабжаются весами необходимой грузоподъемности.

При наличии широкого фронта горных работ и высокопроизводительного шахтного

подъема пропускная способность обычных установок РКС-2 (200—300 вагонеток в смену) становится недостаточной. На таких предприятиях чрезвычайно важно механизировать и автоматизировать работы по откатке, сортировке и выгрузке вагонеток с горнорудной массой. Успешное решение этой задачи может быть осуществлено на автоматических сортировочных горках различных типов (рис. 5), с применением нового варианта радиометра РКС-2 конструкции МРТП

в комплекте с релейным устройством (рис. 6). Эта аппаратура обеспечивает автоматическое дистанционное управление системой стопоров и стрелок сортировочной горки. Одновременно автоматически фиксируется число вагонеток, разгруженных в каждый бункер с рудой определенного сорта. Комплект

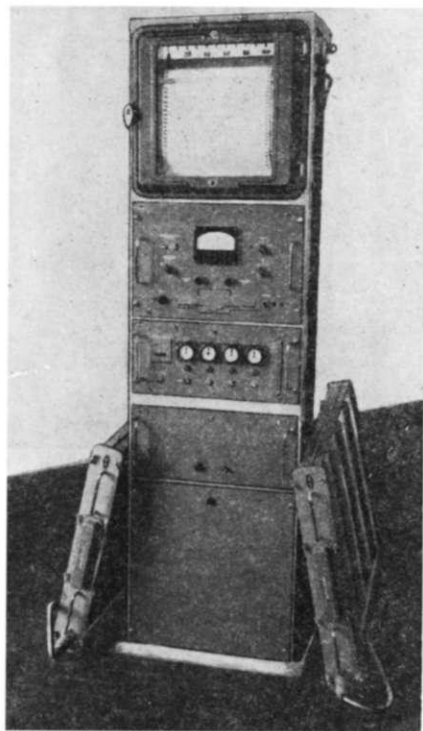


Рис. 6. Общий вид установки РКС-2 «Стрела» для автоматических экспресс-анализов.

такой установки допускает также возможность полуавтоматического и ручного дистанционного управления процессом сортировки и разгрузки вагонеток на откаточных путях горки. Несмотря на относительную сложность, обслуживание этой аппаратуры вполне доступно среднему техническому персоналу.

Основным методом определения содержания металла по экспресс-анализам с помощью установок РКС является сравнение результатов измерения интенсивности γ -излучения отдельных проб и специально изготовленных эталонов, соответствующих сортам (классам) руд.

Промеряя комплект эталонов, получают основную характеристику чувствительности установок РКС, являющуюся важнейшей градуировочной кривой прибора. Основная характеристика дает график зависимости показаний прибора от содержания урана в эталонах; кроме того,

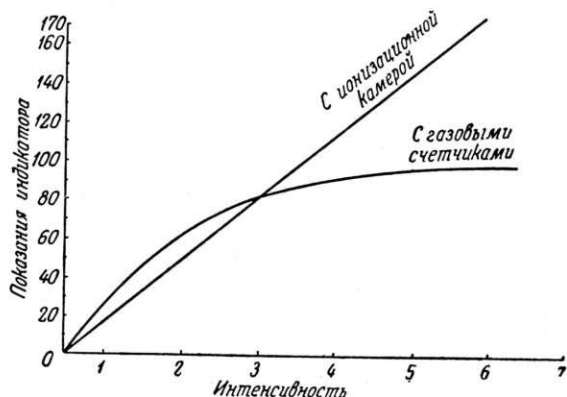


Рис. 7. Основная характеристика чувствительности установок РКС-1.

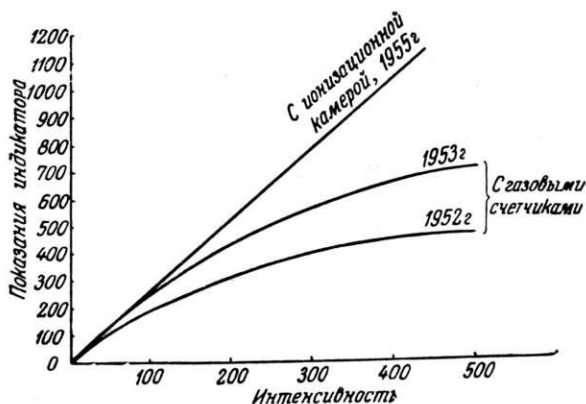


Рис. 8. Основная характеристика чувствительности установок РКС-2.

она используется при массовых промерах проб для определения содержания металла по показаниям прибора, а также при регулировке чувствительности и стабильности различных приборов. Примеры основных характеристик установок РКС-1 и РКС-2 приведены на рис. 7 и 8.

Содержание металла в пробах по результатам измерений установками РКС-1 определяется двумя методами:

а) расчетным, по эталону, интенсивность

излучения которого наименее отличается от излучения пробы. Содержание q_x будет:

$$q_x = q_0 \frac{x}{E},$$

где q_0 —содержание металла в эталоне, x , E —отсчеты от пробы и эталона (без фона).

