

УДК 330.341.1

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА КАК ФАКТОР ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА**Кукин Л.А., Окоелова Э.Ю., Кукина О.Б., Волокитина О.А.***Воронежский государственный технический университет, Воронеж, e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

Предметом статьи является исследование увеличения жизненного цикла использования отхода химического производства. Рассматривается эффективность дифференцированной переработки фосфогипса. С одной стороны, данная технология позволяет получать строительные стеновые материалы (материалы для дорожного покрытия), с другой стороны, в процессе формования изделий производится концентрат нерадиоактивных редкоземельных металлов, используемых в стратегически важных отраслях экономики: электроэнергетике, военной промышленности. Получение этих востребованных продуктов в тяжелых отраслях производства элементов из отходов фосфогипса позволяет решить одну из важнейших на сегодняшний день задач – задачу импортозамещения – и привести к экономическому росту. Проведенные экспериментальные исследования показали, что индекс рентабельности производства при использовании предлагаемой инновационной технологии составит более 50%, что позволяет говорить о ее высокой экономической эффективности. Увеличение жизненного цикла использования фосфогипса происходит на территории предприятия, производящего отход, поэтому затраты на логистику, строительство помещений минимальны, влияние рисков практически полностью нивелируется. Таким образом, предлагаемая авторами технология является высоко-рентабельной, основана на формировании принципов регулирования и самоорганизации при производстве, которые способствуют увеличению эффективности функционирования корпоративного механизма внедрения инновационной технологии переработки отхода фосфогипса и, как следствие, экономическому росту.

Ключевые слова: инновационные технологии, жизненный цикл, диффузия, трансферт, импортозамещение, экономический рост

AN INNOVATIVE WAY TO INCREASE THE LIFE CYCLE OF PHOSPHOGYPSUM USE AS AN IMPORT SUBSTITUTION AND ECONOMIC GROWTH FACTOR**Kukin L.A., Okolelova E.Yu., Kukina O.B., Volokitina O.A.***Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

The paper focuses on the study of increasing the life cycle of using chemical production waste. The efficiency of differentiated processing of phosphogypsum is considered. On the one hand, this technology makes it possible to obtain construction wall materials (road surface materials), on the other hand, a concentrate of non-radioactive rare earth metals is produced in the molding process. These metals are used in strategically important sectors of the economy such as power generation and military industry. Obtaining these demanded products in heavy industries elements from phosphogypsum wastes makes it possible to solve one of the most important current problems of import substitution and facilitates the economic growth. The conducted experimental studies have shown that the profitability index of production using the proposed innovative technology will be more than 50%, which allows us to talk about its high economic efficiency. The increase in the life cycle of phosphogypsum use takes place on the territory of the enterprise that produces the waste, so the logistics and premises construction costs are minimal, and the risks impact is almost completely leveled. Thus, the technology proposed by the authors is highly profitable and based on the formation of regulation and self-organization principles in production, which contribute to increasing the corporate mechanism efficiency for implementing innovative technology for phosphogypsum waste processing and, as a result, economic growth.

Keywords: innovative technologies, life cycle, diffusion, transfer, import substitution, income

Проблема внедрения инновационных технологий в строительстве – одна из наиболее актуальных на современном этапе развития индустрии [1]. Несмотря на то, что учеными разработано множество принципиально новых технологий и материалов, отличающихся не просто креативностью решений, но и носящих порой характер прорывных производственных возможностей, использование их в реальном секторе производства происходит в лучшем случае с большой осторожностью. Многие идеи и разработки так и остаются на уровне теоретических исследований, не получая должного признания в произ-

водственной среде. Несмотря на значительное количество разработок по утилизации фосфогипса дигидрата из 20 млн т его, получаемых ежегодно, находят применение только 0,3 млн т, или 1,5%, остальное удаляется с территории предприятий как отход и хранится в отвалах десятилетиями, ухудшая экологическую обстановку [2]. Поэтому вопросы, связанные с рециклингом фосфогипса с целью создания материалов на его основе и новых технологий по его применению, являются актуальными. На сегодняшний день существуют различные способы переработки фосфогипса. Например, широкое применение нашли

