

УДК: 662.936

UDC: 662.936

**ПИРОЛИЗ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ В
УГЛЕВЫЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**PYROLYSIS OF FOREST RESIDUES IN THE
CHARCOAL FURNACE**

Махмутов Рамиль Мухаметович
аспирант

Makhmutov Ramil Muhametovich
postgraduate student

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onuchin Evgeny Mikhailovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Медяков Андрей Андреевич
к. т. н.

Medyakov Andrei Andreevich
Cand.Tech.Sci.

Анисимов Павел Николаевич
аспирант

Anisimov Pavel Nikolaevich
postgraduate student

Марданов Азат Ринатович
студент
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Mardanov Azat Rinatovich
student
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola,
Russia*

В статье представлен вариант модернизации углевыжигательной печи для порубочных остатков, который позволяет ускорить процесс сушки за счет его форсирования. Получены зависимости, отражающие влияние температуры процесса сушки на тепловые потери печи и влияние объема загрузки и влажности исходного сырья на затраты топлива на весь процесс сушки

The article presents the modernization option of the forest residue furnace that allows speeding up the drying process by boosting it. The dependencies, reflecting the influence of the temperature of the drying process on the heat losses of the furnace and the effect of the load and the moisture content of the feedstock to the fuel consumption for the entire drying process, are presented in the article

Ключевые слова: ПИРОЛИЗНАЯ ПЕЧЬ,
ПРОЦЕСС СУШКИ, ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ,
ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА

Keywords: PYROLYSIS FURNACE, DRYING
PROCESS, HEAT LOSSES, FUEL CONSUMPTION

В настоящее время древесный уголь используется достаточно широко, в том числе не только в бытовых целях, но и в качестве биотоплива для производства энергии, в качестве восстановителя при производстве чугуна, при производстве кристаллического кремния и кремнистых сплавов. При этом теоретические основы процессов углежжения были заложены достаточно давно [1-3]. Также были разработаны различные конструкции углевыжигательных печей [4-11], обладающие своими преимуществами и недостатками. Однако до сих пор широкого распространения установки по производству угля в нашей стране не получили. Также важной проблемой лесозаготовительной отрасли является утилизация порубочных остатков. Использование для этих целей углевыжигательных печей позволяет не только утилизировать

значительные количества остатков, но и производить товарный продукт – древесный уголь. Для этих целей могут использоваться специальные автономные углевыжигательные установки, которые используют в качестве топлива порубочные остатки, при этом сырьем для угля должна являться высококачественная древесина лиственных или хвойных пород. В связи с этим задачи по повышению эффективности углевыжигательных установок являются актуальными.

Наиболее продолжительной и энергозатратной стадией в процессе пиролиза является стадия сушки древесины, которую в связи с этим можно модернизировать. Для этого в рамках представленной работы было необходимо произвести расчет потерь через ограждающие конструкции, рассчитать эффективность процесса сушки в зависимости от качества сырья, подобрать датчики температуры и влажности, вентилятор и воздушный клапан.

В качестве объекта модернизации была использована конкретная углевыжигательная печь, которая представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую металлическую «бочку» на двух опорах, наружным диаметром 2,2м и длиной 3м, со встроенной в неё топочной камерой. Корпус печи, топка, дверь люка и короб изготовлены из конструкционной углеродистой стали Ст3 толщиной 3мм. Снаружи печь обшита листовой сталью (жесть) толщиной 1мм. Обечайки корпуса соединены между собой двусторонними сварными швами, поверх которых установлены усиливающие бандажи (обручи из прямоугольной трубы сечением 40x20x2мм), придающие дополнительную прочность и жесткость конструкции корпуса и позволяющие обезопасить от повреждений в случае непредвиденного возрастания давления внутри ёмкости. Торцевые стенки также усилены ребрами из прямоугольной трубы такого же сечения. Параметры и характеристики печи представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры и характеристики печи

