УДК 614.776:
504.064:
631.86

М.Д. Молев, И.А. Занина, Н.И. Стуженко

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОБНОЙ БИОКОНВЕРСИИ

Рассмотрена проблема переработки отходов производства на стадиях строительства, эксплуатации и ликвидации угольных шахт России. Обоснованы технологии переработки отходов, в том числе для получения энергоресурсов на основе моделирования. Показана возможность реализации инновационной методики переработки угольных отходов с использованием биоценоза. Подробно изложены вопросы трансформации техногенных отходов в энергоресурсы путем анаэробной биоконверсии. Представлены результаты натурных экспериментов и программа переработки материалов на стадии промышленной эксплуатации.
Ключевые слова: утилизация, техногенные ресурсы, угольные отходы, биоконверсия, моделирование, биотехнология, биоценоз.

Ликвидация угольных предприятий неразрывно связана с необходимостью хранения и переработки углесодержащих отходов, требующих существенных материальных затрат, и приводит к долговременному негативному влиянию на экологическую систему угледобывающих регионов. Здесь уместно указать, что в отвалах угольных шахт, хранилищах шламов и хвостов горно-металлургических комплексов России хранится до 100 млрд т твердых отходов и ежегодно к ним добавляется около 15 млн т [1]. Одним из перспективных направлений переработки угольных материалов является использование биотехнологических процессов.

Указывая на возрастающий биотехнологический потенциал консорциумов микроорганизмов в различных отраслях экономики, видный ученый в области биотехнологии Г.А. Заварзин отмечал: «Самые осторожные оценки приводят к выводу, что производства, основанные на применении микробных сообществ, в десятки раз превосходят по экономической значимости производства, основанные на чистых культурах» [2].

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 155–160.
© 2017. М.Д. Молев, И.А. Занина, Н.И. Стуженко.

В данной работе приводятся исследования, направленные на формирование консорциума микроорганизмов для биотрансформации углеотходов в биогаз и органо-минеральные удобрения).

В процессе добычи угля происходит спонтанное развитие других форм микрофлоры, приводящее к некоторому химическому и структурному преобразованию [3–5]. Интенсификацию таких процессов с целью биотрансформации угля можно осуществить путем развития активных по отношению к углю форм микрофлоры. Анаэробный метаногенный консорциум смешанных культур микроорганизмов является наиболее приемлемым «инструментом» для деструкции органического вещества угля.

В процессе экспериментальных исследований биоконверсии авторами был обоснован выбор биоценозов и анаэробных метаногенных ассоциаций, которые наиболее эффективно осуществляют преобразование угольных отходов в биогаз. В результате опытных работ были выбраны следующие культуры: Clostridium themocellum + Methanobacterium thermoformiclum; Ps.aeruginosa + B.megaterium + M. Omelianskii + Ms. Methanica, а также анаэробный консорциум. При утилизации угля марки «антрацит» посредством использования указанных культур и анаэробного консорциума метантенка максимальная концентрация метана достигала 25%. Предварительная аэробное преобразование угля культурой гриба Asp.niger с дальнейшей метанизацией этими культурами дало возможность поднять выход чистого метана до 65% при биоконверсии бурого угля. В случае использования в качестве исходного вещества антрацита аналогичный показатель составил 30%. При этом производительность по метану составила соответственно: для бурого угля 0,337 $м^3$/т сут; для антрацита – 0,586 $м^3$/т сут. Степень биоконверсии органической составляющей угольных отходов изменяется от 3,27 до 10,22% (при утилизации антрацита) и от 4,89 до 12,2% (в случае бурого угля).

Из литературных источников известно, что анаэробная биоконверсия сложных органических субстратов проходит три этапа: гидролиз, ацидогенез и метанообразование. За каждую стадию отвечает строго определенная группа микроорганизмов. Так, группа гидролитических бактерий обеспечивает начальный гидролиз сложных субстратов до низкомолекулярных органических соединений. Следующую группу составляет ацидогенные бактерии (Clostridium, Pseudomonas, Baccilus), продуцирующими уксусную кислоту и водород.

