© Б.И. Кондырев, А.В. Белов,
М.В. Ларионов, 2005

УДК 622.278.004.82

*Б.И. Кондырев, А.В. Белов, М.В. Ларионов*

# *СОЗДАНИЕ ЭНЕРГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЗАМЕНИТЕЛЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА*

**Семинар № 15**

В настоящий момент остро стоит вопрос утилизации твердых бытовых и производственных отходов (ТБО и ТПО), складируемых на открытых полигонах. Подобные полигоны созданы практически при всех населенных пунктах Приморского края. Один из крупнейших — полигон по утилизации отходов г. Владивостока вблизи бухты Горностай. Захоронение находится в непосредственной близости от города, на территории, приближенной к рекреационной зоне и является значительным источником загрязнения окружающей среды — горение отходов вызывает повышенную задымленность, выброс в атмосферу вредных газов, происходит загрязнение почвы, грунтовых и морских вод вредными веществами в объемах, превышающих предельно-допустимые концентрации, что нарушает экологический баланс территории.

При этом большую часть отходов, находящихся на территории полигона, составляют углеродсодержащие материалы, пригодные к эффективной утилизации с получением энергетического топлива и полезных компонентов, посредством их газификации.

В настоящее время широко распространен способ утилизации отходов, включающий обогащение массы отходов отделением твердой неуглеродсодержащей фракции, измельчение углеродсодержащей фракции и последующая ее газификация в газогенераторе. Несмотря на эффективность способа, возникает необходимость последующей утилизации или захоронения отходов процесса газификации, происходит отвлечение больших площадей под сооружение поверхностного комплекса, требуются значительные капитальные затраты.

С целью исключения вышеперечисленных негативных факторов предлагается применить способ подземной газификации твердых бытовых и производственных отходов полигона б. Горностай на территории закрытой шахты им. Артема, с попутной газификацией угля, оставшегося в неосвоенных пластах, запасы которого приравниваются к 600 млн т. Технология подземной газификации угля (ПГУ) отработана, используется за рубежом в промышленных масштабах, экономически эффективна и экологически безвредна. Наличие в технологии ПГУ значительной подземной площади горящего угля, большого объема высокотемпературных газов, а так же большого теплового потенциала подземного газогенератора позволяет осуществлять эффективную утилизацию отходов в процессе подземной газификации. Конечным продуктом энерго-технологического комплекса на базе станции подземной газификации является газ ПГУ и заменитель природного газа (ЗПГ), который может быть использован как энергоноситель, и как сырье для химической промышленности.

Предполагается формирование подземного газогенератора с поверхности посредством скважинной гидродобычи (СГД) без строительства традиционных подземных горных выработок с попутной добычей порядка 40 % угольных запасов. Это обеспечивает полноту выемки полезного ископаемого, сформированный посредством СГД газогенератор обеспечивает хороший контакт окислителя с углем и подаваемыми отходами, значительно увеличи-

вает площадь реакционной поверхности угля, ТБО и ТПО, способствует осушению и термоподготовке массива. Скважины оборудуются теплообменными аппаратами, что позволяет получать дополнительную товарную продукцию в виде пара и электроэнергии.

Попутная газификация ТБО и ТПО в угольных пластах может быть рассмотрена в следующих аспектах:

- отходы, как источник внесения в газогенератор активных газифицирующих агентов;
- отходы, как дополнительный материал для подземной газификации на угольных месторождениях;
- огневое обезвреживание особо вредных отходов;
- отходы, как способ закладки выработанного пространства подземного газогенератора зольным остатком с целью предотвращения деформаций земной поверхности;
- отходы, как фактор, значительно увеличивающий реакционную поверхность соприкосновения дутья с углем и закладочным материалом.

ТБО и ТПО представляют собой смесь органических и минеральных веществ в различных соотношениях, разнообразных форм и размеров. Естественная влажность отходов достигает 50 % и более, влага насыщающая ТБО содержит вредные, дурнопахнущие и ядовитые вещества. Теплотворная способность неподготовленных сырых отходов не превы-шает 5,2—6,28 МДж/кг.

Для использования ТБО в качестве топлива необходима их подготовка, включающая:

- фракционную сортировку;
- выделение негабаритных включений и их измельчение;
- сушку (пиролиз).

