

3. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. Improvement of technologies and techniques of stump harvesting: monograph. M.: FLINTA: Science, 2013. 208 p.
4. Perspective aspects of technology and mechanization of loggings and forestry operations: text edition / I. M. Bartenev, M. V. Drapalyuk, V. I. Kazakov, P. I. Popikov. Voronezh, FGBOU VPO «VGLTA», 2014. 132 p.
5. Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals / V. N. Danilin, P. P. Isaev, G. G. Terekhov, I. A. Freiberg, S. V. Zalesov, V. N. Lugansk, N. A. Lugansky. Yekaterinburg: Ural. state leatehr. acad., 2001. 117 p.
6. Pozdnyakov E. V, Druchinin D.Yu. Modes and modern mechanical means for grubbing // Young scientist. 2013. №11. P. 173–176.
7. Kalinichenko N. P., Pisarenko A. I., Smirnov N. A. Reforestation on cuttings down. M.: Forestry Industry, 1973. 325 p.
8. Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A. Non-timber forest products. Yekaterinburg: Ural. state leatehr. univ, 2010. 480 p.
9. Nikonorov K. N. A mode and parameters justification of the device of a resinous wood cleaning with the pulse twirled hydraulic streams. dis. ... Ph.D. in Engineering Science. Yoshkar-Ola, 2015.
10. Dyomin K. A., Shegelman I. R., Karasyov V. P. The equipment and technology of the resinous wood mechanized harvesting. M.: Forestry Industry, 1988. 136 p.
11. Shegelman I. R. Technology and machinery of forest clearing with resinous wood harvesting for bio-energetics // Engineering bulletin of Don. 2012. №2. P. 475–478.

УДК 674.8

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

Ю. Л. ЮРЬЕВ,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой химической технологии древесины,
биотехнологии и наноматериалов
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37;
тел.: 8 (343) 262-97-72, e-mail: charekat@mail.ru

Ключевые слова: пиролиз древесины, древесный уголь, экологические проблемы пиролиза.

Проведен анализ истории производства древесного угля. На рубеже XIX–XX веков общий быстрый рост промышленности привел к спросу на жидкие продукты пиролиза. К тому времени была разработана технология получения кокса, и он в основном вытеснил древесный уголь из металлургии. Производители древесного угля постепенно нашли новые рынки сбыта, например, для производства сероуглерода в химической промышленности.

Производство древесного угля в России в последнее время неуклонно перемещается к источникам сырья, т.е. непосредственно на лесозаготовительные предприятия. Выпускаемый древесный уголь имеет как бытовое, так и промышленное применение.

Экологические проблемы, сопутствующие производству древесного угля, во многих случаях являются основным препятствием для его развития. Главную экологическую опасность представляют выбросы в атмосферу. Простейшим вариантом обработки парогазовой смеси является ее сжигание с целью обезвреживания и получения тепла.

Основной проблемой экономики пиролиза является поиск дешевого сырья, обеспечивающего выпуск продукции требуемого качества. Интерес здесь представляют древесные отходы, образующиеся

при лесозаготовках, лесопилении и деревообработке, часто отличающиеся от традиционного сырья только линейными размерами. Из дисперсного сырья получается мелкий и пылевидный древесный уголь низкой прочности, имеющий ограниченный рынок сбыта. Как правило, такой уголь брикетируют, получая продукт с необходимой прочностью. В этом случае добавляются затраты на брикетирование древесного угля.

THE DEVELOPMENT TRENDS OF TECHNOLOGIES OF PYROLYSIS OF WOOD

Yu. L. YURYEV,
doctor of technical sciences, Professor, head
of the Department of chemical technology of wood, biotechnology and nano-materials,
Ural State Forest Engineering University,
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirskiy Trakt, 37,
Tel.: 8 (343) 262-97-72, e-mail: charekat@mail.ru

Keywords: *pyrolysis of wood, charcoal, environmental problems of pyrolysis*

The analysis of the history of charcoal production. At the turn of the nineteenth and twentieth centuries the overall rapid growth in the industry has resulted in demand for liquid pyrolysis products. By the time the technology was developed by Coke, and he largely supplanted charcoal of metallurgy. Charcoal manufacturers gradually found new markets, for example, for the production of carbon disulfide in the chemical industry.

