

Технические предложения к организации безотходного производства на основе инновационной технологии утилизации золошлаковых отходов

А.В. Корнеев, ст. преподаватель ИИСЭ ДВТГУ

Н.В. Куликов, главный инженер ООО НПП «Энергия –КМ»

Проблема утилизации золошлаковых отходов (ЗШО), в которые переходит от 10 до 15 % перерабатываемых углей, образуемых при эксплуатации тепловых электростанций, муниципальных и производственных котельных, работающих на твердом топливе, вызывает серьезную озабоченность органов исполнительной власти субъектов РФ и муниципальных образований (МО).

Фактически в настоящее время эта проблема на территории Приморского края не решается, степень утилизации этого вида отходов крайне низка. В основном технологический процесс утилизации ЗШО ограничивается производством стеновых шлакоблоков и тротуарной плитки. В тоже время на территории Приморского края ежегодно образуется не менее 2811 тыс. тонн ЗШО и всего накоплено на 01.01.2004 г. не менее 84,2 млн. тонн.

Общеизвестно, что ЗШО являются источником повышенной экологической опасности, и оказывают негативное воздействия на население (здоровье человека) и окружающую среду, а также являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В тоже время ЗШО обладают определенными физико-химическими свойствами, в том числе и вновь приобретенными, которые, при определенных технологических возможностях, можно реально и экономически целесообразно использовать в народном хозяйстве. По сути ЗШО являются вторичными ресурсами сырьевого значения, т.е. их можно рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых (ТМПИ).

Химический состав ЗШО крайне неоднороден и колеблется в значительных пределах, т.к. для сжигания используются угли из разных месторождений, имеющих различный химический состав. По данным ряда исследователей содержание химических элементов в золошлаковых отходах может варьировать в следующих пределах:

SiO_2 - 10-58 %, Al_2O_3 - 10-32 %, Fe_2O_3 - 2-20 %, CaO - 2-60 %, MgO - 0-10 %.

Содержание рудных химических элементов (золото, серебро, платина, уран, торий и редкоземельные элементы РЗЭ) в ЗШО также колеблется в значительных пределах. В частности, по содержанию золота в пределах от 0,45 до 1 г/т, платины от 6 до 26 г/т, по сумме РЗЭ содержание может достигать 0,15% (золоотвалы ЛуТЭК).

Небезынтересно отметить, что содержание платины и видимо других рудных элементов в исходных углях и ЗШО значительно различаются, что позволяет говорить о приобретении вторичным сырьем новых свойств, и следовательно рассматривать их, как новый вид сырья. Например, содержание платины в исходных углях Бикинского бурогоугольного месторождения 0,5-4,5 г/т, а в ЗШО полученных от их сжигания от 6 до 26 г/т.

В первом приближении ЗШО представляют собой рыхлые или слабо сцементированные скопления золы и шлака с содержанием полезных химических элементов или соединений в концентрациях, позволяющим при определенном технологическом уровне рентабельно производить товары народного потребления и извлекать полезные компоненты.

Для выявления закономерностей распределения полезных химических элементов и изучения строения участков золоотвала в первую очередь необходимо проводить геологоразведочные работы, позволяющие оконтурить продуктивные участки и определиться с их химическим составом.

Таким образом, можно констатировать, что ЗШО являются весьма перспективной сферой для инноваций и инвестиций, имеющих многоцелевую направленность, и их переработка позволяет оказать существенное влияние на эколого-социально-экономическое развитие любого региона по следующим направлениям:

1. Социально-экологический аспект. Устранение потенциального загрязнения, возникающего в результате образования ЗШО и как следствие устранение его негативного воздействия на население и окружающую среду. Основное направление деятельности по этому аспекту - уничтожение ЗШО, позволяющее уменьшить или в идеале вообще ликвидировать накопленный объем данного вида отходов.