Стадия метаногенерации осуществляется непосредственно семейством бактерий Methanobacteriaceae. При недостаточной активности метаногенов-хемолитотрофов и при избытке органического субстрата значительно увеличивается количество ионов водорода, инициируя деятельность ацидогенов. Целесообразность разделения стадий процесса для представителей анаэробного сообщества микроорганизмов была подтверждена результатами анализа экспериментов. После фильтрации через предварительно обработанный раствором едкого натрия антрацит вновь возвращался в первый сосуд. При культивировании бактерий на образцах отходов в течение двадцати суток концентрация метана достигала 35,25%.

В рамках проведения эксперимента было также изучено воздействие химических реагентов на угольный субстрат. Анализ представительной выборки опытов (35 испытаний) показал, что положительные результаты достигаются в случае обработки растворами едкого натра NaOH и температурного гидролиза в растворе едкого калия KOH [6]. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании 5% раствора NaOH.

Как показала практика, при переходе от малых (опытных) объемов к промышленным масштабам скорость и интенсивность биохимических реакций может претерпевать значительные изменения. В рамках разработки промышленных технологий переработки отходов были проведены натурные эксперименты с использованием принципов моделирования и системного анализа [7–9]. Указанные исследования были осуществлены для двух групп культур: Ps.aeruginosa + B.megaterium + M. Omelianskii + +Ms. Methanica и метаногенного консорциума метантенка. Эксперимент производился двумя способами: перманентным путем и с разделением стадий. Второй способ культивирования бактерий был использован для метаногенной ассоциации.

Натурные исследования первым способом проводились в специальном «реакторе» объемом 3 м^3; при разделении стадий объем первого «реактора» составил 2 м^3, второго – 3 м^3. При этом в случае непрерывного процесса утилизации подвергалось 675 кг антрацита, во втором – 320 кг исходного материала. В технологическом цикле промышленной биопереработки использовался так называемый инокулят с удельным содержанием сырой биомассы 0,04 г/л. Исходная водоугольная смесь была сформирована из следующих компонентов: твердая фаза (уголь) 40%, жидкая фаза – 60%, в которой инокулят бактерий (водоугольная суспензии) составлял до 30%, остальное вода и корректирующие

добавки минеральных соединений. Начальная концентрация микроорганизмов при выполнении опытов по технологии второго типа (с разделением стадий) составляла 0,015 г/л.

При разделении стадий процесса средняя концентрация метана составила 20%, производительность по метану 0,204 $м^3$/т в сутки. Результаты опытов по технологии совместного культивирования кислотообразующей и метаногенной микрофлоры характеризуются средней концентрацией метана 12–17% и производительностью по метану 0,138–0,155 $м^3$/т в сутки.

Из анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований следуют два важных практических вывода:

а) наиболее перспективным способом переработки угольных отходов в промышленных масштабах является микробная биоконверсия отходов с разделением стадий (раздельным культивированием микрофлоры);

б) оптимизация технологии переработки в зависимости от вида углеотходов должна в обязательном порядке производиться методом моделирования на основе выбора наиболее активного биоценоза микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голик В. И.*, *Масленников С. А.*, *Прокопов А. Ю.*, *Базавова О. В.* Обеспечение экологической безопасности техногенных отходов // Научное обозрение. – 2014. – № 9. – С. 726–729.

2. *Заварзин Г. А.* Перспективы использования в промышленности анаэробных микроорганизмов // Биотехнология. – 1985. – № 2. – С. 122–127.

3. *Занина И. А.*, *Похлебин А. В.* Биоконверсия углей высокой стадии метаморфизма / Глобальные и локальные экологические проблемы угледобывающей промышленности: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Новочеркасск, 2001. – С. 66–69.

4. *Голик В. И.*, *Комащенко В. И.*, *Масленников С. А.*, *Страданченко С. Г.* Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 91–95.

5. *Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A.* Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International journal of applied engineering research. 2015. Vol. 10, № 15. pp. 35410–35416.

6. *Занина И. А.* Биоутилизация углеотходов в энергоносители путем микробной конверсии / Экологические проблемы биодеградации промышленных, строительных материалов и отходов производств: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2001. – С. 124–126.

7. *Molev M. D.*, *Stradanchenko S. G.* and *Maslennikov S. A.* Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineer and Applied Sciences. 2015. V. 10, N. 16. pp. 6787–6792.

8. *Кузнецов К. К.* Имитационное моделирование взаимосвязи инициаторов высокотехнологичных инноваций // Инженерный вестник Дона, 2009, № 1, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.