Charcoal production in Russia lately has steadily moved to sources of raw materials, i.e. directly to forest enterprises. Charcoal has domestic and industrial applications.

Environmental problems associated with the production of charcoal, in many cases, constitute a major obstacle to its development. The main environmental risk are emitted into the atmosphere. The simplest processing gas-vapor mixture is burning with the purpose of treating and heat.

The main problem is to find the pyrolysis economy cheap raw materials, providing the required quality of products. Interest here are wood waste from sawmills, often differ from traditional commodities only linear dimensions. From dispersed raw material turns out fine and powdered charcoal low strength, has a limited market. Small charcoal goes to production of briquettes. In this case, the added cost of briquetting charcoal.

Введение

Зарождение технологии древесного угля (ДУ) относится к бронзовому веку, так как первые металлы человечество выплавляло на древесном угле. Первоначально наиболее распространенным было углежжение в кучах, ямах и кострах. Качество получаемого ДУ сильно зависело от квалификации углежжогов и погодных условий. Кучное углежжение сохранилось до нашего времени в странах, где отсутствует экологическое законодательство, в основном в стра-

нах Африки [1]. Эта технология отличается простотой и отсутствием зависимости от поставок топлива, так как для обогрева используется тепло от сжигания части дров.

В более развитых странах к концу XIX века кучное углежжение трансформировалось в печное, где качество ДУ не зависит от погодных условий, процесс пиролиза более управляем, а получаемый ДУ не столь сильно загрязнен грунтом, как при кучном углежжении. Получаемый ДУ по-прежнему ис-

пользовался как восстановитель в металлургии или как бытовое топливо.

Результаты исследований

Как показал анализ научной и патентной информации, на рубеже XIX–XX веков общий быстрый рост промышленности привел к спросу на жидкие продукты пиролиза, такие как метанол, уксусная кислота и ее соли, ацетон (получали прокалкой уксуснокальциевого порошка) и смолопродукты, т.е. углежжение развилось в классический

пиролиз [2, 3]. Общая механизация технологий привела к тому, что стационарные печи начали заменяться на вагонеточные, где операции загрузки древесины и выгрузки ДУ были механизированы. К тому времени была разработана технология получения кокса, и он в основном вытеснил ДУ из металлургии. Спрос на ДУ упал, хотя он неизбежно получался при пиролизе. Производители ДУ постепенно нашли новые рынки сбыта, в основном в начавшей активно развиваться химической промышленности: производство искусственного шелка потребовало большого количества сероуглерода, получаемого реакцией между серой и древесным углем, а применение отравляющих веществ в первую мировую войну привело к изобретению противогазов, что послужило началом развития технологии активных углей.

Постепенно образовался технологический разрыв между развитыми странами (Северной Америкой, Западной Европой, Японией), где производство ДУ основано на использовании оборудования высокой удельной производительности, и остальным миром, где продолжительность производственного цикла достигает 10 сут. В частности, были разработаны и запатентованы аппараты шахтного типа с внутренним обогревом – реторта Рейхерта [4] и реторта Ламбиотта [5]. Кроме того, возросло значение наукоемких технологий переработки ДУ, так как получаемые при этом продукты (активные угли, ионообмени-

ки, древесно-угольные брикеты) получили обширный рынок сбыта.

К настоящему времени интерес к пиролизу как способу утилизации отходов растительного происхождения (биомассы) в России не ослабевает [6, 7]. В частности, Н. И. Богдановичем разработаны экологически безопасный процесс и технология термохимической переработки древесных и лигнинсодержащих отходов с получением сорбентов, пригодных для очистки сточных вод [8].

Аналогичная тенденция сохраняется в Европе [9, 10] и США [11–14]. При этом, как правило, предусматривается использование физического и химического тепла ПГС, образующейся при пиролизе. Такой подход кардинальным образом усиливает экологическую безопасность и энергоэффективность технологии.