2. Социально-экономический аспект. Создание инфраструктуры по производству товаров народного потребления и извлечения минерального сырья, что позволяет создать новые рабочие места, обеспечить рациональное использование вторичных ресурсов, увеличить налоговые поступления в бюджеты всех уровней и как следствие обеспечить рост экономического потенциала региона. Основное направление деятельности по этому аспекту - применение экономически эффективной технологии переработки ЗШО, позволяющей получать полезную продукцию и вторичное (минеральное) сырье.

Объединение этих аспектов в едином организационно-технологическом процессе на основе организации безотходного производства переработки ЗШО, как формы ресурсосберегающей организации производства, позволит сочетать деятельность, связанную как с получением полезной продукции, так и с уничтожением отходов.

Такой подход объединяет два важнейших взаимосвязанных принципа, лежащих в основе разработки и внедрения любого безотходного производства - системность и комплексность.

Системный подход позволяет учесть в единой динамично развивающейся системе взаимозависимость эколого-социально-экономических процессов (природных, общественных и производственных). Комплексный подход позволяет вовлечь в народное хозяйство максимальное количество сырьевых компонентов и как следствие в будущем подойти к организации безотходных территориально-производственных комплексов, на основе использования отходов одних производств, в качестве сырья для других.

В качестве одного из рассматриваемых организационно-технологических направлений по возможности организации безотходных территориально-

производственных комплексов предлагается инновационный технологический процесс утилизации золошлаковых отходов разработанный ООО НПП «Энергия-КМ» для администрации Бийского района Алтайского края.

Данный технологический процесс был опробован на опытной лабораторной установке.

Обобщенный материальный баланс данного полного производственного цикла рассматриваемого технического предложения по организации технологического процесса утилизации ЗШО, полученный после проведения повариантных технико-экономических расчетов, представлен на рис.1.

Применяемые разработчиком технологические решения, т.е. используемые химические уравнения, количество исходных реагентов, необходимых для протекания равновесных химических реакций и данные относительно конверсии (превращения) фракции основного реагента в потоке сырья, расходуемого на образование продуктов реакции, являются «ноу-хау» и в данной работе не рассматриваются.

Рассматриваемый технологический процесс охватывает несколько элементарных циклов утилизации ЗШО. Под элементарными циклами рассматриваемого технологического процесса понимается законченный процесс позволяющий получать товарную продукцию готовую к реализации. Это означает, что каждый элементарный цикл можно рассматривать как самостоятельное производство, а это расширяет возможности применения элементов установки на выпуск продукции, имеющий наибольший спрос или на продукцию, имеющую значительный социально-экономическую значимость для региона (например, коагулянт сульфата алюминия, как реагент для очистки воды).

К элементарным циклам технологического процесса относятся:

1) Процесс кучного выщелачивания, где товарной продукцией выступает черновое золото и серебро.

2) Процесс спекания SiO_2 (промежуточный этап) в отражательной печи с газогенератором, позволяющий получить сырье для изготовления жидкого стекла (SiO_2) и освобожденные от SiO_2 ЗШО идущие на производство коагулянта сульфата алюминия и прочих товарных продуктов.

3) Процесс изготовления жидкого стекла в варочной установке, где товарной продукцией является жидкое стекло.

4) Процесс изготовления строительных материалов с использованием различных серийных производственных линий. В частности, в рассматриваемом примере, используется серийная полуавтоматическая линия по производству стеновых шлакоблоков производительностью 200 шт/час, товарная продукция – стеновой шлакоблок.

5) Процесс изготовления коагулянта сульфата алюминия и извлечения галлия с использованием установки выщелачивания и реактора, товарная продукция – 100% сульфат алюминия и галлий.