9. *Молев М. Д.*, *Занина И. А.*, *Стуженко Н. И.* Синтез прогнозной информации в практике оценки эколого-экономического развития региона // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2013/1993/. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Молев Михаил Дмитриевич[1] – доктор технических наук, профессор, e-mail: molev_md@mail.ru,
Занина Ирина Алексадровна[1] – кандидат технических наук, доцент,
Стуженко Наталья Игоревна[1] – старший преподаватель,
[1] Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета экономики и сервиса в г. Шахты.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 155–160.

UDC 614.776: 504.064: 631.86

M.D. Molev, I.A. Zanina, N.I. Stuzhenko

CURRENT APPROACHES TO UTILIZATION OF INDUSTRIAL WASTES USING MICROBIAL BIOCONVERSION

The article is devoted to the problem of waste production during construction, operation and liquidation of coal mines of Russia. This work suggests that waste recycling technologies, including for reception of energy based on the modeling. The possibility of realization of innovative methods of processing coal waste using biocenosis. Detailed questions of the transformation of industrial waste into energy through anaerobic bioconversion. Presents the results of field experiments and the recycling of materials at the stage of commercial operation.

Key words: recycling, industrial resources, coal waste, bioconversion, modeling, biotechnology, biocenosis.

AUTHORS

Molev M.D.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: molev_md@mail.ru,
Zanina I.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Stuzhenko N.I.[1], Senior Lecturer,
[1] Institute for Service Sector and Entrepreneurship (branch)
Don State Technical University in Shakhty,
346500, Shakhty, Russia.

REFERENCES

1. Golik V. I., Maslennikov S. A., Prokopov A. Yu., Bazavova O. V. *Nauchnoe obozrenie*. 2014, no 9, pp. 726–729.

2. Zavarzin G. A. *Biotekhnologiya*. 1985, no 2, pp. 122–127.

3. Zanina I. A., Pokhlebin A. V. *Global'nye i lokal'nye ekologicheskie problemy ugledobyvayushchey promyshlennosti: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*

(Global and Local Environmental Challenges in Coal Mining: All-Russian Scientific-and-Practical Conference Proceedings), Novocherkassk, 2001, pp. 66–69.

4. Golik V. I., Komashchenko V. I., Maslennikov S. A., Stradanchenko S. G. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 9, pp. 91–95.

5. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite. *International journal of applied engineering research*. 2015. Vol. 10, no 15, pp. 35410–35416.

6. Zanina I. A. *Ekologicheskie problemy biodegradatsii promyshlennykh, stroitel'nykh materialov i otkhodov proizvodstv: Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Environmental Issues of Biodegradation of Industrial and Building Materials and Production Waste: III All-Russian Scientific-and-Practical Conference Proceedings), Penza, 2001, pp. 124–126.

7. Molev M. D., Stradanchenko S. G.,Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARPN Journal of Engineer and Applied Sciences*. 2015, vol. 10, no 16. pp. 6787–6792.

8. Kuznetsov K. K. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2009, no 1, available at: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.

9. Molev M. D., Zanina I. A., Stuzhenko N. I. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2013, no 4, available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2013/1993/.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАСЧЕТ ЖЕСТКОЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ КРЕПИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Кондратенко Валерий Ерофеевич[1] – кандидат технических наук, доцент,
Девятьярова Виктория Викторовна[1] – доцент, e-mail: vikdev@yandex.ru,
[1] НИТУ «МИСиС».

Представлен расчет рамной трапециевидной крепи горизонтальной выработки. Расчетная схема крепи является статически неопределимой системой. Решение выполнено методом перемещений. Результаты расчета сопоставлены с полученным ранее решением, выполненным традиционным методом сил. Проведено сравнение трудоемкости решения задачи двумя основными методами.

Ключевы слова: крепь, горная выработка, метод перемещений, метод сил.

CALCULATION OF RIGID TRAPEZOIDAL LINING HORIZONTAL DISPLACEMENT GENERATION METHOD

Kondratenko V.E.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Devyatyarova V.V.[1], Assistant Professor, e-mail: vikdev@yandex.ru,
[1] National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The article presents the calculation of the horizontal frame trapezoidal lining production. Design scheme lining is statically indeterminate system. The decision is made by displacement. The calculation results are compared with the earlier decision, made by the traditional forces. A comparison of the complexity of solving the problem of two main methods.

Key words: lining, excavation, displacement method, the method of forces.