УДК 330.502

Э.М. ПРОНИН, *канд. техн. наук, доцент, angelp@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

E.M. PRONIN, *PhD in the Field of Engineering Sciences, Associate Professor, angelp@spmi.ru*
Saint-Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, ВЫДЕЛЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проблемам устойчивого развития предприятий минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов в настоящее время придается огромное значение, так как от этого во многом зависит социально-экономическое положение страны. В свою очередь, развитие горно-добывающих производств требует освоения новых территорий, которые особо уязвимы к различного рода антропогенным и техногенным воздействиям.

Произошедшие в стране изменения в экономической системе исключили возможность снижения затрат за счет экономии на масштабах производства продукции. Характерными чертами новой экономики стали развитие конкуренции и интенсивная демонополизация. В то же время для горно-добывающей промышленности характерны, в основном, крупные предприятия, являющиеся основой экономики многих городов Российской Федерации. Для выхода из системного кризиса необходимо менять стратегию, изменять не только состояние системы, но и ее управление.

Образование горно-промышленных комплексов (ГПК) позволяет более полно и целесообразно использовать сырьевые ресурсы разрабатываемых месторождений, перерабатывать отходы основного производства в товарную продукцию, повышать эффективность и снижать себестоимость мероприятий по защите окружающей среды от вредного воздействия на нее выбросов отходов обогащения, отработанных растворов, газов, теплой воды.

Практическое использование отходов производства в ГПК носит убыточный характер и имеет смысл только потому, что позволяет частично компенсировать общие затраты, направленные на защиту окружающей среды. Проведена оценка эффективности использования отходов производства.

Ключевые слова: горно-промышленные комплексы, обогащение, использование отходов, защита окружающей среды, эффективность, себестоимость.

THE ESTIMATE OF THE UTILIZATION'S EFFICIENCY OF THE PRODUCTION WASTE PRODUCTS, WHICH APPEARED AS A RESULT OF THE PRESERVATION OF THE ENVIRONMENT MEASURES

Nowadays the problems of the stable growth of mineral and source of raw materials and fuel and energy complex industries are attached great importance to, since it influences the country social-economic condition. In its turn the development of the mining industry requires opening up new lands, which are especially vulnerable to different kinds of anthropogenous and technogenous factors. The changes in the state of economic system have excluded the lowering expenditure by the economy of the production scale. The typical features of a new economy became the progress of free competition and intensive demonopolization. At the same time for the mining industry it is significant that large-scale enterprises should be the foundation of many cities economies of the Rus-

sian Federation. For the way out of a system crisis it is necessary to change the strategy – to alter not only the condition of the system, but its management. The formation of the mining complexes permits to use sources of raw materials of the exploited deposits in the proper way, to process waste products of the basic production into the commodity output, to raise the efficiency and cut costs of the preservation of the environment measures from concentration waste products, exhaust solutions, gases, warm water harmful influence on the environment.

The practical use of the production waste products of the mining complexes is unprofitable and makes sense only because of its opportunity partially compensating the aggregate investments for the preservation of the environment. The estimate of the utilizations efficiency of the production waste products has made.

Key words: mining complexes, concentration, using of the waste products, preservation of the environment, effectiveness, cost prime.

В зависимости от характера предмета труда промышленность делится на две группы: добывающую и обрабатывающую. Ведущее место среди добывающих отраслей занимает горно-добывающая промышленность, предприятия которой осуществляют добычу полезных ископаемых, в том числе руды и нерудных материалов различного хозяйственного назначения.

Комплексный характер освоения горно-промышленного региона вызывает необходимость разрабатывать в нем разные месторождения. Это находит свое отражение в тесной связи развития и размещения различных производств, составляющих горно-промышленный комплекс (ГПК), непосредственно осуществляющий добычу и переработку полезных ископаемых до нужной промышленности или конечной продукции.

Организация ГПК позволяет более полно и целесообразно использовать сырьевые ресурсы разрабатываемых месторождений, перерабатывать отходы основного производства в товарную продукцию, повышать эффективность и снижать себестоимость мероприятий по защите окружающей среды от вредного воздействия на нее выбросов, отходов обогащения, отработанных растворов, газов, теплой воды. Организация ГПК позволяет более масштабно внедрять безотходную технологию производства с практически полным использованием сырья и энергоресурсов в той степени, которая доступна на современном уровне развития техники.