составы из фосфогипса, цемента, шлака, золы и других активных добавок [3, 4]. Жилищное строительство – большая проблема в современном мире. В результате проведенных технико-экономических исследований установлено, что решить проблему дефицита жилья можно при использовании промышленных отходов: в производстве стеновых материалов экономически выгодно добавлять фосфогипс, при этом показатели качества изделий не уступают традиционным [5, 6]. Изучаются составы с добавлением фосфогипса в цементный клинкер. Известны несколько способов использования фосфогипса: в качестве одного из компонентов вяжущего на производстве; при изготовлении наполнителей [7], в производстве гипсокартона без применения бумаги и волокон [8], в производстве стеновых изделий, например, кирпича по обжиговой технологии [9]; при изготовлении лесса [10, 11], в строительстве автомобильных дорог; в безобжиговых технологиях получения стеновых материалов и тротуарной плитки [12]. Из фосфогипса извлекаются нерадиоактивные редкоземельные металлы, которые пользуются огромным спросом на рынке и применяются в военной и полупроводниковой промышленности [13, 14]. Известен автоклавный способ переработки фосфогипса в гипсовое вяжущее [15]. Из фосфогипсовых отходов получают водостойкие ангидритовые вяжущие путем обжига их с добавками алюмокремнеземистых материалов [16]. Для получения растворов из фосфогипса с высокопрочностными показателями применяют помол в вибромельнице [17, 18]. Композиционное водостойкое гипсовое вяжущее получают также совместным помолом тонкомолотой смеси рафинировочного шлака и гипса дигидрата сульфата кальция [19]. Авторами настоящей работы предлагается уникальная и единственная в своем роде технология производства полноценного продукта фактически из отходов производственного цикла, а именно в результате переработки отходов фосфогипса. Особенно важно то, что представленный технологический процесс имеет минимальный уровень затрат, практически не сопоставимый с ожидаемой прибылью [20]. Речь идет о создании эффективной инновационной технологии рециклинга фосфогипса, увеличивающей его жизненный цикл и позволяющей в значительной мере снизить импортозависимость России от зарубежных поставок редкоземельных металлов. По экспертным оценкам фосфогипс является крупнейшим по объему техногенным отходом. В Российской Федерации накоплено

около 300 млн т фосфогипса (Воскресенск, Тамбов, Череповец, Великий Новгород, Кингисепп, Кирово-Чепецк, Балаково, Белореченск, Мелеуз). Утилизация фосфогипса представляет собой, по мнению экспертов, проблему межнациональную, имеющую огромное экологическое и социальное значение. Одновременно, утилизация фосфогипса – это один из этапов его жизненного цикла. Известно использование фосфогипса при строительстве автомобильных дорог, при котором последние получают более качественными, имеющими больший срок службы и значительно дешевле традиционных асфальтовых. В фосфогипсе содержатся редкоземельные металлы, которые могут использоваться после переработки в коллективный концентрат оксидов редкоземельных металлов и индивидуальные оксиды, используемые в наиболее наукоемких и современных технологиях, таких как производство нанокристаллов, сверхмощных магнитов, аккумуляторов для электромобилей, твердотельных лазеров, специальных керамик и покрытий, в ядерной энергетике, аэрокосмической промышленности, телекоммуникациях [21]. Россия в сегменте редкоземельных металлов в данное время является импортозависимой страной, так как она не имеет мощностей по разделению концентратов редкоземельных металлов. Научная новизна данной исследовательской работы заключается в инновационном подходе, позволяющем продлить жизненный цикл использования фосфогипса, объединить технологии получения строительных изделий и концентрата нерадиоактивных редкоземельных металлов из фосфогипса; наладить импортозамещение на рынке редкоземельных металлов; привлечь инвестиции для получения доходов.

Цель настоящего исследования заключается в оценке эффективности предлагаемой инновационной технологии увеличения жизненного цикла использования фосфогипса, отхода химического производства, позволяющей производить на территории одного предприятия два продукта, используемых в тяжелых отраслях промышленности: строительстве и электроэнергетике.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали отвалный фосфогипс Уваровского химического завода, ликвидированного в 2000 г. из-за банкротства. Площадь отвалов 6,4 км², объем достигает порядка 35 млн т; фосфогипс Воскресенского химического завода. Количество накопленного фосфогипса в России представлено на рис. 1.