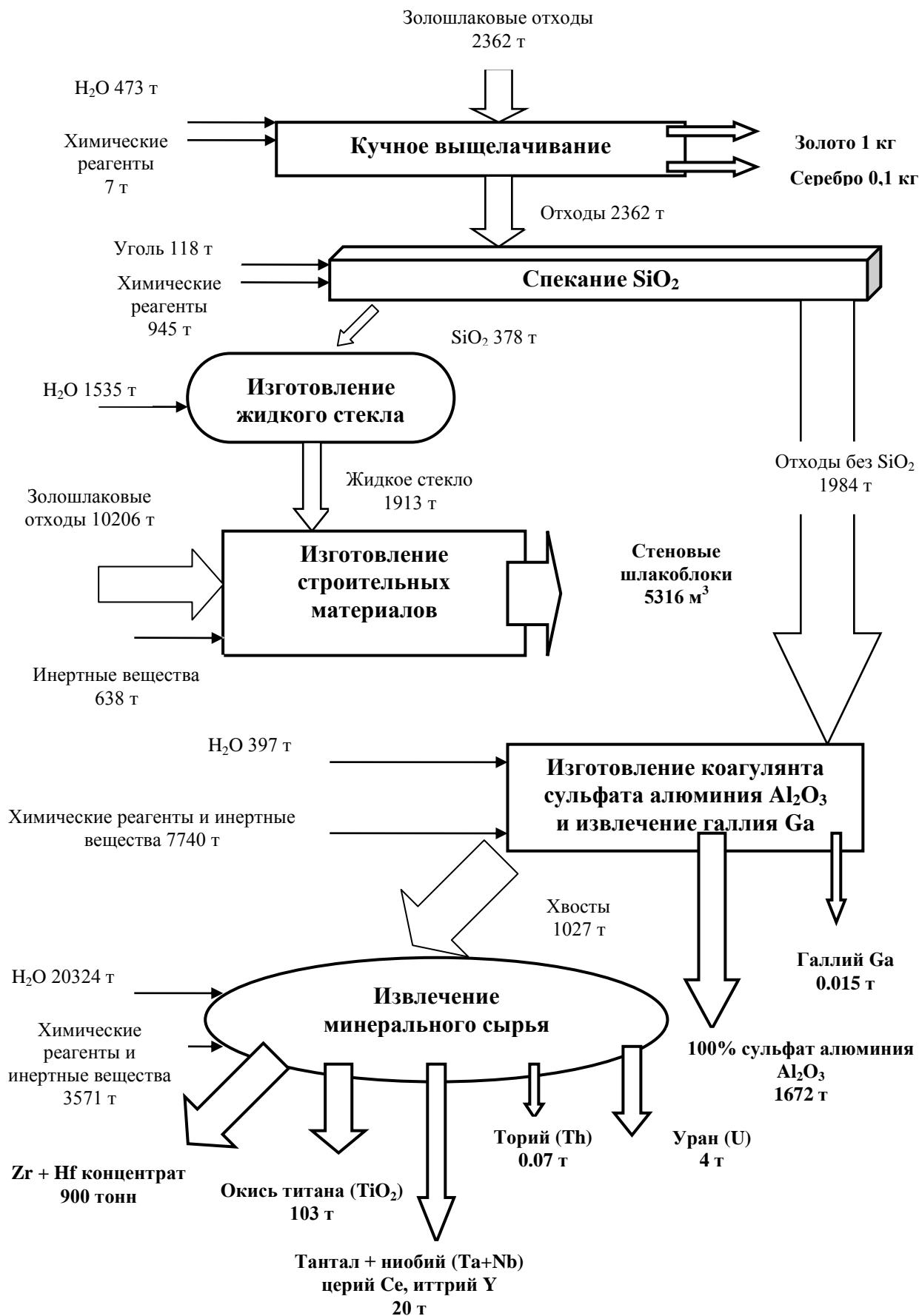


Рис. 1 Обобщенный материальный баланс технологического процесса утилизации ЗШО за полный цикл работы комплексной установки

б) Процесс извлечения минерального сырья на 2-х реакторах специальной конструкции, товарная продукция – окись титана, тантал + ниобий, церий, иттрий, торий, уран и концентрат циркония с гафнием.