В зависимости от места образования в цепи технологического процесса, их количества и качественного состава отходы целевого производства в условиях функционирования ГПК, могут быть классифицированы следующим образом:

1. Горные породы, полученные при вскрытии месторождений, от проходки горных выработок и т.д. Их отличает непостоянный вещественный состав и относительно низкая себестоимость получения. Их количество зависит от условий залегания месторождения и принятого способа отработки.

2. Отходы, полученные при обогащении минерального сырья.

2.1. Коллективные отходы обогащения, обычно получаемые в больших количествах и представленные смесью различных по своим технологическим свойствам минералов и пород. Они нуждаются в дополнительном обогащении для разделения их на продукты с более четко выраженными технологическими свойствами, в классификации по размеру частиц и другой обработке для получения из них подчас очень ценных, чаще всего нерудных товарных продуктов (например, каолины, кварцевые пески, формовочные земли и пр.).

2.2. Селективные отходы обогащения, представленные относительно небольшими по выходу и чистыми по минералогическому составу фракциями, которые сами по себе можно рассматривать как готовые концентраты минеральных фракций, полученные как попутные продукты обогащения основного целевого компонента месторождения. Ценность таких продуктов может быть иногда очень значительной и превышать по стоимости цену основного концентрата, и только малый выход таких продук-

тов заставляет считать их отходами, попутными, а не основными продуктами производства.

3. Попутные продукты и отходы, получаемые при последующей, в том числе металлургической переработке концентратов обогащения. Они представлены продуктами с определенным химическим составом, физическими свойствами, получаемыми в относительно небольших количествах (металлургические шлаки, засоренные трудноотделимыми примесями и потому имеющие пониженную ценность, попутные металлы и пр.). Практическая ценность этих продуктов может быть различной.

4. Улавливаемые из отходящих газов или отработанных растворов различные продукты производства: продукты обогащения, металлургической и химической переработки концентратов обогащения, конечные целевые продукты и т.д., зольные отходы, глины и пр. Особенностью этих продуктов является их малая концентрация в больших количествах основного носителя (газа, воды, раствора и др.), что удорожает и усложняет их выделение и использование. Однако получение и применение в промышленности таких продуктов само по себе является рентабельным.

5. Продукты, выделяемые из отходящих газов и промышленных стоков предприятий при проведении мероприятий по защите окружающей среды от вредных выбросов. Ввиду очень малых концентраций улавливаемых примесей в газах и в жидкостях их получение может считаться целесообразным только с экологической точки зрения. Как средство получения самих таких продуктов оно экономически нецелесообразно и только частично компенсирует большие, но необходимые затраты на защиту окружающей природы от отрицательного влияния на нее промышленного производства.

6. Отходы, получаемые на заключительных стадиях производственного цикла (металлические отходы, стружка, металлолом, выделенные из целевого продукта примеси и др.).

Единство и непрерывность технологического процесса в ГПК определяет строгое соответствие между объемами производства основной, целевой продукции комплекса и объемами всех перечисленных отходов и побочных продуктов того же производства, связанное с законом материального баланса технологического процесса. При полном практическом применении всех попутных продуктов и отходов технологического процесса каждому заданному количеству произведенной основной продукции отвечает соответствующее количество каждого другого продукта побочного производства. Обратно: определенному количеству отходов соответствует определенное количество основной продукции. В этом смысле все продукты производства в ГПК равнозначны, но главной, целевой продукцией комплекса является продукт, объем производства, которого определяет объемы получения всех остальных продуктов и отходов производства. В качестве такого продукта всегда должен выбираться тот, который и по возможному объему его выпуска, и по своим качественным характеристикам представляет по сравнению со всеми остальными наибольшую ценность для промышленности. Все остальные продукты в этом случае являются побочной продукцией комплекса.

В побочную продукцию включаются продукты, которые даже при большом объеме их выпуска не представляют особой ценности из-за низких товарных характеристик или недефицитности, а также высококачественные и остродефицитные продукты, производимые в малых количествах.

Степень завершенности производства отдельных видов побочной продукции на ГПК (готовые изделия или товары, полуфабрикат, сырье, предназначенное для доработки или применения в производствах, не входящих в состав самого ГПК) зависит от сравнительной ценности и качества соответствующих продуктов, а также от того, в каком количестве они образуются в процессе производства основной продукции.