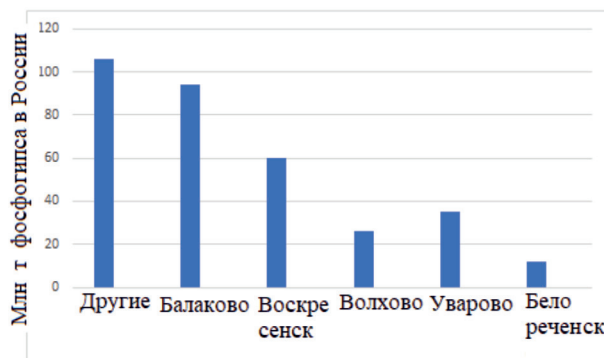


Рис. 1. Количество накопленного фосфогипса в России

Разрабатываемая инновационная технология производства строительных материалов из фосфогипса с одновременным получением концентрата редкоземельных металлов содержит следующие стадии, представленные на рис. 2.

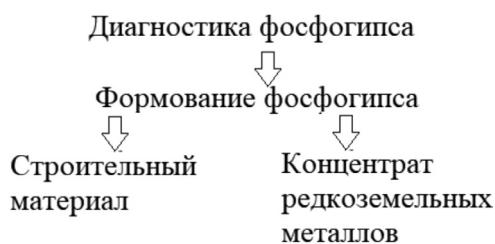


Рис. 2. Стадии инновационной технологии переработки фосфогипса

Для расчета показателей эффективности инвестиций использовали ставку дисконтирования со значением 6%. Расчет чистой приведенной стоимости NPV производили по формуле (1), индекс рентабельности PI по формуле (2), внутренней нормы доходности IRR по формуле (3):

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{(CF)^t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{(Co)^t}{(1+r)^t}}, \quad (2)$$

$$\sum_{t=0}^T \frac{(\overline{CF})_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^T \frac{(C_0)_t}{(1+r)^t} = 0, \quad (3)$$

где r – ставка рефинансирования ЦБ, CF – денежный поток (текущие доходы – текущие расходы), Co – капитальные вложения в начале проекта.

Так как в нашем проекте акцент на короткие сроки (месяцы), то CF в нашей модели представляет собой чистую прибыль от продаж готовой продукции (выручка от продаж – расходы на оплату труда, сырье, аренду). C_0 в нашей модели является стоимостью оборудования.

Результаты исследования и их обсуждение

Работа основана на формировании принципов эффективного регулирования и самоорганизации при производстве фосфорной кислоты и минеральных удобрений, которые способствуют увеличению эффективности функционирования корпоративного механизма внедрения инновационной технологии переработки отхода фосфогипса. Трансфер разрабатываемой прорывной технологии переработки фосфогипса позволит выпускать на действующем предприятии по производству фосфорной кислоты дополнительно два вида новой продукции, что увеличит жизненный цикл и дополнительную прибыль. Таким образом, новая прорывная технология дополнит старую вследствие диффузии нововведения, она представлена на рис. 3.

По разрабатываемой экспериментальной технологии предполагается создание двух дополнительных видов продукции:

1) коллективный концентрат оксидов редкоземельных металлов. Получение редкоземельных металлов на территории Российской Федерации из отходов промышленности позволит перестать быть импортозависимой страной. В Российской Федерации налажено производство редкоземельных металлов на ПО «Акрон» в г. Великий Новгород, однако на выходе полученный концентрат обладает высокой стоимостью из-за повторно образующихся крупнотоннажных отходов фосфогипса, что делает его малоконкурентноспособным на мировом рынке (Китай);

2) строительные изделия: пазогребневая и тротуарная плитка, которые будут получены по безобжиговой технологии в 3–5 раз дешевле подобных, полученных по традиционным технологиям материалов.