После сортировки ряд твердых промышленных и городских отходов (пластмассы, древесина, бумага, резина, кожа, шламы и т. д.) имеют достаточно высокую теплоту сгорания и могут участвовать в процессе газификации угля (табл. 1). Твердые отходы с неуглеродсодержащей фракцией (металл, стекло, керамика и т. д.) возвращаются в хозяйственный оборот

Операцию, предварительной подготовки, обогащения и измельчения предполагается выполнять на территории полигона б. Горностай с помощью линии сортировки отходов. Мощность линии составляет 62 тыс. т. в год.

Таблица 1

***Теплотворная способность некоторых ТБО***

| Отходы | Удельная теплота сгорания, МДж/кг |
|---|---|
| Древесина, ткани, картон | 14—19 |
| Поливинилхлорид | 41 |
| Полиэтилен | 28 |
| Резина | 27—46 |
| Кожа | 28—46 |

Подготовленные измельченные отходы транспортируются на территорию энерго-технологического комплекса (промплощадка шахты им. Артема), включающего установку для пиролиза поступающих с полигона отходов, поверхностный комплекс станции подземной газификации, комплекс очистки газа и производства ЗПГ.

Твердые отходы подвергаются пиролизу за счет тепла газа, отводимого из подземного газогенератора. В процессе пиролиза последние теряют влагу и летучие фракции. Подготов-

Таблица 2

***Технико-экономические показатели энерго-технологического комплекса по утилизации ТБО и ТПО в процессе подземной газификации***

| Наименование показателей | Ед. измерения | Показатели |
|---|---|---|
| Объем утилизируемых отходов | тыс. т /год | 62 |
| Объем выработанного газа в год | млн $м^3$. | 180 |
| Теплотворная способность газа | МДж/$м^3$ | 11,7 |
| Себестоимость при выработке газа | руб /1000 $м^3$ | 460 |
| Производительность труда | 1000 $м^3$/р. мес | 2571 |
| Численность трудящихся | чел. | 70 |
| Объем вырабатываемого пара | т/сут | 16,4 |
| Получаемая электроэнергия | кВт/ч | 800 |
| Рентабельность производства | % | 22 |

ленная масса подается в подземный газогенератор с огневым забоем, расположенным в пласте угля, на глубине 300— 400 м, совместно с дутьем (окислителем) через газоподающие скважины. Таким образом, осуществляется газификация загруженной порции подготовленных отходов, при этом в процессе газификации участвует и приконтурный массив угля. После выгазовывания процесс повторяется до полного заполнения объема полости. Интенсивность процесса газификации регулируется объемом и составом дутья, подаваемого в газогенератор.

Проведенные исследования показали, что предлагаемая технология утилизации отходов может эффективно применяться на любых угольных месторождениях Приморского края, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов и полигонов ТБО и ТПО. При этом достигается значительный экологический эффект за счет постепенного устранения действующего наземного полигона ТБО и ТПО, эффективной утилизации отходов с получением экологически чистого топлива (ЗПГ) и электроэнергии без вредных выбросов в окружающую среду, безопасного подземного захоронения неиспользуемых продуктов утилизации отходов (шлак, несгораемая фракция).

Создание энерго-технологического комплекса на базе полигона б. Горностай и закрытой шахты им. Артема позволит обеспечить занятость 70 чел., что позволит создать дополнительные рабочие места для населения пос. Рыбачий, пос. Шкотово, г. Артема.

Основные технико-экономические показатели производства приведены в табл. 2.


## *Коротко об авторах*

*Кондырев Б.И., Белов А.В., Ларионов М.В.* – Дальневосточный государственный технический университет.



**© Г.С. Крылова, Е.А. Кошель, Г.В. Седельникова, П.П. Ананьев, Ю.А. Мартынов, 2005**



УДК 541.1



***Г.С. Крылова, Е.А. Кошель, Г.В. Седельникова, П.П. Ананьев, Ю.А. Мартынов***


# *ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЦИАНИРОВАНИЯ УПОРНОГО ЗОЛОТОПИРИТНОГО КОНЦЕНТРАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ*

**Семинар № 15**

Проблема извлечения благородных металлов из продуктов обогащения упорных руд, характеризующихся, как правило, сложным вещественным составом, весьма актуальна. Над ее решением работают специалисты многих стран мира — США, Канады, Австралии, ЮАР, Китая, России, Узбекистана, Киргизии и др.