Горные породы попутной добычи (породы вскрыши, от проходки горных выработ-

ток и т.д.) добываются в больших количествах, но их качество невысоко и их применение (главным образом, в качестве подсыпки в дорожном строительстве, для подготовки строительных площадок, закладки выработанного пространства в подземных выработках и пр.) целесообразно только при транспортировке на короткие расстояния, обычно в пределах территории размещения самого ГПК.

Продукты – отходы обогащения целевого компонента полезного ископаемого – при коллективном характере этого процесса также имеют относительно низкие качественные характеристики и производятся в больших количествах, обычно в несколько десятков раз превышающих количество концентрата для основного производства. Везти их на большие расстояния для последующего использования или дополнительной обработки нерационально. Их выгодно обрабатывать на месте для получения строительных материалов и изделий вблизи от основной обогатительной фабрики, т.е. в рамках самого комплекса. В благоприятных случаях, после дополнительного разделения и обогащения, а иногда минуя эти процессы, их можно направлять потребителям в качестве готовой товарной продукции (глины, каолин, стекольные пески, формовочные материалы и пр.).

Отходы селективного обогащения, производимые, обычно в еще более малом количестве и отличающиеся определенностью своих технологических характеристик, целесообразно выпускать в виде готовой продукции с отправкой непосредственным потребителям в тех случаях, когда технология их использования в готовой продукции резко отличается от технологии самого ГПК или требует применения не используемых в нем других материалов. Вопрос о целесообразности передела таких продуктов на месте в готовые изделия должен решаться для каждого конкретного случая. Например, не потребует особых затрат и не вызовет значительных организационных трудностей создание в рамках ГПК производства высококачественной шлифовальной шкурки из гранатового концентрата, огнестойких изделий из концентрата мусковита и пр.

По тому же принципу может строиться использование отходов металлургического производства и других процессов переработки концентратов обогащения. Вопрос об их производстве в виде сырьевых материалов или готовых изделий должен решаться в зависимости от сложности соответствующего производства, количества продуктов и целесообразности перевозки продукта в виде сырья, а не готового изделия.

Необходимость выделения отходов производства из сточных вод и отходящих газов сомнений не вызывает. Однако вопрос о дальнейшем их применении зависит от их конкретных свойств и тех количеств, в которых они выделяются. Если дело идет о потерях в этих отходах сырья основного производства, то такие отходы в нем и используются. Мелкие глинистые частицы и частицы золы могут служить в производстве строительных материалов.

В большинстве случаев, исходя из вещественного состава большинства месторождений полезных ископаемых, в состав ГПК горного профиля должны включаться производства строительных изделий и материалов, частично удовлетворяющих потребности в них и самого ГПК.

Планирование производства побочной продукции ГПК должно учитывать заданное количество отходов и побочных продуктов, получаемых в рамках основного производства, которое ограничивает верхний предел объема их выпуска.

Проведение мероприятий по охране окружающей среды от вредного воздействия на нее промышленных стоков и выбросов, приводит к получению специальных продуктов-отходов, особенности получения которых, а иногда их состав отличают их от обычных отходов производства. Принципиально в данном случае то, что независимо от ценности тех продуктов, которые удается получить при очистке жидкостей и газов от вредных примесей, затраты на их выделение неизменно превышают их потребительскую стоимость. В силу этого практическое использование этих отходов убыточно и имеет

смысл только потому, что позволяет частично компенсировать общие затраты, направленные на защиту окружающей среды. В некоторых случаях использование таких отходов вообще нерационально и целесообразно ограничиться захоронением полученных продуктов даже с определенными дополнительными затратами.

Причина высокой себестоимости мероприятий по защите окружающей среды заключается в том, что даже при самых совершенных конструкциях аппаратуры для улавливания примесей из жидкостей и газов КПД η, т.е. доля частиц примесей, улавливаемых аппаратом при однократном прохождении через него жидкости или газа, не может быть равным единице, а всегда меньше нее ($\eta < 1$). Поэтому при однократном прохождении загрязненной примесями среды через аппарат в ней остается доля первоначально находившихся в ней частиц, равная $(1 - \eta)$. Повторное пропускание среды через тот же аппарат уменьшает эту долю еще в $(1 - \eta)$ раза. После m-кратной очистки среды в ней все еще остается равная $(1 - \eta)^m$ доля примесей, находившихся в ней перед началом очистки. Пусть V_0 – объем жидкой или газообразной фазы, нуждающейся в очистке; C_0 – концентрация в ней вредной примеси. Тогда $M' = C_0 V_0$ – количество этой примеси в объеме V_0. В результате m-кратной перечистки этого объема в нем остается количество вредной примеси