Для повышения точности и быстроты при массовых измерениях пользуются таблицами, составленными по данным систематических измерений эталонов;

б) графическим, по основной характеристике, построенной в соответствии с данными ежедневного промера эталонов.

Использование результатов экспресс-анализа установками РКС-1 для подсчета запасов и оперативной отчетности по добыче богатых руд возможно при условии систематического сопоставления этих результатов с данными валового опробования всей отгружаемой руды или контрольного опробования представительной части промеренной руды с последующей корректировкой экспресс-анализов. На новых типах руд или в период освоения новой модели установки обязательно выполняется контрольное опробование в объеме 25—30 проб по каждой группе содержаний. Одновременно определяется состояние радиоактивного равновесия [3]. С целью выявления систематических ошибок полученные данные обрабатываются статистически. При наличии такой ошибки необходимо определить причины ее возникновения: нарушение радиоактивного равновесия, непредставительность материала для эталонов, недостатки в их приготовлении, неточность анализов, аппаратные и измерительные погрешности и т. п. Если источник систематической ошибки устранить нельзя, то в результаты экспресс-анализов каждой группы содержаний вводится поправочный коэффициент по соотношению

$$K = \frac{M_x}{M_p},$$

где M_x , M_p —средние арифметические значения содержаний по контрольным и радиометрическим экспресс-анализам каждой группы.

Однако наиболее обоснованные коэффициенты могут быть получены при совместной статистической обработке результатов валового опробования крупных партий товарных руд и радиометрических экспресс-

анализов отдельных проб, вошедших в партию. Средневзвешенное содержание металла в партии в этом случае будет равно

$$q_{p\text{ ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i q_{p_i}}{M},$$

где q_{p_i} , m_i —содержание по экспресс-анализам и вес отдельных проб; M —общий вес партии; n —число отдельных проб в партии.

Коэффициент приведения

$$K_{\text{ср}} = \frac{q_{x\text{ ср}}}{q_{p\text{ ср}}},$$

где $q_{x\text{ ср}}$ —среднее содержание урана в валовой пробе.

Определение содержания металла в отдельных пробах и поправочных коэффициентов при измерениях установками РКС-2 производится принципиально так же, как и для установок РКС-1.

В связи с тем, что линейность показаний серийных приборов при измерении богатой руды в вагонетках еще недостаточна, наиболее надежные результаты дает применение основной характеристики с введением поправочных коэффициентов в зависимости от типа руд и групп содержаний. Если контрольное опробование в объеме 25—30 вагонеток от каждой группы содержаний невозможно, необходимо использовать результаты производственного товарного опробования.

По результатам того или иного вида контрольного опробования могут быть получены два вида коэффициентов приведения:

а) дифференциальные—для каждой группы содержаний металла;

б) средние—для определенного вида экспресс-анализов руд данного типа (товарные руды, пробы закладки, бедные руды, концентраты и т. п.).

Поправочные коэффициенты могут быть использованы как для построения уточненной основной характеристики установки, так и для корректировки окончательных результатов экспресс-анализов.

Если установки РКС-2 используются для контрольных измерений в горных выработках или на поверхности, обеспечивающих только разделение горной массы на руду и породу, то границы различных сортов устанавливаются непосредственно по пределам показаний стрелочного индикатора

прибора. В этом случае руда каждой вагонетки относится к определенному сорту и в соответствии с этим направляется на дальнейшую технологическую обработку; именно такое применение установок дает возможность осуществить на крупных шахтах полную автоматизацию всего процесса классификации руды и породы.

Из рассмотренных основных условий экспресс-анализов на установках РКС следует, что причинами снижения точности результатов являются три группы ошибок: физические, технические и аппаратные.

В группе физических ошибок наибольшее значение имеют ошибки, связанные с нарушением радиоактивного равновесия и эманированием урановых руд; эти ошибки могут иметь систематический характер и значительную величину. Для их устранения необходимо определить коэффициенты равновесия и эманирования по отдельным рудным телам и зонам или провести контрольное опробование и ввести соответствующие поправки; правильное изготовление эталонов в значительной степени обеспечивает исключение этих ошибок. Так как состояние равновесия и эманирования руд определяется особенностями их вещественного состава, то при изменении этих особенностей в процессе отработки месторождения контрольное опробование и определение коэффициентов необходимо повторять.

Весьма значительными являются также ошибки, связанные с неравномерностью содержания металла в рудной массе и характером его распределения по фракциям. Неравномерность содержания приводит к значительным ошибкам в отдельных анализах (в среднем до $\pm 25\%$), но так как эти ошибки имеют случайный характер, то их влияние на средний результат по группе более 25 вагонеток или автомашин незначительно. Для уменьшения индивидуальных ошибок такого рода рационально по возможности снижать толщину измеряемого слоя руды до 10—20 см, особенно при промерах проб с низким содержанием металла.