Исходные ЗШО имели следующие содержания химических элементов:
SiO₂ - 20%, Al₂O₃ - 32 %, Au – 0,56 г/т, Ag – 0.06 г/т, Ga – 15 г/т, TiO₂ – 1200 г/т,
Nb+Ta – 1400 г/т, Th – 6 г/т, U – 450 г/т, РЗЭ – 1200 г/т.

В применении к элементарным циклам, и исходя из производительности установки за один полный производственный цикл (2362,5 т), разработчиком технологического процесса была предложена модульная установка (далее установка) годовой производительностью на 14175 тонн исходных ЗШО. Предполагается, что установка будет работать сезонно (в течении 6 месяцев), что составит шесть полных производственных циклов, а работа линии по производству стеновых шлакоблоков будет осуществляться в течении 12 месяцев. С целью непрерывной загрузки установки в течении сезона и учитывая длительность процесса выщелачивания (один месяц) предусматривается использования двух, работающих последовательно, полигонов кучного выщелачивания обеспечивающих исходным материалом установку.

Выбор модульной конструкции установки связан с цикличностью собственно технологического процесса и возможностью его разделения на определенные элементы (комбинации элементарных циклов), позволяющие выпускать тот или иной вид товарной продукции. Дополнительно конструкция модульной установки также позволяет:

- 1) Разместить установку в любом месте золоотвала имеющем «кондиционные» ЗШО и регулировать доставку «некондиционных» отходов любым видом транспорта на оптимальном для данной установки расстоянии, а также использовать наиболее приемлемую систему отработки отходов (запасов).
- 2) Создавать определенную комбинацию модулей, позволяющую в конкретной экономической ситуации вести максимально эффективную деятельность, производя тот или иной вид товарной продукции, либо производить товарные продукты, производство которых оказывается наиболее экономически оправданными.
- 3) Не останавливать производство при выходе из строя одного модуля.
- 4) Иметь возможность составлять расписание технического обслуживания или ремонта каждого модуля.
- 5) При необходимости иметь возможность повысить объем утилизации ЗШО путем изготовления дополнительной установки. Здесь необходимо оговорится, что в тоже время существенным недостатком модульной установки является то, что суммарные капитальные вложения при ее сооружении значительно превосходят расходы на строительство единой крупной установки.

Известно, что не каждый технологический процесс, имеющий реальный количественный результат, может стать экономически эффективным процессом при промышленном производстве. Анализ экономичности организации производства является главнейшим фактором, позволяющим в реальном

экономическом окружении (внутреннем и внешнем), оценить целесообразность использования любой инновационной технологии в реальном производстве или оценить рациональность организации любой хозяйственной деятельности в целом.

Для обеспечения анализа экономичности организации безотходного производства, на основе технологического процесса утилизации ЗШО, были выполнены повариантные технико-экономические расчеты по показателям, оказывающим непосредственное влияние на организацию производства.

Этими показателями являлись следующие системные факторы:

I. Обеспечение, как минимум, самокупаемости попутных товарных продуктов, и учета возможных масштабов и условий их реализации, т.к. спрос на выпускаемые товарные продукты может быть ограничен.

II. Установка определенных требований к качеству исходных ЗШО (минимально содержание полезных компонентов), их количеству (минимальный запас в обособленном участке золоотвала) и способу отработки этих запасов (гидронамыв пульпы золы и шлака поступающего непосредственно из трубопровода, открытая разработка отходов на золоотвале и т.п.).

Такие требования устанавливаются, в виде конкретных значений и служат для разделения всего объема отходов на два типа:

- «кондиционные» ЗШО, позволяющие экономически эффективно извлекать полезные компоненты, в виде минерального сырья идущего, как непосредственно на реализацию (золото, серебро, прочие металлы и концентраты), так и сырья участвующего в процессе изготовления товаров народного потребления (стеновой шлакоблок и коагулянт сульфата алюминия);

- «некондиционные» ЗШО, не позволяющие экономически эффективно извлекать полезные компоненты и идущие в качестве заполнителя при производстве стеновых шлакоблоков.

