

ГИПСОСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЦИКЛИНГА

А. Н. Хотько

директор филиала, Белорусский государственный технологический университет, Белорусский государственный колледж промышленности строительных материалов; соискатель, г. Минск, Беларусь, gavrsvss@gmail.com

В данной статье рассмотрены эколого-экономические аспекты рециклинга гипсосодержащих отходов химической промышленности. Гипсосодержащие отходы, образующиеся при производстве фосфорных удобрений, плавиковой и лимонной кислот, а также в стекольной промышленности, представляют собой значительную экологическую и экономическую проблему. Несмотря на наличие ценных компонентов, таких как сульфаты кальция, редкоземельные элементы и тяжелые металлы, большая часть этих отходов складывается в отвалах, что приводит к загрязнению окружающей среды и потере полезных ресурсов.

Рассматриваются экономические издержки, связанные с открытым складированием гипсосодержащих отходов, включая затраты на транспортировку, хранение и обслуживание отвалов. Особое внимание уделяется экологическим последствиям, таким как загрязнение воды, почвы и атмосферы, а также их экономическому влиянию.

Ключевые слова: Рециклинг; гипс; экология, гипсосодержащие отходы.

GYPSUM-CONTAINING WASTE FROM THE CHEMICAL INDUSTRY: ENVIRONMENTAL RISKS AND ECONOMIC OPPORTUNITIES FOR RECYCLING

A. N. Khotko

director of the branch of the Belarusian State Technological University, Belarusian State College of Building Materials Industry; PhD student, Minsk, Belarus, gavrsvss@gmail.com

This article examines the ecological and economic aspects of recycling gypsum-containing waste from the chemical industry. Gypsum-containing waste generated during the production of phosphate fertilizers, hydrofluoric and citric acids, as well as in the glass industry, poses a significant environmental and economic challenge. Despite the presence of valuable components such as calcium sulfates, rare earth elements, and heavy metals, a large portion of this waste is disposed of in landfills, leading to environmental pollution and the loss of valuable resources.

The economic costs associated with open storage of gypsum-containing waste are discussed, including transportation, storage, and landfill maintenance expenses. Special attention is given to the environmental consequences, such as water, soil, and air pollution, as well as their economic impact.

Keywords: recycling; gypsum; ecology, gypsum-containing waste.

Введение. Гипсосодержащие отходы, образующиеся в результате производства фосфорных удобрений, плавиковой и лимонной кислот, а также в стекольной промышленности, представляют собой значительную экологическую и экономическую проблему. Эти отходы содержат ценные компоненты, такие как сульфаты кальция, редкоземельные элементы, железо, титан, магний, алюминий, марганец и тяжелые металлы (Cu, Pb и др.) [1]. Однако большая часть

этих отходов складироваться в отвалах, что приводит к загрязнению окружающей среды и потере потенциально полезных ресурсов.

Теоретические основы.

Экономические аспекты проблемы. Открытое складирование гипсосодержащих отходов является обычной практикой, что влечет за собой значительные экономические издержки. Отвалы занимают большие территории, расположенные вблизи промышленных предприятий, природных комплексов и населенных пунктов. Транспортировка и хранение этих отходов требуют значительных инвестиционных и эксплуатационных затрат. Например, до 10 % себестоимости фосфорной кислоты приходится на затраты, связанные с транспортировкой и хранением фосфогипса [2]. Эти затраты включают не только логистику, но и обслуживание отвалов, что делает процесс утилизации экономически неэффективным.

Текущие темпы накопления фосфогипса оцениваются в 200 млн тонн в год. В России на предприятиях по производству аммиачно-фосфорного сырья накоплено более 500 миллионов тонн фосфогипса [3; 4]. Это создает не только экологические, но и экономические проблемы, так как содержание и обслуживание таких отвалов требует постоянных финансовых вложений. Кроме того, отчуждение земель под отвалы приводит к потере потенциально полезных площадей, которые могли бы быть использованы для других целей, таких как сельское хозяйство или строительство.

Экологические последствия и их экономическое влияние. Отвалы гипсосодержащих отходов оказывают негативное воздействие на окружающую среду, что влечет за собой дополнительные экономические издержки. Вымывание гипса атмосферными осадками приводит к загрязнению грунтовых и поверхностных вод, почвы и растительного покрова. Это может привести к необходимости проведения дорогостоящих мероприятий по очистке воды и восстановлению почв. Пыление и выветривание отходов способствуют загрязнению атмосферы, что может негативно сказаться на здоровье населения и привести к увеличению затрат на здравоохранение.

Изменение уровня грунтовых вод, вызванное гидродинамическим воздействием отвалов, может привести к негативным явлениям в селитебной зоне, таким как отчуждение и загрязнение земельных участков. Это, в свою очередь, снижает стоимость земель и может привести к экономическим потерям для местных сообществ и предприятий.

Экономические причины актуальности проблемы утилизации. Проблема утилизации техногенного гипса остается актуальной по следующим экономическим причинам [5]:

- Складирование гипса на территории предприятия ухудшает санитарное состояние площадки и прилегающей территории, что может привести к дополнительным затратам на поддержание чистоты и безопасности.

- Транспортировка и хранение фосфогипса в отвалах характеризуются высокими затратами, которые могут составлять до 12 % от стоимости переработки сырья. Эти затраты включают не только логистику, но и обслуживание отвалов.

- Необходимость отчуждения больших территорий для создания свалок, которые могут превышать размеры промышленных площадок предприятий, приводит к потере потенциально полезных земель и увеличению затрат на их содержание.