№ п/п	Наименование характеристики	Размерность	Величина	Примечание
1	Объем камеры пиролизной	м ³	10	
2	Фактически загружаемый объем дров	м ³	5-6	При соблюдении правил укладки
3	Продолжительность основного рабочего цикла	часы	Около 70	
4	Количество дров (расчетное), загружаемое в камеру пиролизную (дрова березовые)	кг	3135	Вес 1м ³ – 627кг (береза, влага 25%)
5	Количество (теоретическое) древесного угля (березового), получаемое из одной загрузки	кг	810	При соблюдение техпроцесса
6	Габаритные размеры базовой модели печи: 1. длина 2. высота общая (с учетом трубы) 3. высота без учета трубы 4. ширина печи	м м м м	3 2,7 2,1 2,1	
7	Вес конструкции печи	кг	1500	

В представленную установку в рамках модернизации планируется установить высокотемпературные датчики температуры (термометр сопротивления LTS производства KOBOLD [12]) и влажности (гигрометра серии HygroFlex [13]), вентилятор (радиальный вентилятор низкого давления ВР 85-77 [14]) и приточный воздушный клапан.

После выполнения монтажа вышеперечисленных датчиков и приборов установка будет выглядеть в соответствии с чертежом, представленным на рисунке 1, и работать согласно блок-схеме, представленной на рисунке 2.

В начале, производится загрузка сырья, закрытие пиролизной камеры и задвижек, растапливание топочной камеры. Далее включается вентилятор, температура в пиролизной камере, контролируемая с помощью термометра сопротивления, начинает увеличиваться до требуемой ($t_{\text{суш}}$) с учетом положительной уставки 10 °С, после чего

открывается приточный клапан и температура в пиролизной камере понижается до отметки до требуемой ($t_{\text{суш}}$) с учетом отрицательной уставки $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этого приточный клапан закрывается и температура в пиролизной камере снова начинает расти. Цикл повторяется до тех пор пока, влажность на установленном на выходной трубе гигрометре не достигнет требуемой отметки ($W_{\text{треб}}$). Затем происходит отключение вентилятора, отсоединение дымовой трубы от пиролизной камеры и закупорка технологических отверстий и приточного клапана, непосредственный пиролиз, прокалка и охлаждение угля.