$$M'_m = M'(1-\eta)^m = V_0 C_0 (1-\eta)^m, \qquad (1)$$

а количество ее, выделенное из среды в процессе очистки,

$$M = V_0 C_0 \left[1 - (1-\eta)^m\right]. \qquad (2)$$

Деля обе части уравнения (1) на V_0 и учитывая, что концентрация вредных примесей в очищенной среде (ее санитарная норма) $C = M / V_0$, получим

$$C = C_0 (1-\eta)^m,$$

откуда число необходимых перечисток среды до требуемой степени ее чистоты

$$m = \frac{\lg\left(\frac{C_0}{C}\right)}{\lg\frac{1}{1-\eta}},$$

где m должен быть округлен до ближайшего целого значения.

Если затраты на обработку 1 м^3 среды при выбранной технологии и аппаратуре для очистки обозначим з, а для того, чтобы обеспечить требуемую степень ее очистки необходимо ее объем V_0 m раз пропустить через фильтры, то общие затраты на обеззараживание среды

$$З = з V_0 m = з V_0 \frac{\lg\left(\frac{C_0}{C}\right)}{\lg\frac{1}{1-\eta}}.$$

При стоимости единицы уловленного и выделенного из остальной среды продукта ц в случае, если он представляет собой готовый товарный продукт, не нуждающийся в дополнительной переработке, общая стоимость продукта, полученного из объема среды V_0, согласно формуле (2)

$$Ц_с = ц V_0 C_0 \left[1 - (1-\eta)^m\right].$$

Затраты на очистку среды от примесей полностью окупаются их стоимостью ($ц > з$) при условии

$$ц V_0 C_0 \left[1 - (1-\eta)^m\right] > з V_0 m.$$

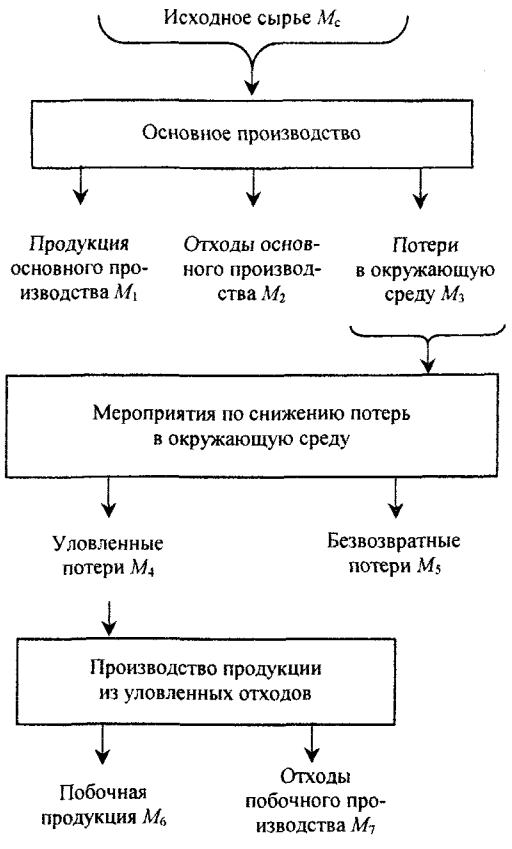
Если эффективность очистки очень велика и $1 - \eta \cong 0$, то приближенно

$$ц C_0 > з m,$$

откуда

$$ц > з m / C_0. \qquad (3)$$

Следовательно, для того чтобы расходы на очистку среды окупались стоимостью выделенной из нее примеси, стоимость последней должна быть тем больше, чем меньше начальная концентрация примеси. При высоких значениях C_0 очистка загрязненных газов или жидкостей обычно целесообразна сама по себе как средство получения побоч-



Принципиальная схема использования отходов производства, получаемых при реализации мероприятий по защите окружающей среды

ного сырья. При малых значениях C_0 условие (3) не выполняется и конечной целью очистки может быть только обеззараживание производственных выбросов в водную среду или в атмосферу, что особенно характерно для случаев, когда приходится обеспечивать большое число перечисток.

