

DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-5
УДК 674.047.3

© Синицын Н.Н., Телин Н.В., Виноградова М.С., Гаркавченко Э.В.,
Гневашева Т.В., Кузнецова В.П., Павлова А.И., 2017

Синицын Николай Николаевич

Доктор технических наук, профессор,
Череповецкий государственный университет
(Череповец, Россия)
E-mail: sinitsyn@chsu.ru

Sinitsyn Nikolay Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: sinitsyn@chsu.ru

Телин Николай Владимирович

Доктор технических наук, профессор,
Череповецкий государственный университет
(Череповец, Россия)
E-mail: telin_nv@mail.ru

Telin Nikolay Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: telin_nv@mail.ru

Виноградова Мария Сергеевна

Инженер, ООО «Северсталь-проект»
(Череповец, Россия)
E-mail: mashkavinog@rambler.ru

Vinogradova Maria Sergeyevna

Engineer, ООО "Severstal-project"
(Cherepovets, Russia)
E-mail: mashkavinog@rambler.ru

Гаркавченко Элина Вадимовна

инженер, ПАО «Северсталь»
(Череповец, Россия)
E-mail: sawjstina@mail.ru

Garkavchenko Elina Vadimovna

Engineer, PJSC "Severstal"
(Cherepovets, Russia)
E-mail: sawjstina@mail.ru

Гневашева Татьяна Вадимовна

Инженер, ПАО «Северсталь»
(Череповец, Россия)
E-mail: tatyana_gnevasheva@mail.ru

Gnevacheva Tatyana Vadimovna

Engineer, PJSC "Severstal"
(Cherepovets, Russia)
E-mail: tatyana_gnevasheva@mail.ru

Кузнецова Виктория Павловна

Инженер, ПАО «Северсталь»
(Череповец, Россия)
E-mail: k_v_p95@mail.ru

Kuznetsova Victoria Pavlovna

Engineer, PJSC "Severstal"
(Cherepovets, Russia).
E-mail: k_v_p95@mail.ru

Павлова Алина Игоревна

Инженер, ООО «АВПоиск»
(Череповец, Россия)
E-mail: paw.lina2011@yandex.ru

Pavlova Alina Igorevna

Engineer, ООО "AVSearch"
(Cherepovets, Russia)
E-mail: paw.lina2011@yandex.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОЦЕНКА
ВРЕМЕНИ СУШКИ ДРЕВЕСНОЙ
КОРЫ ОТХОДЯЩИМИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ
ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ
КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ¹**

**INVESTIGATION
OF OPPORTUNITIES
AND EVALUATION OF TIME
OF WOOD CRUDE DRYING WITH
WASTE HIGH-TEMPERATURE
SMOKE GASES OF BOILER UNITS**

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-48-350810.

Аннотация. В данной работе предложена методика расчета времени сушки древесной коры в слоевой сушилке непосредственно перед ее сжиганием в котельном агрегате. Предложена методика расчета процесса сушки коры деревьев в плотном слое. Расчет процесса сушки слоя коры основан на известных решениях Шумана и Анцелиуса в интегральной форме. Представлены результаты зависимости времени сушки слоя древесной коры от температуры дымовых газов, скорости дымовых газов, толщины слоя. Получены зависимости времени сушки коры от толщины слоя, температуры и скорости движения высокотемпературных дымовых газов котельной. Предлагаемая методика позволяет согласовывать время сушки с ее расходом в котельном теплоагрегате деревоперерабатывающего предприятия.

Ключевые слова: Плотный слой, сушка, кора деревьев

Abstract. In this article a method for calculating the drying time of the bark in a layer dryer just before it is burned in a boiler unit is proposed. A method for calculating the drying process of tree bark in a dense layer is proposed. Calculation of the drying process of the cortical layer is based on the well-known integral form solutions of Schumann and Anceilius. The dependence of the time of drying of the tree crust layer on the temperature of the flue gases, the velocity of the flue gases, and the thickness of the layer is presented. Dependencies of drying time of the crust on the thickness of the layer, temperature and velocity of the high-temperature smoke gases of the boiler house are obtained. Suggested method allows to coordinate the drying time with its consumption in the boiler heat-generator of the wood processing enterprise.