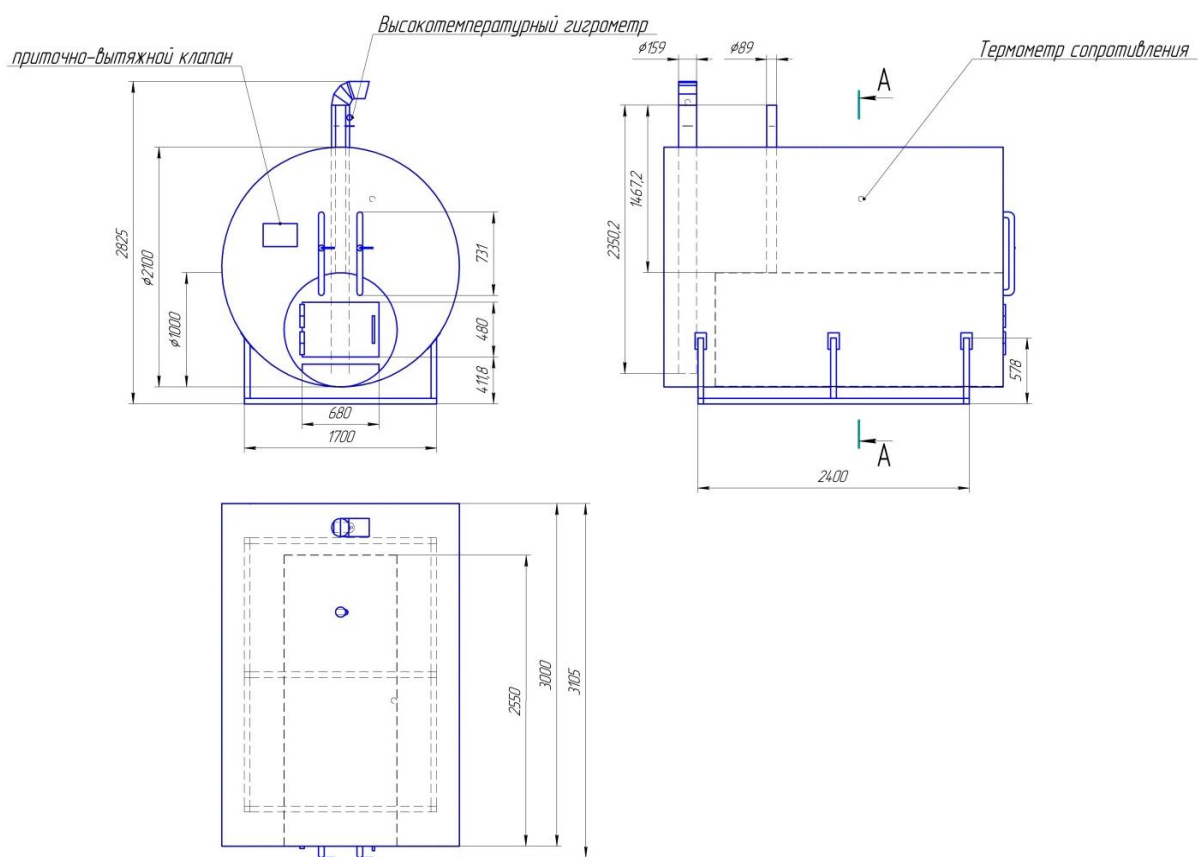


Рисунок 1 – Чертеж углевыжигательной печи после модернизации

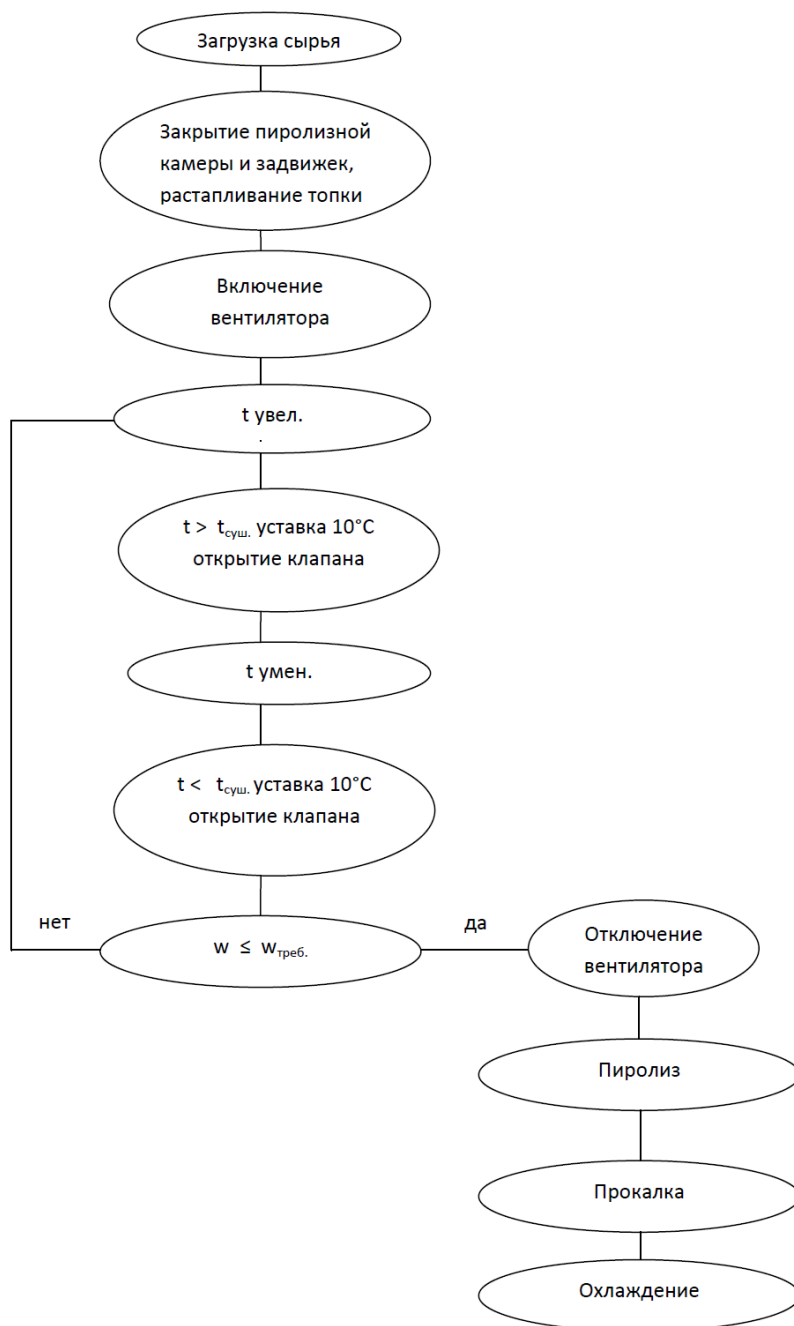


Рисунок 2 – Схема работы углевыжигательной печи после модернизации

Для определения потерь через ограждающие конструкции в процессе сушки был выполнен расчет в среде Microsoft Excel. Ниже представлен расчет для температуры сушки $t_2=50\text{ }^\circ\text{C}$.

1) Определяем наружную площадь печи, $S, \text{ м}^2$

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R(l + R),$$

где l – длина печи, м; R – радиус печи, м;

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot (3 + 1,05) = 26,7 \text{ м}^2.$$

2) Находим коэффициент теплопередачи, k , Вт/(м²·К)

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{d_1}{(1000 \cdot q_{\text{ст}})} + \frac{d_3}{(1000 \cdot q_{\text{в}})} + \frac{d_2}{(1000 \cdot q_{\text{ст}})} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}\right)},$$

где d_1 – толщина внутренней стенки печи, сталь, мм; d_2 – толщина обшивки печи, мм; d_3 – толщина воздушной прослойки, мм; $q_{\text{ст}}$ – теплопроводность стали, Вт/(м·К); $q_{\text{в}}$ – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К); $\alpha_{\text{н}}$ – теплоотдача к наружному воздуху, Вт/(м²·К); $\alpha_{\text{в}}$ – теплоотдача к внутренней стенке печи, Вт/(м²·К);

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{3}{(1000 \cdot 47)} + \frac{5}{(1000 \cdot 0,022)} + \frac{1}{(1000 \cdot 47)} + \frac{1}{8}\right)} = 2,0949 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}.$$

3) Определяем теплотери через ограждающие конструкции, q , Вт

$$q = k \cdot S \cdot (t_2 - t_1),$$

где t_1 – температура окружающего воздуха, °С; t_2 – температура процесса сушки, °С;

$$q = 2,0949 \cdot 26,7 \cdot (50 - 20) = 1678,015 \text{ Вт}.$$

Результаты расчета для различных режимов сушки представлены в виде графика на рисунке 3.