Принципиальная схема образования загрязняющих внешнюю среду отходов (см. рисунок) представлена тремя технологическими операциями:

• Основное производство, в результате которого образуется основная продукция, отходы этого производства и продукт, представляющий собой выброс в окружающую среду.

• Мероприятия по защите окружающей среды, в результате которых последний продукт перерабатывается с получением из него уловленного и возвращаемого в производство сырья и безвозвратных, недоизвлеченных потерь сырья, теряющихся в атмосфере или в водном бассейне.

• Операции, в которых возвращенные в процесс потери сырья доводятся до состояния конечной побочной продукции основного производства. При этом помимо конечного товарного продукта образуются также свои отходы.

Материальный баланс второй операции схемы, рассчитываемый по всему продукту, имеет вид

$$M_3 = M_4 + M_5, \qquad (4)$$

где M – количество продукта в натуральных единицах измерения (индекс соответствует номеру продукта на рисунке).

Материальный баланс той же операции, рассчитанный по содержавшейся в указанных продуктах вредной примеси,

$$M_3\beta_3 = M_4\beta_4 + M_5\beta_5, \qquad (5)$$

где β – содержание в соответствующих продуктах указанных примесей.

Решая систему уравнений (4) и (5), получим

$$M_4 = M_3\frac{\beta_3 - \beta_5}{\beta_4 - \beta_5}, \qquad (6)$$

где β_3 – содержание вредных примесей в выбросе при отсутствии каких-либо мероприятий по защите окружающей среды; β_5 – установленная предельная санитарная норма их содержания в окружающей среде; β_4 – содержание примесей в сырье для побочного производства.

Так как непосредственное определение количества выбросов M_3 обычно затруднено даже на производствах с хорошо налаженной системой контроля, выразим M_3 через пропорциональное ему количество основной продукции производства M_1:

$$M_3 = bM_1, \qquad (7)$$

где b – технически обоснованное количество внешних выбросов, приходящееся на единицу основной товарной продукции.

Решая совместно уравнения (6) и (7), найдем

$$M_4 = M_1 b \frac{\beta_3 - \beta_5}{\beta_4 - \beta_5}. \quad (8)$$

Если по условиям технологии побочного производства товарной продукции из уловленных при проведении, защитных мероприятий отходов основного производства из M_4 образуется продукт M_6 в пропорции $a = M_6 / M_4$, то

$$M_4 = M_6 / a. \quad (9)$$

Из уравнений (8) и (9) следует, что

$$\frac{M_1 b(\beta_3 - \beta_5)}{(\beta_4 - \beta_5)} = \frac{M_6}{a},$$

откуда

$$\frac{M_6}{M_1} = \frac{\beta_4 - \beta_5}{ab(\beta_3 - \beta_5)}.$$

Показатель предельного использования отходов сырья для производства побочной продукции

$$p_0 = \frac{ц_6 M_6}{ц_1 M_1} = \frac{ц_6}{ц_1} \frac{\beta_4 - \beta_5}{ab(\beta_3 - \beta_5)}.$$

В качестве численного показателя достаточно конкретно и полно характеризующего роль, которую играет производство данного вида побочной продукции в общем объеме производства ГПК может быть принято отношение объема выпуска данной побочной продукции $M_р$ к объему производства основной продукции комплекса M_0: $p = M_р / M_0$. Оптимальная величина показателя $p = p_0$ естественно зависит от конкретного целевого назначения продукции основного и вспомогательного производств и действующих цен на эту продукцию, поэтому фактически достигнутое или планируемое значение p может получить разную качественную оценку. В связи с этим, помимо определения фактического значения показателя p, для правильной оценки состояния производства побочной продукции на ГПК необходимо еще учитывать степень отклонения достигнутого значения p от его оптимальной для данного профиля производства величины p_0, что может быть учтено отношением $P = p / p_0$.

В рассматриваемом случае величина p, как правило, очень мала, но, учитывая основную задачу улавливания отходов – снижение их вредного влияния на окружающую среду, низкое значение p_0 не может служить само по себе основанием для отказа от проведения таких мероприятий.

При $p < p_0$ не все образующиеся отходы основного производства преобразуются в товарную продукцию; при $p > p_0$ на производство побочной продукции, по крайней мере частично, расходуется сырье, предназначенное для производства основной продукции. Сопоставляя фактическое значение коэффициента p с его оптимальным значением p_0 можно осуществлять оценку эффективности использования отходов основного производства.