На рис. 3 представлена диффузионная модель трансфера инновационной прорывной технологии производства фосфорной кислоты, которая имеет ряд особенностей:

- в старой технологии производства фосфорной кислоты образующий отход фосфогипс складывается в отвалы, из которых его перерабатывается незначительное количество. При этом отвалы занимают гектары плодородных земель, ухудшают экологию региона;

- инновационная технология позволяет из отхода фосфогипса на территории предприятия получить два важнейших для производства продукта, один из которых (тротуарная плитка) является дешевым строительным материалом, а другой (концентрат нерадиоактивных редкоземельных металлов) может замещать на рынке ввозимые из-за рубежа продукты;

- в результате трансфера технологии производства фосфорной кислоты предприятие получит дополнительный доход от реализации продукции, произведенной

на основе применения новых технологий, что значительно повысит инвестиционную привлекательность как самого предприятия, так и региона в целом;

- переработка отходов фосфогипса, как крайне негативно влияющих на экологию отходов техногенного производства, позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в ряде регионов.

Экономические результаты разрабатываемой технологии приведены в таблице.

Однако при трансфере технологии следует учитывать проектные, экологические и инвестиционные риски: недостаточность оценки жизненного цикла при длительной эксплуатации, возможность изменения качественных характеристик материалов, ошибки при проектировании, недостаточная обеспеченность оборудованием, работа в условиях агрессивных сред, увеличение эксплуатационных затрат, отсутствие потребительского спроса на объекты. При этом, исходя из уровня рентабельности производства продукции при использовании предлагаемой технологии, можно с уверенностью утверждать, что данное производство характеризуется минимальным уровнем риска относительно других инновационных проектов.

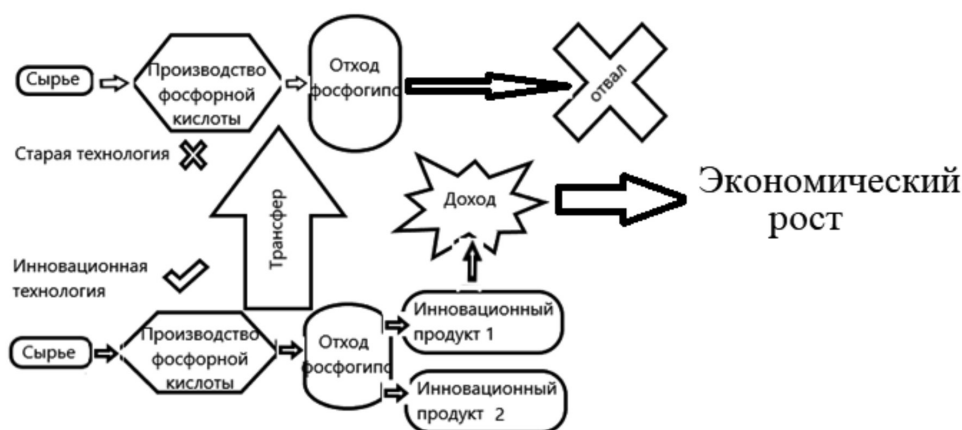


Рис. 3. Трансфер инновационной прорывной технологии с получением дохода и экономического роста

Экономические результаты инновационной прорывной технологии переработки фосфогипса

Период окупаемости, месяцев	15,7
NPV (чистая приведенная стоимость), руб.	3 125 283
PI (индекс рентабельности), %	53,33%
IRR (внутренняя норма доходности), % (рассчитывается вручную)	53,10%
Точка безубыточности, шт. (минимальный объем выпуска в месяц)	41 463
Запас финансовой прочности, руб. (на сколько макс % можно снизить объем продаж, чтобы не попасть в убытки)	57%
Длительность рассматриваемого периода проекта, месяцев	24

Выводы

Представленная в работе инновационная технология позволяет: снизить себестоимость строительства дорог на 30 % и более; производства строительных стеновых изделий в 3–5 раз; произвести на рынке нерадиоактивных редкоземельных металлов импортозамещение; значительно снизить негативное влияние техногенных отходов на экологическую обстановку в ряде регионов России. В результате трансфера технологии производства фосфорной кислоты образуется дополнительный доход у предприятия, увеличивается рентабельность региона и улучшается его экологическая обстановка. Трансфер инновационной прорывной технологии производства фосфорной кислоты с образованием дополнительных продуктов позволит увеличить рентабельность производства, получить безотходные технологии, утилизировать отвалы с отходами фосфогипса, снизить потребность России в импортировании редкоземельных металлов, улучшить экологическую обстановку в некоторых регионах и привести к экономическому росту.