III. Оценка технических аспектов организации технологического процесса, где наиболее важными являются:

- производительность технологической установки в целом за полный цикл и по элементарным циклам технологического процесса в зависимости от длительности его протекания;

- срок службы установки или период оптимальной амортизации;

- спецификация применяемого серийного и несерийного оборудования, необходимого для создания технологической установки.

IV. Месторасположение золоотвала, где наиболее важным фактором, влияющим на себестоимость выпускаемой продукции, является расстояние перевозки материальных ресурсов (химических реагентов) от предприятий – поставщиков. Другие факторы: расстояния перевозки исходных отходов к месту переработки, стоимость исходного сырья, условия энергоснабжения и водоснабжения, наличие рабочей силы и прочие, имеют незначительное и подчиненное значение. Расположение установки по утилизации ЗШО в местах их образования (урбанизированная территория в пределах населенного пункта, имеющего соответствующую инженерную и транспортную инфраструктуру)

позволяет минимизировать или вовсе исключить затраты по этим направлениям.

Так, например, при организации производства по утилизации ЗШО в системе предприятия являющегося собственником золоотвала, появляется возможность исключить из себестоимости выпускаемой продукции стоимость исходных ЗШО.

V. Установка экологических ограничений, к которым можно отнести:

- степень переработки (обезвреживания) ЗШО по показателю характеризующего отношение количества поступающих в год на переработку ЗШО к количеству образуемых на данном предприятии отходов в течении того же периода;

- уровень загрязнения почв;

- уровень загрязнения грунтовых вод;

- уровень загрязнения атмосферы.

Оценка экономической эффективности организации производства по элементарным циклам технологического процесса утилизации ЗШО с применением метода прямых затрат приведена в таблице 1.

Анализ показателя уровня рентабельности рассматриваемого инновационного технологического процесса по элементарным циклам показывает, что экономическая эффективность каждого элемента процесса очень высокая и в целом превышает 50%.

Значительный запас прочности по уровню рентабельности позволяет снизить цену на отдельные виды выпускаемую продукцию, что даст конкурентные преимущества, как в пределах региона, так и в целом по России (транспортная составляющая цены продукции при ее отправке в отдаленные от места производства регионы может быть достаточно высокой). В частности, возможно снижение оптовой цены жидкого стекла при прочих равных условиях до 807,10 руб/т без НДС вместо 8071,03 руб/т (цена в розничной сети по Алтайскому краю). При этом уровень рентабельности производства жидкого стекла составит 65,1%. Аналогично возможно снижение, при прочих равных условиях, в десять раз отпускной цены на коагулянт сульфата алюминия и при этом уровень рентабельности этого процесса составит 63,8%.

Стоимость стеновых шлакоблоков на внутреннем рынке варьирует в значительных пределах и поэтому в пределах различных регионов России экономическая эффективность этого процесса может превышать 50%. В частности, на настоящий момент цена 1 м³ стеновых шлакоблоков на территории Приморского края в среднем составляет 2500 рублей с НДС, и соответственно уровень рентабельности составит 67,2%.

Анализ условий неопределенности, в части достоверности расчетов прямых (переменных) эксплуатационных затрат или моделирование ситуации по учету в этих затратах административных расходов (постоянные затраты), а также транспортной и складской составляющей по доставке материальных ресурсов обеспечивающих течение процесса (полная себестоимость), позволяет утверждать, что анализируемый технологический процесс по элементарным циклам имеет достаточный запас прочности.