Существующие способы переработки труднообогатимого сырья достаточно сложные и включают в себя комплекс операций (гравитацию, флотацию, цианирование). Для переработки концентратов обычно используются пирометаллургические или гидрохимические (автоклавные) способы, весьма энергоемкие и имеющие серьезные экологические ограничения. В то же время, исследования специалистов различных организаций (отраслевых и академических) показывают, что проблема переработки упорного золотосодержащего сырья может быть решена.

Основанием для постановки работы явились обнаруженные в середине 70-х годов явления активизации физико-химических про-цессов на поверхности и в объеме минералов и руд различных месторождений под воздействием ионизирующего облучения пуч-ком ускоренных электронов. Исследования показали, что обработка материала пучком ускоренных электронов (ПУЭ) способна изменять его структурные и технологические свойства. В 80 гг. появились сообщения о положительных результатах исследований по использованию СВЧ-полей с целью направленного изменения структурных и технологических свойств минерального сырья.

Анализ опубликованных результатов исследований позволил предположить, что предварительная обработка упорных золотосодержащих продуктов мощными электромагнитными импульсами (МЭИ) также может оказать положительное влияние на их гранулометрический состав и селективное раскрытие благородных металлов в процессе измельчения, а, следовательно, и на повышение технологических показателей по извлечению этих металлов при последующем обогащении.

В данной работе изложены результаты исследований по изучению возможности изменения технологических свойств и повышения извлечения золота в процессе гидрометаллургической переработки частично упорного золотопиритного флотоконцентрата после его предварительной магнитно-импуль-сной обработки.

Объектом поисковых исследований являлась проба золотосодержащего флотационного концентрата крупностью 90 % — 140 мкм, содержащего 45,5 г/т золота. По данным гранулометрического анализа исходного (90 % — 0,140 мм) и тонкоизмельченного (76 % — 0,020 мм) концентрата благородные металлы распределяются по классам крупности достаточно равномерно с обогащением золотом (в 1,4 раза) и серебром (в 1.6 раз) самой тонкой фракции (–0,020 мм).

По минеральному составу концентрат представлен, в основном, пиритом (74,98 %). Кроме того, присутствует кварц - 8,25 % и карбонаты – 5,24 %. Фазовый анализ показал, что доля цианируемого золота в концентрате исходной крупности (90 % –0,14 мм) составляет 59,18 %, в измельченном концентрате (76 % — 0,020 мм) – 79,7 %. С сульфидами и карбона-

Таблица 1

***Результаты цианирования флотоконцентрата (83 %—0,020 мм) после МИО***

| Условия опыта, сорбент | | Содержание золота в хвостах цианирования, г/т | Извлечение золота, % |
|---|---|---|---|
| МИО—0 с | смола | 8,40 | 81,54 |
| $\tau_{циан}$ — 48 ч | уголь | 8,80 | 80,66 |
| МИО—30 с | смола | 7,80 | 82,86 |
| $\tau_{циан}$ — 48 ч | уголь | 8,00 | 82,42 |
| МИО—60 с | смола | 7,60 | 83,30 |
| $\tau_{циан}$ — 48 ч | уголь | 7,80 | 82,86 |
| МИО—120 с | смола | 6,80 | 85,05 |
| $\tau_{циан}$ — 48 ч | уголь | 7,60 | 83,30 |
| МИО — 0 с | смола | 9,60 | 78,90 |
| $\tau_{циан}$ — 12 ч | уголь | 9,80 | 78,46 |
| МИО—60 с | смола | 8,00 | 82,42 |
| $\tau_{циан}$ — 12 ч | уголь | 8,00 | 82,42 |
| МИ0 — 0 с | смола | 8,10 | 82,20 |
| $\tau_{циан}$ — 72 ч | уголь | 8,20 | 81,98 |
| МИО—180 с | смола | 7,20 | 84,18 |
| $\tau_{циан}$ — 72 ч | уголь | 6,80 | 85,05 |