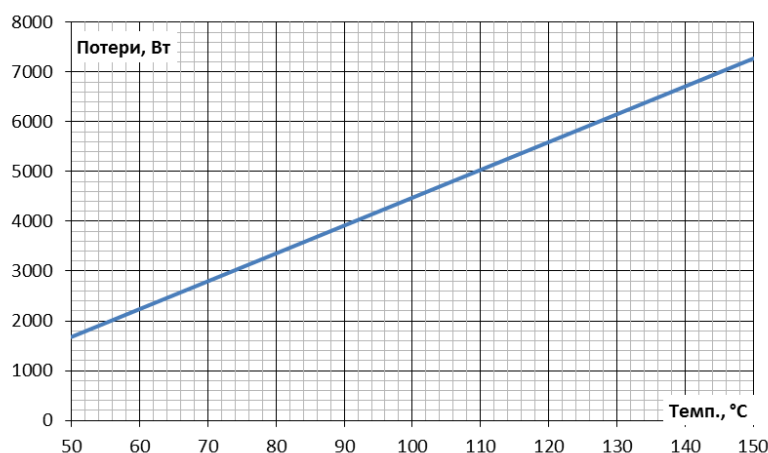


Рисунок 3 - График потерь через ограждающие конструкции в процессе сушки

Также для определения потребностей в топливе на процесс сушки был выполнен расчет в среде Microsoft Excel. Ниже представлен расчет для объема загрузки сушилки $V = 0,5 \text{ м}^3$ и влажности сырья $W = 15\%$.

1) Определяем теплоемкость березы с учетом влажности, $c_{бw}$, кДж/(кг·°С)

$$, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С)},$$

где W – влажность исходного сырья, %; c_b – теплоемкость березы, кДж/(кг·°С); c_w – теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

$$\text{кДж/(кг} \cdot \text{°С)}.$$

2) Находим массу загруженного сырья, $m_{зс}$, кг

$$, \text{ кг},$$

где V – объем загрузки сушилки, м^3 ; ρ_b – плотность сырья березы, кг/м^3 ;

$$\text{кг}.$$

3) Находим теплоту нагрева древесины до температуры испарения, Q_n , кДж

$$, \text{ кДж},$$

где $t_{зд}$ – температура загруженной древесины, °С;

$$Q_n = 313,5 \cdot 1,956 \cdot (100 - 20) = 49056,48 \text{ кДж}$$

4) Определяем теплоту испарения влаги из древесины, $Q_{исп}$, кДж

$$, \text{ кДж},$$

где L – теплота парообразования воды, кДж/кг;

$$\text{кДж}.$$

5) Определяем суммарную теплоту на сушку с учетом КПД сушки, $Q_{суш}$, кДж

$$, \text{ кДж},$$

где η – КПД сушки, %;

кДж.

6) Находим потери теплоты теплопроводностью через наружную поверхность, J , кДж

$$J = \lambda \cdot T \cdot 60 \cdot \frac{60}{1000}, \text{ кДж}$$

где T – продолжительность сушки, ч;

$$J = 2138,01875 \cdot 48 \cdot 60 \cdot \frac{60}{1000} = 1416223,62 \text{ кДж.}$$

7) Рассчитываем суммарные затраты теплоты на сушку с учетом КПД и потерь через ограждения конструкции, G , кДж

, кДж,

$$G = 449182,8 + 1416223,62 = 1865406,42, \text{ кДж.}$$

8) Находим затраты топлива на сушку, M , кг

, кг,

где Q_c – теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$$M = \frac{1865406,42}{15900} = 117,321, \text{ кг.}$$

Результаты расчета для различных объемов загрузки камеры и влажности исходного сырья представлены в виде трехмерного графика на рисунке 4.

Таким образом, в рамках работы представлен вариант модернизации углевыжигательной печи, который позволяет ускорить процесс сушки за счет его форсирования. Также получены зависимости, отражающие влияние температуры процесса сушки на тепловые потери печи и влияние объема загрузки и влажности исходного сырья на затраты топлива на весь процесс сушки. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности работы углевыжигательной печи после модернизации.