Таблица 1

Экономическая эффективность элементарных циклов технологического процесса

№ п/п	Наименование затрат	Ед. изм	Экономическая эффективность
1	Кучное выщелачивание		
	Цена единицы товарной продукции полученной из 1 т исходных ЗШО	руб.	144,59
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	24,51
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	120,08
	Уровень рентабельности	%	83,0
2	Изготовление жидкого стекла		
	Цена единицы товарного жидкого стекла полученного из 1 тонны исходных ЗШО	руб.	6537,53
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	168,05
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	6369,48
	Уровень рентабельности	%	97,4
3	Изготовление стеновых шлакоблоков		
	Розничная цена 1 м ³ стеновых шлакоблоков	руб.	1355,93
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	694,41
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	661,52
	Уровень рентабельности	%	48,8
4	Получение коагулянта сульфата алюминия и извлечение галлия		
	Цена единицы 100% Al ₂ (SO ₄) ₃ полученного из 1 т исходных ЗШО	руб.	9158,00
	Цена единицы товарного галлия Ga полученного из 1 т исходных ЗШО	руб.	45,84
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	1704,57
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	7499,28
	Уровень рентабельности	%	81,9
5	Извлечение РЗЭ и прочего минерального сырья		
	Сводная стоимость единиц товарных продуктов полученных из 1 т исходных ЗШО	руб.	11758,19
	Сводные эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	6114,14
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	5644,05
	Уровень рентабельности	%	48,0

В частности, прибыль инвестора на уровне ставки рефинансирования ЦБ РФ на момент оценки (13%), возможна, при прочих равных условиях, при увеличении эксплуатационных затрат на изготовление жидкого стекла в 34 раза, на коагулянт сульфата алюминия в 4,7 раза, на стеновой шлакоблок в 1,7 раза.

Анализ структуры прямых эксплуатационных затрат по элементарным циклам технологического процесса показывает, что мы имеем дело с материалоемким производством, где львиную долю занимает объем и стоимость химических реагентов и инертных веществ. Это предполагает определенные трудности в организации и управлении таким производством. В частности потребуются организация комплексной транспортно – логистической схемы доставки материальных ресурсов в части обеспечения технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса, в том числе создания транспортных систем (коридоров и цепей) и обеспечения единства транспортно-складского хозяйства.

Оценка инвестиционной привлекательности технологического процесса в течение жизненного цикла (срока службы) комплексной установки с применением метода дисконтированных денежных потоков приведена в таблице 3 (Основные технико-экономические показатели).

При расчете технико-экономических показателей инфляция предполагается однородной и ее вклад учтен в принятой норме дисконта равном 13%, что соответствует ставке рефинансирования ЦБ РФ и позволяет оценить коммерческую эффективность проекта в целом. Норма дисконта одновременно является минимально предельной и без рисков и может быть использована, как исходная ставка предполагаемого кредита под финансирование проекта.

Налоговое окружение и налогооблагаемая база рассчитана в соответствии с Налоговым кодексом РФ. Учитывая тот факт, что ЗШО являются техногенными месторождениями полезных ископаемых, в расчеты введен налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ).

Годовой объем вовлеченных в отработку золошлаковых отходов составит 75 тыс. тонн, т.к. производство стеновых шлакоблоков требует привлечения дополнительного объема золошлаковых отходов (61 тыс. тонн).

Капитальные вложения в основные средства в установку по переработке ЗШО годовой производительностью в 14175 тонн (серийное оборудование и изготовление несерийного оборудования) приведены с учетом строительно-монтажных работ по сооружению комплексной установки и без учета транспортно-заготовительных расходов.

Размер оборотных средств определен от эксплуатационных затрат на один производственный цикл технологического процесса плюс единовременные затраты на приобретение соды каустической (7 тыс. тонн) для запуска процесса обеспечивающего получения сульфата алюминия.

Анализ технико-экономических показателей работы комплексной установки по утилизации ЗШО в течение ее жизненного цикла показывают, что реализуемость намечаемой деятельности по организации безотходного производства по предложенной технологии очень высокая.

Технологическому процессу (проекту) присущ значительный запас устойчивости (272,5%), высокая внутренняя норма прибыли 460,9 % и как следствие короткий срок окупаемости капвложений (0,4 года).