Список литературы

1. Корницкая О.В., Околелова Э.Ю., Трухина Н.И. Развитие инноваций и механизм их распространения на предприятиях стройиндустрии // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013. № 12 (60). С. 93.
2. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А. Эффективные безобжиговые строительные материалы на основе фосфогипса // Современное строительство и архитектура. 2017. № 4 (08). С. 8–14.
3. Rashad A.M. Potential use of phosphogypsum in alkali-activated fly ash under the effects of elevated temperatures and thermal shock cycles Journal of cleaner production. 2015. P. 717–725.
4. Liu L., Zhang Y., Tan K. Cementitious binder of phosphogypsum and other materials Advances in cement research. 2015. Vol 27. P. 567–570.
5. Hua S., Wang K., Yao X. Effects of fibers on mechanical properties and freeze-thaw resistance of phosphogypsum-slag based cementitious materials. Construction and building materials. 2016. P. 290–299.
6. Yoon S., Mun K., Hyung W. Physical Properties of Activated Slag Concrete Using Phosphogypsum and Waste Lime as an Activator. Journal of asian architecture and building engineering. 2015. P. 189–195.
7. Liu D.-S., Wang C.-Q., Mei X.-D., Zhang C. An effective treatment method for phosphogypsum. Environmental Science and Pollution Research. 2019. T. 26. № 29. P. 30533–30539.

8. Zhou J., Li X., Zhao Y., Shu Z., Wang Y., Zhang Y., Shen X. Preparation of paper-free and fiber-free plasterboard with high strength using phosphogypsum. Construction and Building Materials. 2020. № 243. P. 118091.
9. Rakhila Y., Mestari A., Azmi S., Elmchaouri A. Elaboration and characterization of new ceramic material from clay and phosphogypsum. Rasayan Journal of Chemistry. 2018. T. 11. № 4. P. 1552–1563.
10. Gu K., Chen B. Loess stabilization using cement, waste phosphogypsum, fly ash and quicklime for self-compacting rammed earth construction. Construction and Building Materials. 2020. № 231. P. 117195.
11. Cheremisinina O., Sergeev V., Fedorov A., Alferova D., Lukyantseva E. Recovery of rare earth metals from phosphogypsum-apatite ore sulfuric acid leaching product, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. № 19. P. 903–910.
12. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Золотухин М.Л., Шувяев Д.И. Безотходная технология переработки фосфогипса при добыче редкоземельных металлов // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2019. С. 50–51.
13. Podolyanets L.A. Economical assessment of comprehensive mineral processing of phosphogypsum with rare earth elements' extraction. Opcion, 2018. № 34. P. 1491–1508.
14. Туболкин А.Ф. Производство без отходов. Л.: Знание, 1980. 32 с.
15. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 464 С.
16. Терехов А.В., Варламов В.П. Искусственный гипсовый камень из активированного фосфогипса // Строительные материалы. 1985. Вып. 2. С. 22–24.
17. Потапов Ю.Б., Золотухин С.Н., Семенов В.Н. Процессы структурообразования и технология получения безобжиговых вяжущих на основе фосфогипса дигидрата // Строительные материалы. 2003. Вып. 7. С. 37–39.
18. Зуев М.В., Мамаев С.А., Михеенков М.А., Степанов А.И. Композиционное водостойкое гипсовое вяжущее // Пат. 2505504 Российская Федерация, МПК C04B28/14, C04B7/14. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ЭВЕРЕСТ». 2014, Бюл. № 3.
19. Zolotukhin S.N., Kukina O.B., Barabash D.E. Structure-forming role and properties of phosphogypsum in unburned technology of wall materials and rare-earth metals concentrate simultaneous production. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 687. P. 022028.
20. Zolotukhin S.N., Kukina O.B., Mishchenko V.Ya., Larionov S. Waste-free phosphogypsum processing technology when extracting rare-earth metals / In the collection: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018 Sep. «Advances in Intelligent Systems and Computing» Editors – Vera Murgul, Marco Pasetti. 2018. P. 339–351.
21. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А., Савенкова Е.А., Соловьева Е.А., Новикова К.К. Бесцементные безобжиговые строительные материалы с использованием фосфогипса // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. № 1. С. 115–121.