Выход и качество древесного угля из древесины различных пород неодинаковы. Основной породой для производства древесного угля в России является береза. Отечественная техника для получения древесного угля предназначена прежде всего для переработки ствольной древесины и ее кусковых отходов с получением крупнокускового древесного угля. Основной промышленный потребитель такого ДУ – цветная металлургия [15, 16].

С начала 90-х годов структура техники, используемой для производства древесного угля, существенно изменилась. В связи с тем, что годовой объем лесозаготовок подавляющего чис-

ла действующих предприятий составляет тысячи или первые десятки тысяч кубометров, возникла необходимость создания пиролизных установок мощностью, как правило, от 100 до 1000 т древесного угля в год, т. е. обеспеченных собственным сырьем.

Физически и морально устаревшие печи Свердловспрома и вагонные горизонтальные реторты в настоящее время не применяются. Конкурентоспособность вертикальных шахтных реторт существенно упала, поскольку в среднем для работы одной реторты [17] необходимо иметь около 50 тыс. м³ древесины, что отсутствует на абсолютном большинстве лесозаготовительных предприятий. Производство древесного угля неуклонно перемещается к источникам сырья, т. е. непосредственно на лесозаготовительные предприятия.

Экологические проблемы, сопутствующие производству ДУ, во многих случаях являются основным препятствием для его развития. Главную экологическую опасность представляют выбросы в атмосферу.

В процессе пиролиза более 60% древесины переходит в парогазовую смесь (ПГС), представляющую собой смесь водяного пара, газов, паров органических веществ и мельчайших капель пиролизной смолы. Из более чем трехсот индивидуальных соединений, входящих в состав ПГС, только три не считаются вредными (вода, углекислый газ и водород), а остальные в разной мере опасны для

окружающей среды, в том числе для человека. Таким образом, основную экологическую опасность при пиролизе представляет ПГС.

Простейшим вариантом обработки ПГС является ее сжигание с целью обезвреживания и получения тепла.

Принципиально важным для развития технологии пиролиза на предприятиях малого и среднего бизнеса можно считать предложение Н. И. Богдановича и В. В. Ипатова использовать нижний вывод ПГС при внешнем обогреве реторты [18]. В случае внешнего обогрева проблем с утилизацией ПГС не возникает, в то время как при внутреннем обогреве ПГС разбавляется транзитным теплоносителем, что существенно снижает ее теплопроводную способность [19]. В дальнейшем это решение было успешно реализовано Ю. Д. Юдкевичем и др. [20, 21] в установках типа «Поликор» и «Эколон».

Другим вредным выбросом в атмосферу является древесно-

угольная пыль, образующаяся при обработке ДУ. Особенно много древесно-угольной пыли образуется при переработке разного рода древесных отходов, так как в этом случае ДУ получается мелким и пылевидным. Как ПГС, так и древесно-угольная пыль являются пожаро- и взрывоопасными и токсичными.

Главная статья затрат при пиролизе – затраты на сырье. Поэтому основной задачей экономики пиролиза является поиск дешевого сырья, обеспечивающего выпуск продукции требуемого качества. Интерес здесь представляют древесные отходы, образующиеся при лесозаготовках, лесопилении и деревообработке, часто отличающиеся от традиционного сырья только линейными размерами. Как правило, размеры отходов невелики и непостоянны, что требует приведения их в более однородное состояние, например в щепу определенного фракционного состава. При этом сырье становится дисперсным, что требует

применения специального оборудования для его переработки и хорошей газоочистки от древесно-угольной пыли.

Из дисперсного сырья получается мелкий и пылевидный ДУ низкой прочности, имеющий ограниченный рынок сбыта. Как правило, такой уголь брикетируют, получая продукт с необходимой прочностью. В этом случае добавляются затраты на брикетирование ДУ.

Выводы

Основными тенденциями развития пиролиза древесины в России можно считать следующие:

- перемещение производства древесного угля непосредственно к источникам сырья;
- резкое снижение экологической опасности технологии пиролиза древесины за счет организации сжигания парогазовой смеси;
- вовлечение в переработку древесных отходов и организацию производства древесно-угольных брикетов.