Таблица 4

Основные технико-экономические показатели

№№	Показатели	Ед. изм.	Значения
1	Срок службы комплексной установки	лет	10,0
2	Годовой объем перерабатываемых ЗШО	тонн	75000
3	Годовая производительность установки	тонн	14000
4	Капитальные вложения	тыс. руб	13296
5	Оборотный капитал	тыс. руб	39947
6	Общие капитальные вложения	тыс. руб	53243
7	Удельные капиталовложения на 1 т ЗШО	тыс. руб	3,803
8	Срок строительства комплексной установки	мес.	6
9	Годовой выпуск товарной продукции		
	золото	кг	6,4
	серебро	кг	0,7
	стенной шлакоблок	тыс.м ³	31,9
	галлий Ga	кг	89,3
	100% сульфат алюминия Al ₂ (SO ₄) ₃	тыс.т	10,0
	окись титана TiO ₂	т	618,1
	тантал-ниобий Ta+Nb	т	82,4
	торий Th	кг	437,1
	церивая группа Ce	т	15,9
	иттрий Y	т	15,9
	прочие РЗЭ	т	5,7
	уран U	т	26,5
	Zr+Hf концентрат	тыс.т	5,4
10	Годовая стоимость товарной продукции	тыс. руб	342432
11	Годовые эксплуатационные затраты	тыс. руб	133325
12	Чистая годовая прибыль	тыс. руб	145708
13	Безрисковая норма дисконтирования	%	13,0
	Чистая дисконтированная прибыль ЧДП	тыс. руб	695223
	Индекс прибыльности ИП	ед.	15,3
	Срок окупаемости капвложений	лет	0,4
	Внутренняя норма прибыли ВНП	%	460,9
14	Предельная норма дисконтирования	%	285,5
	Чистая дисконтированная прибыль ЧДП	тыс. руб	7691
	Индекс прибыльности ИП	%	1,42
	Срок окупаемости капвложений	лет	10,0
	Внутренняя норма прибыли ВНП	%	7,5
15	Интегральная устойчивость проекта ИУ	%	272,5
16	Экономическая эффективность установки (уровень рентабельности к выручке)	%	42,6

Проект имеет значительный запас прочности в части неопределенности условий определения годовой производительности установки, капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Проведенный анализ безубыточности в частности показывает, что одновременное увеличение стоимости капитальных вложений и эксплуатационных затрат в два раза при прочих равных условиях, оставляет проект на «плаву» при следующих показателях эффективности и норме дисконта 13%: ЧДП – 113917 тыс. рублей; ИП – 2,17; срок окупаемости – 3,2 года.

В тоже время выполненная оценка экономической эффективности безусловно требует дальнейшей разработки в части детализации затрат и их стоимостных характеристик по всем вводимым показателям, а также по спецификации ценовой характеристики выпускаемой продукции, материальным затратам, транспортно-заготовительным расходам и это возможно выполнить на стадии рабочего проектирования и результатам опытно-промышленной эксплуатации.

Подводя итоги рассмотрения технических предложений к организации безотходного производства на основе инновационной технологии утилизации золошлаковых отходов, мы видим, что имеем экономически эффективный технологический процесс, как в целом, так и по элементарным циклам, вполне позволяющий организовать данное производство на территории Приморского края.

Литература

1. Китаев И.В. Золообразующие и малые элементы углей Дальнего Востока. Владивосток, 1989.136 с
2. Корнеев А.В. Инновационная технология организации безотходного производства утилизации золошлаковых отходов. Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности рационального природопользования Дальнего Востока и стран АТР (Материалы II Международной конференции 25-27 октября 2006 г.). Владивосток, стр.287-291
3. Обухов И.В. Экологическая опасность золоотвалов и возможности утилизации золошлаковых отходов ТЭС Дальнего Востока // Экологический вестник Приморья. 2000. № 7
4. Соуфер С., Заборски О. Биомасса как источник энергии. Мир, Москва, 1985.