Избирательное обогащение мелкой или крупной фракции руд также приводит к систематическим ошибкам, особенно если размеры датчика и геометрия установки не обеспечивают контроля всего объема проб.

Если вещественный состав эталонов измеряемых проб различен, то возникающая при

№ п. п.	Вес руды кг	Количество металла в условных единицах по данным		Относительная ошибка экспресс- анализа %
		химических анализов	экспресс- анализов	
1	2596	21,90	22,72	+ 3,7
2	2020	8,53	8,97	+ 5,2
3	1240	8,69	9,11	+ 4,8
4	861	5,89	6,18	+ 4,9
5	1234	3,88	4,14	+ 6,7
6	1142	4,10	4,27	+ 4,2
7	1285	3,11	3,12	+ 0,3
8	1122	2,70	2,84	+ 5,2
9	628	2,08	2,22	+ 6,7
10	347	1,91	2,00	+ 4,7
11	338	1,99	2,09	+ 5,0
12	642	1,80	1,89	+ 5,0
13	294	1,55	1,63	+ 5,2
14	207	1,47	1,54	+ 4,8
15	459	1,44	1,51	+ 4,9
16	279	1,37	1,44	+ 5,1
17	424	3,96	4,13	+ 4,3
18	605	1,55	1,64	+ 5,8
19	183	1,47	1,54	+ 4,8
20	232	1,19	1,25	+ 5,0
21	146	1,03	1,08	+ 4,8
22	66	0,29	0,31	+ 6,9
23	210	0,96	1,00	+ 4,2
24	347	1,92	2,00	+ 4,2
25	627	1,27	1,34	+ 5,5
26	567	2,47	2,59	+ 4,9
27	746	1,55	1,62	+ 4,5
28	242	0,70	0,73	+ 4,3
29	623	1,24	1,29	+ 4,0
30	1202	0,94	0,99	+ 5,3
31	122	0,66	0,69	+ 4,5
32	306	0,73	0,76	+ 4,1
33	237	0,27	0,28	+ 3,7
34	222	0,32	0,34	+ 6,2
35	110	0,54	0,57	+ 5,6
36	26	0,15	0,16	+ 6,7
37	31	0,20	0,21	+ 5,0
38	25	0,04	0,04	0
39	14	0,02	0,02	0
40	47	0,04	0,04	0
41	15	0,01	0,01	0
42	125	0,06	0,06	0
43	25	0,12	0,13	+ 8,3
44	40	0,03	0,03	0
45	38	0,09	0,10	+11,1
46	13	0,01	0,01	0
47	13	0,01	0,01	0
48	793	3,75	3,94	+ 5,1
Σ 23 116		Σ 100	Σ 104,58	
Средняя относительная ошибка +4,28.				

этом систематическая ошибка может быть исключена введением поправочных коэффициентов для каждого типа руд, определенных на основании контрольного опробования.

Источниками технических ошибок могут быть: недостаточное перемешивание руд при добыче и транспортировке, загрязнение вагонеток, самосвалов и т. п. мелким активным материалом, а также несоблюдение необходимого времени замера.

В группе аппаратурных ошибок необходимо учитывать ошибки, связанные со статистическими флуктуациями стрелки измерительного прибора, и ошибки собственно отсчета. Весьма значительно также влияние стабильности режима работы всей установки в целом, зависящее от трех основных элементов: стабильности напряжения питания прибора, типа и качества детекторов γ -излучения в датчике и температурной характеристики прибора. По существующим техническим условиям общий эффект этих ошибок при нормальной работе установок не должен превышать $\pm 5\%$.

Суммарная величина всех указанных оши-

бок дает практическую точность производственных экспресс-анализов установками РКС. Эта величина однозначно определяется сопоставлением радиометрических анализов и валового опробования промеренных партий руд. Пример такого сравнения для установок РКС-1 дан в таблице, показывающей, что средняя относительная ошибка анализов богатых товарных руд (партии усредненных проб при крупности материала—100 мм) не превышает $\pm 5\%$; при анализах мелкого усредненного материала ошибка уменьшается до $\pm 0,5\%$.

Для установок РКС-2 величины суммарных ошибок, как правило, больше, чем для РКС-1. Так, при проведении контрольного валового опробования партий руды, содержащих от 18 до 85 вагонеток, расхождения между средними содержаниями металла составляли от -14% до $+6\%$. Введение средних поправочных коэффициентов позволяет существенно уменьшить средние ошибки по группам рудных проб и также довести их до $\pm 5\%$.

Поступила в редакцию 9 X 1956 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Баранов, М. Л. Гольдфарб, Л. В. Горбушина, Ионизационный гамма-электрометр и его применение. Госгеолиздат, 1946.
2. В. Л. Шашкин, Атомная энергия 2, 48 (1957).
3. В. И. Баранов, Радиометрия. Изд. АН СССР, 1956.