Библиографический список

1. Girard P. Charcoal production and use in Africa: what future? URL: <http://www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e10.htm>
2. Штафинский И. Сухая перегонка лиственных пород дерева. Крупно-заводское производство. Ярославль, 1914. 100 с.
3. Bunbury H. M. Destructive distillation of wood. N-Y., 1923. 320 p.
4. US 2202231. Process for the carbonization of wood and similar material / T. Reichert, B. Wald. May 28, 1940.
5. US 2289917. Process of continuous carbonization of cellulosic materials / A. Lambiotte. July 14, 1942.
6. Пат. 2166527 Российская Федерация, МПК⁷ С 10 В 53/02. Способ производства древесного угля и установка для производства древесного угля / В. Н. Пиялкин, Е. А. Цыганов, А. Г. Никифоров, И. Л. Зворыгин, Г. В. Плеханов, Е. П. Сухушин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «РАДУГА». № 2000102547/04; заявл. 01.02.2000; опубл. 10.02.01, Бюл. № 12. 3 с.: ил.

7. Пат. 2225428 Российская Федерация, МПК⁷ С 10 В 1/04. Способ получения древесного угля, тепловой энергии и горючего газа и устройство для его осуществления / В. В. Ипатов; заявитель и патентообладатель В. В. Ипатов. № 2002105873/15; заявл. 04.03.02; опубл. 10.03.04, Бюл. № 7. 3 с.: ил.
8. Богданович Н. И. Ресурсосбережение и повышение экологической безопасности предприятий химико-лесного комплекса с применением методов пиролиза: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03 / Богданович Николай Иванович. Архангельск, 1998. 56 с.
9. EP 2481788 Method of biomass fuel production from carbonaceous feedstock / A. Villemson, S. Villemson, M. Usenkov. Aug 01, 2012.
10. Stassen H. E. Developments in charcoal production technology. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm>
11. The Zen Of Charcoal: How Charcoal Is Made And How Charcoal Works. URL: http://www.amazingrubs.com/tips_and_technique/zen_of_charcoal.html
12. US 4926764. Method and device for manufacturing charcoal / Leroux et al. May 22, 1990.
13. US 20110008317. Charcoals / De Leij et al. Jan. 13, 2011.
14. US 20120125064. Biochar complex / Joseph et al. May 24, 2012.
15. US 8202400 Manufacture of charcoal / Elliott; A.Mark. June 19, 2012.
16. Справочник лесохимика / С. В. Чудинов, А. Н. Трофимов, Г. А. Узлов и др. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 272 с.
17. Юрьев Ю. Л. Пиролиз древесины. учеб. пособие / Урал. гос. лесотехн. акад. Екатеринбург, 1997. 99 с.
18. Пат. 1790209 Российская Федерация, МПК⁶ С 10 В 1/04, С 10 В 53/02. Установка для производства древесного угля / Н. И. Богданович, В. В. Ипатов; заявитель и патентообладатель Архангельский лесотехнический институт им. В. В. Куйбышева. № 4876827/15; заявл. 21.09.90; опубл. 27.11.95, Бюл. № 33. 3 с.: ил.
19. Корякин В.И. Исследования в области технологических процессов пиролиза древесины: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Корякин В. И. Л., 1978. 38 с.
20. Пат. 2150483 Российская Федерация, МПК⁷ С 10 В 53/02, С 10 В 1/04. Устройство для получения древесного угля / В. И. Ягодин, Ю. Д. Юдкевич, Л. В. Свирич; заявитель и патентообладатель В. И. Ягодин, Ю. Д. Юдкевич, Л. В. Свирич. № 99116075/12; заявл. 26.07.99; опубл. 10.06.2000, Бюл. № 16. 3 с.: ил.
21. Пат. 2355633 Российская Федерация, МПК⁸ С 01 В 31/08. Способ получения активированного угля / Ю. Д. Юдкевич, В. И. Коршиков; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Лонас технология». № 2007136971/15; заявл. 28.09.07; опубл. 20.05.09, Бюл. № 17. 3 с.: ил.