Таблица 2

***Результаты цианирования флотоконцентрата (97 %—0,020 мм) после МИО***

| Условия опыта, сорбент | | Содержание золота в хвостах цианирования, г/т | Извлечение золота, % |
|---|---|---|---|
| МИО-0 с | смола | 7,00 | 84,62 |
| $\tau_{циан}$ – 48 ч | уголь | 7,20 | 84,18 |
| МИО-30 с | смола | 7,80 | 82,86 |
| $\tau_{циан}$ – 48 ч | уголь | 8,00 | 82,42 |
| МИО-60 с | смола | 7,60 | 83,30 |
| $\tau_{циан}$ – 48 ч | уголь | 7,80 | 82,86 |
| МИО-120 с | смола | 6,00 | 86,81 |
| $\tau_{циан}$ – 48 ч | уголь | 7,60 | 83,30 |
| МИО – 0 с | смола | 7,40 | 83,74 |
| $\tau_{циан}$ – 12 ч | уголь | 7,40 | 83,74 |
| МИО-60 с | смола | 8,00 | 82,42 |
| $\tau_{циан}$ – 12 ч | уголь | 8,00 | 82,42 |
| МИ0 – 0 с | смола | 7,00 | 84,62 |
| $\tau_{циан}$ – 72 ч | уголь | 7,00 | 84,62 |
| МИО-180 с | смола | 6,40 | 85,93 |
| $\tau_{циан}$ – 72 ч | уголь | 7,40 | 83,74 |

тами связано 21,49 % золота и 19,33 золота – тонко вкрапленное в породообразующие минералы.

Это свидетельствует о том, что упорность концентрата обусловлена не только тонкой вкрапленностью золота в пирит, но также значительной долей золота, тонко вкрапленного в кварц и др. породообразующие минералы.

Доизмельчение концентрата приводит к дополнительному вскрытию золота. Наличие значительной части упорного золота, не вскрываемого при измельчении до 80 % — 0,020 мм, является предпосылкой для применения методов предварительной энергетической обработки, приводящей к деструкции минералов, появлению микротрещин и каналов, обеспечивающих доступ цианида к золоту и, тем самым, повышающим его извлечение при цианировании.

Экспериментальные исследования по оцен-ке возможности использования предварительной энергетической обработки (ПЭО) для повышения показателей извлечения золота при цианировании пиритного флотоконцентрата проводили с использованием магнитно-импульсной обработки (МИО). Количественной оценкой эффективности вли-яния МИО служила разница показателей извлечения золота на сорбент из продукта, подвергнутого обработке, и исходного, необработанного продукта. Предварительную обработку флотоконцентрата проводили на энергетической установке мощностью 200 Вт. Напряженность электрического поля составляла $2 \cdot 10^4$ В/м, магнитного поля $0{,}8 \cdot 10^4$ а/м. Результаты выполненных экспериментов приведены в табл. 1 и 2.

Результаты экспериментов, приведенных в табл. 1 показывают, что предварительная МИО флотоконцентрата крупностью 83 % — 0,020 мм приводит к улучшению его технологических свойств: извлечение золота из концентрата, предварительно обработанного МИО возрастает на 3,7 % за 12 ч цианирования, на 0,9— 4,7 % при 48-и часовом цианировании и на 2,2—2,6 % при 72-х часовом цианировании (в зависимости от условий обработки и сорбента) по сравнению с извлечением золота из необработанного концентрата.

На более тонком концентрате (97 % — 0,020 мм) (см. табл. 2) эффект МИО проявляется несколько слабее. Отмечено повышение извлечения золота на 2,2 % при цианировании концентрата со смолой после МИО в течение 48 ч. Следует отметить еще один факт, выявленный в ходе экспериментов — сорбция золота на смолу проходит эффективнее сорбции золота на активированный уголь.

Таким образом, полученные в ходе поисковых исследований результаты показывают, что использование предварительной магнитно-импульсной обработки приводит к изменению технологических свойств частично упорного золотопиритного флотоконцентрата и может использоваться для интенсификации цианидного извлечения из него золота.

## *Коротко об авторах*

*Крылова Г.С., Кошель Е.А., Седельникова Г.В. – ФГУП «ЦНИГРИ».*
*Ананьев П.П., Мартынов Ю.А.* – НП «Центр высоких технологий».