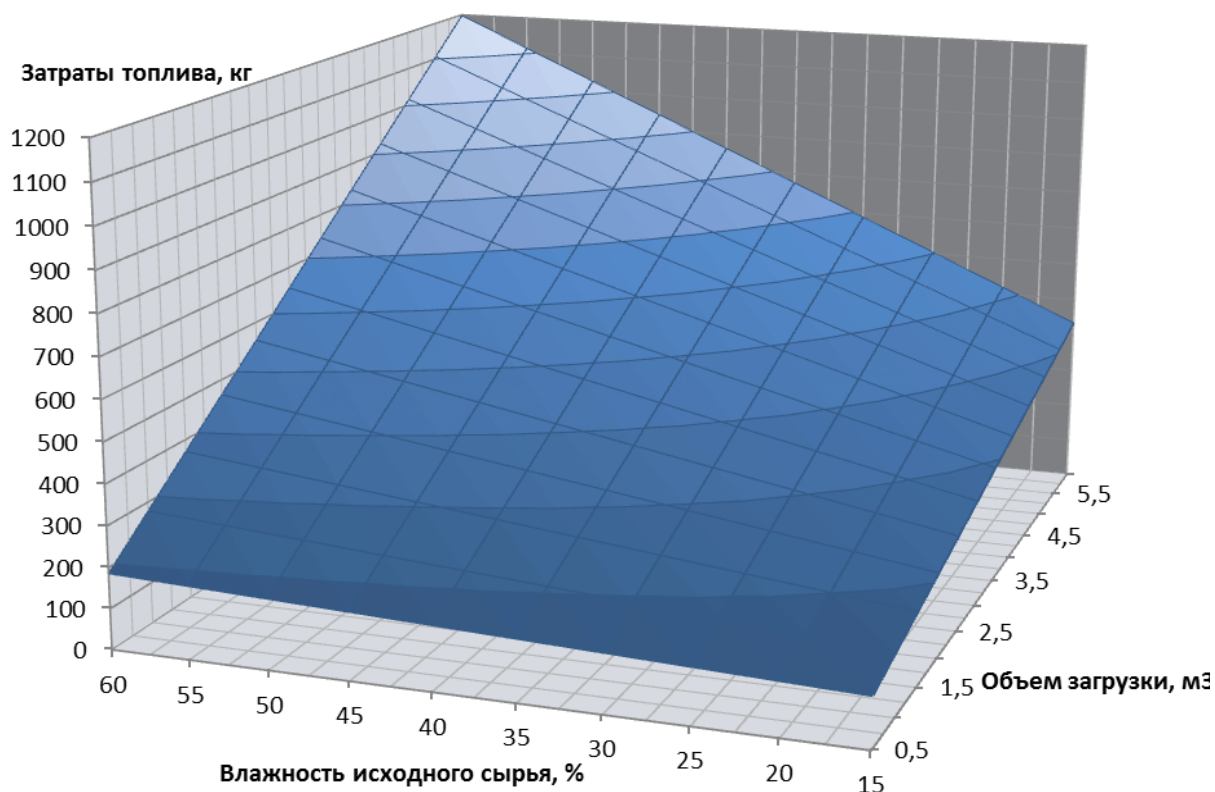


Рисунок 4 - Результаты расчета потребностей в топливе на процесс сушки в зависимости от влажности сырья и объема загрузки

Библиографический список

1. Богданов, Е.С. Справочник по сушке древесины / Е. С. Богданов, В. А. Козлов, Н. Н. Пейч. – М.: Лесная промышленность, 1981. - 191с..
2. Козлов, В. Н. Технология пирогенетической переработки древесины / В. Н. Козлов, А. А. Нивицкий. – М.: Гослесбумиздат, 1954. - 128с.
3. Мухина Т. Н. Пиролиз углеводородного сырья / Т. Н. Мухина, Н. Л. Барабанов, С. Е. Бабаш. — М.: Химия, 1987. – 240 с.
4. Пиролиз ЭКО [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pirolizeco.ru/kratkaya-istoriya-piroliza/>, свободный.
5. Традиционные и современные технологии производства древесного угля – [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://pelleta.com.ua/tradicionnye-i-sovremennye-technologii-proizvodstva-o2517.html>, свободный.
6. Производство древесного угля, пиролиз древесины. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.fierdragon.ru/piroliz_drevesini.html, свободный.
7. Печи Кузнецова. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://stove.ru/index.php?lng=&rs=124>, свободный.
8. Углевыхигательная печь УП«ЕВРО». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://uglezhog.ru/products/2008-12-22-10-52-09/rus/>, свободный.
9. Установка для углежжения с поворотными ретортами. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://blago-tt.ru/perspektivnye-razrabotki/ustanovka-dlya-uglezhzheniya-s-povorotnymi-retortami>, свободный.
10. Углевыхигательные печи малого объема [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://лес-вологдчины.рф/uglevyzhigatelnye-pechi-malogo-obema>, свободный.