Bibliography

1. Girard P. Charcoal production and use in Africa: what future? URL: <http://www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e10.htm>
2. Shtafinskiy I. Dry distillation of hardwood. Large-scale factory production. Yaroslavl, 1914. 100 с.
3. Bunbury H. M. Destructive distillation of wood. N-Y., 1923. 320 p.
4. US 2202231. Process for the carbonization of wood and similar material / T. Reichert, B. Wald. May 28, 1940.
5. US 2289917. Process of continuous carbonization of cellulosic ethanol materials / A. Lambiotte. July 14, 1942.
6. Pat. Russian Federation, 2166527 МПК⁷ С 10 В 53/02. Charcoal production method and facility for the production of charcoal / V. N. Piyalkin, E. A. Tsyganov, A. G. Nikiforov, I. L. Zvorygin, G. V. Plekhanov,

E. P. Suhushin; the applicant and the patent owner limited liability company «Rainbow». № 2000102547/04; Appl. 01.02.2000; in English. 10.02.01, Director. № 12. 3 p.: ill.

7. Pat. Russian Federation, 2225428 MPK⁷ C 10 B 1/04. Way to charcoal, heat energy and fuel gas and device for its realization / V. V. Ipatov; applicant and patentee V. V. Ipatov. № 2002105873/15; Appl. 04.03.02; in English. 10.03.04, Director. № 7. 3 p.: ill.

8. Bogdanovich N. I. Resource saving and improving environmental safety chemical enterprises of forest complex using pyrolysis techniques: Diss ... Doct. Tech. Sc: 05.21.03 / Bogdanovich Nikolay Ivanovich. Arkhangelsk, 1998.56 s.

9. EP 2481788 Method of biomass fuel production from carbonaceous feedstock / A. Villemson, S. Villemson, M. Usenkov. Aug 01, 2012.

10. Stassen H. E. Developments in charcoal production technology. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm>

11. The Zen Of Charcoal: How Charcoal Is Made And How Charcoal Works. URL: http://www.amazingribs.com/tips_and_technique/zen_of_charcoal.html

12. US 4926764. Method and device for manufacturing charcoal / Leroux et al. May 22, 1990.

13. US 20110008317. Charcoals / De Leij et al. Jan. 13, 2011.

14. US 20120125064. Biochar complex / Joseph et al. May 24, 2012.

15. US 8202400. Manufacture of charcoal / Elliott; A. Mark. June 19, 2012.

16. Wood-chemistry directory / S.V. Chudinov, A. N. Trofimov, G. A. Uzlov etc. M.: forestry, 1987. 272 s.

17. Yuryev Y. L. Pyrolysis of wood. Stud. Manual / Ural State Forest Engineering Academy. Yekaterinburg, 1997. 99 p.

18. Pat. Russian Federation, 1790209 MPK⁶ C 10 B 1/04, with 10 in 53/02. Plant for the production of charcoal / N. I. Bogdanovic and V. V. Ipatov; applicant and patentee of the Arkhangelsk Forestry Engineering Institute V. V. Kuibyshev. № 4876827/15; Appl. 21.09.90; in English. 27.11.95, Director. № 33-3 p.: ill.

19. Koryakin V. I. Research in the field of technological processes of pyrolysis of wood: Autoref. Diss. Doc. Tech. Sc. L., 1978. 38 s.

20. Pat. Russian Federation, 2150483 MPK⁷ C 10 B 53/02, with 10 in 1/04. Device for charcoal / V. I. Yagodin, Yu. D. Yudkevich, L. V. Svirin; applicant and patentee V. I. Yagodin, Yu. D. Yudkevich, L. V. Svirin. № 99116075/12; Appl. 26.07.99; in English. 10.06.2000, Director. № 16. 3 s.: ill.

21. Pat. Russian Federation, 2355633 MPK⁸ C 01 B 31/08. Method of obtaining an activated charcoal / Yu. D. Yudkevich, V. I. Korshikov; applicant and patentee closed joint-stock company «Lonas technology». № 2007136971/15; Appl. 28.09.07; in English. 20.05.09, Director. № 17. 3 p.: ill.