Результаты и их обсуждение. Технологический прогресс играет ключевую роль в рециклинге гипсосодержащих отходов. Усовершенствование методов переработки должно быть направлено на улучшение характеристик продукта, снижение энергопотребления и логистических затрат. Конечная цель – разработка безвредных технологий обработки, которые позволят создавать высокодоходные или крупнотоннажные продукты, такие как строительные и дорожно-строительные материалы.

Экономическая эффективность рециклинга гипсосодержащих отходов может быть достигнута за счет снижения затрат на транспортировку и хранение, а также за счет создания новых рынков сбыта для продуктов переработки. Например, использование гипсосодержащих

отходов в строительных материалах может снизить затраты на производство цемента и других строительных материалов, что делает их более конкурентоспособными на рынке.

Менеджмент управления гипсосодержащими отходами. Эффективное управление гипсосодержащими отходами требует комплексного подхода, включающего планирование, организацию, контроль и мониторинг процессов утилизации и переработки. Важным аспектом является внедрение систем управления отходами, которые позволят минимизировать экологические риски и оптимизировать экономические затраты.

1. Планирование и организация процессов утилизации. Для эффективного управления отходами необходимо разработать стратегические планы, включающие оценку объемов образования отходов, их состава и потенциальных путей переработки. Организация процессов утилизации должна включать создание инфраструктуры для сбора, транспортировки и переработки отходов, а также обучение персонала.

2. Контроль и мониторинг. Для временных отвалов и закрытых хвостохранилищ гипсосодержащих отходов необходим эффективный контроль и мониторинг. Стандартизированные меры по предотвращению пыления и утечки фильтрата должны быть реализованы на этапе складирования. Это позволит снизить затраты на очистку окружающей среды и избежать штрафов за загрязнение.

3. Технологии экологической реставрации. Для решения проблем с фильтратом из закрытых хвостохранилищ необходимо разработать комплексные технологии экологической реставрации, включая методы фиторемедиации. Эти технологии могут быть экономически эффективными, так как они позволяют снизить затраты на очистку и восстановление окружающей среды.

4. Экономические инструменты управления. Внедрение экономических инструментов, таких как налоги на загрязнение, субсидии для предприятий, занимающихся переработкой отходов, и система торговли квотами на выбросы, может стимулировать компании к более ответственному подходу к управлению отходами.

Синергия между отраслями и экономические выгоды. Для эффективного использования гипсосодержащего сырья необходимо создать круговую экономическую модель, которая объединит различные отрасли промышленности. Сотрудничество со строительной отраслью позволит использовать техногенный гипс в производстве строительных материалов, способствуя замкнутому циклу использования ресурсов. Это не только снизит затраты на утилизацию отходов, но и создаст новые экономические возможности для предприятий.

Партнерство с сельскохозяйственным и экологическим секторами может способствовать применению гипсосодержащих отходов для улучшения сельскохозяйственных угодий и восстановления почв. Это может привести к увеличению урожайности и снижению затрат на удобрения, что положительно скажется на экономике сельского хозяйства.

Использование в строительных материалах: экономические перспективы. Одним из ключевых направлений для крупномасштабного использования гипсосодержащих отходов является их применение в строительных материалах, таких как замедлители схватывания цемента, гипсовые изделия и материалы для дорожного основания. Однако низкая узнаваемость на рынке и ограниченные продажи сдерживают их широкое применение. Для решения этой проблемы необходимо разработать комплексную систему стандартов качества продукции, а также улучшить доступ на рынок и ввести преференциальную политику для предприятий, занимающихся переработкой гипсосодержащих отходов.

Экономические выгоды от использования гипсосодержащих отходов в строительных материалах могут быть значительными. Снижение затрат на производство строительных материалов, а также создание новых рынков сбыта могут привести к увеличению прибыли предприятий и снижению экологической нагрузки.

Заключение. Рециклинг гипсосодержащих отходов химической промышленности является важным шагом на пути к устойчивому развитию. Для достижения эффективного

использования этих отходов необходимо развивать технологии переработки, создавать синергию между отраслями и внедрять стандарты качества продукции. Это позволит не только снизить экологическую нагрузку, но и создать новые экономические возможности для предприятий. Управление гипсосодержащими отходами требует комплексного подхода, включающего планирование, контроль, мониторинг и внедрение экономических инструментов, что позволит минимизировать экологические риски и оптимизировать экономические затраты.

Библиографические ссылки

1. *Cao J. X., Chen Q. L., Liu Y.* Impurity configuration in Phosphogypsum and influence of water-soluble phosphorous pentoxide on cement physical property // *Environ. Eng.* 2001. Vol. 5. P. 40–43.
2. Phosphogypsum circular economy considerations: A critical review from more than 65 storage sites worldwide / *E. Bilal, [et al.]* // *Journal of Cleaner Production.* 2023. Vol. 414. P. 137561.
3. *Malik N. Y., Malovanyi M. S., Malyk O. V.* Two-Stage chemical processing of phosphogypsum into ammonium nitrate // *Chem. Technol. Subst. Appl.* 2005. Vol. 536. P. 207–211.
4. *Manzhina S. A., Denisov V. V., Denisova I. A.* Using of large-scale waste phosphogypsum to reduce emissions of SO₂-containing coal power plant // *Eng. J. Don.* 2014. Vol. 28. P. 77–87.
5. Phosphogypsum Leadership Innovation Partnership / *Hilton J., [et al.]* // IFA NORM Working Group. Paris. 2020. Vol. 144.