11. Патент на изобретение 2235752 Российская Федерация, МПК51 C10B53/02 (2006/01) Печь углевыжигательная с регулятором теплового потока / Бакаев В.В., Рубцов Ю.В., Соловьев В.А., Гудим А.С.; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т. – № 2003115483/15; заявл. 23.05.2003; опубл. 10.09.2004.

12. КИПИНФО Каталог приборов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kipinfo.ru/pribori/4820/>, свободный.

13. Промышленные высокотемпературные гигрометры серии HygroFlex. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.technoac.ru/product/hygrometer/hygroflex>, свободный.

14. Вентиляторы радиальные низкого давления ВР 85-77 исп.1 (ВР 80-75) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tayra.ru/production/5916037/5919824/5916064/5916038/>, свободный

References

1. Bogdanov, E.S. Spravochnik po sushke drevesiny / E. S. Bogdanov, V. A. Kozlov, N. N. Pejch. – М.: Lesnaja promyshlennost', 1981. - 191s..

2. Kozlov, V. N. Tehnologija pirogeneticheskoy pererabotki drevesiny / V. N. Kozlov, A. A. Nivickij. – М.: Goslesbumizdat, 1954. - 128s.

3. Muhina T. H. Piroliz uglevodorodnogo syr'ja / T. H. Muhina, N. L. Barabanov, S. E. Babash. — М.: Himija, 1987. – 240 с.

4. Piroliz JeKO [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://pirolizeco.ru/kratkaya-istoriya-piroliza/>, svobodnyj.

5. Tradicionnye i sovremennye tehnologii proizvodstva drevesnogo uglja – [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://pelleta.com.ua/tradicionnye-i-sovremennye-texnologii-proizvodstva-o2517.html>, svobodnyj.

6. Proizvodstvo drevesnogo uglja, piroliz drevesiny. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: http://www.fierdragon.ru/piroliz_drevesini.html, svobodnyj.

7. Pechi Kuznecova. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://stove.ru/index.php?lng=&rs=124>, svobodnyj.

8. Uglevyzhigatel'naja pech' UP«EVRO». [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://uglezhog.ru/products/2008-12-22-10-52-09/rus/>, svobodnyj.

9. Ustanovka dlja uglezhzhenija s povorotnymi retortami. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://blago-tt.ru/perspektivnye-razrabotki/ustanovka-dlya-uglezhzheniya-s-povorotnymi-retortami>, svobodnyj.

10. Uglevyzhigatel'nye pechi malogo ob#ema [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://les-vologodchiny.rf/uglevyzhigatelnye-pechi-malogo-obema>, svobodnyj.

11. Patent na izobretenie 2235752 Rossijskaja Federacija, МПК51 C10B53/02 (2006/01) Pech' uglevyzhigatel'naja s reguljatorom teplovogo potoka / Bakaev V.V., Rubcov Ju.V., Solov'ev V.A., Gudim A.S.; zajavitel' i patentoobladatel' Komsomol'skij-na-Amure gos. tehn. un-t. – № 2003115483/15; zajavl. 23.05.2003; opubl. 10.09.2004.

12. KIPINFO Katalog priborov [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://kipinfo.ru/pribori/4820/>, svobodnyj.

13. Promyshlennye vysokotemperaturnye gigrometry serii HygroFlex. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.technoac.ru/product/hygrometer/hygroflex>, svobodnyj.

14. Ventiljatory radial'nye nizkogo davlenija VR 85-77 isp.1 (VR 80-75) [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.tayra.ru/production/5916037/5919824/5916064/5916038/>, svobodnyj