Keywords: dense layer, drying, tree bark

Введение

Увеличение объема выпуска всех основных видов лесопромышленной продукции неизбежно приводит к увеличению объемов одного из множества побочных продуктов обработки и переработки древесины – коры. Процентное содержание коры в отходах деревообрабатывающих предприятий из года в год повышается. В настоящее время наиболее распространенным способом энергетического использования (утилизации) древесной коры является простое ее сжигание в топках котлов деревообрабатывающих предприятий. Основные трудности, возникающие при организации сжигания древесной коры в топках котлов, связаны с ее высокой влажностью (70...80 % и более) и неоднородностью гранулометрического состава. Высокая влажность коры существенно уменьшает теплоту сгорания, ухудшает процесс ее горения и повышает влажность отходящих дымовых газов. Сжигание влажной коры возможно только в слое определенной и значительной толщины, так как только внутри такого «толстого» слоя, особенно при нижнем зажигании, создается тепловой режим, обеспечивающий устойчивое ее горение. Это приводит к необходимости увеличения габаритов топочного устройства. Существенная неоднородность гранулометрического состава коры как топлива ограничивает выбор способа подачи ее в топку котлов.

Одним из основных путей повышения теплопроизводительности топочного устройства и увеличения КПД котла, работающего на древесной коре, является подсушка коры перед подачей ее в топку. Причем устойчивое сжигание древесной коры обеспечивается при ее относительной влажности 55–60 % [1]–[3]. Сжигание коры в топках котлов теплотехнически и экономически обосновано, если сушка коры осуществляется непосредственно перед подачей ее в топку за счет тепла дымовых газов котельной. Сушка коры непосредственно перед подачей ее в топку исключает вторичное повышение влажности коры при ее хранении, а высокотемпературный теплоноситель с начальной температурой до 900° С существенно сокращает время ее

сушки за счет высокой теплонапряженности сушильного пространства. Целью данной работы является исследование возможностей и оценка времени сушки древесной коры отходящими высокотемпературными дымовыми газами котельных агрегатов.

Основная часть

Сушка древесной коры предварительно перед топкой снижает ее влажность. При этом повышается теплотворная способность коры как топлива, так как влага (балласт) не попадает в топку в виде пара или влаги с топливом. В качестве сушильного агента можно применять дымовые газы котельной или автономной топки, в которой сжигается часть подсушенной коры. Экономичнее всего подсушку древесной коры осуществлять по разомкнутому циклу за счет тепла отработанных дымовых газов котла. Древесная кора в настоящее время, в основном, сжигается в слое, поэтому наиболее целесообразно предварительную подсушку коры осуществлять также в слоевых сушилках. Для этой цели могут использоваться одно- и двухпоточные слоевые каскадно-лотковые сушилки. Наименьшая степень измельчения коры требуется для сжигания ее слоевым способом. При слоевом сжигании необходимо только, чтобы размер кусков коры по длине не превышал 100 мм. Нагрев коры дымовыми газами одной стороны должен обеспечивать, с одной стороны, удаление из коры влаги, а с другой – исключать выход летучих веществ. Конечная температура нагрева коры, исключая выход летучих веществ, обеспечивается выбором температуры отходящих газов, скоростью их потока и временем нахождения слоя коры в сушильном пространстве.

Рассматривается процесс сушки слоя коры толщиной H . Температура коры в начальный момент времени постоянна и равна t'_M . Слой коры продувается дымовыми газами с начальной температурой $t'_Г$ со скоростью $\omega_{Г0}$. Для расчета времени сушки τ слоя древесной коры продуктами сгорания используются известные решения Шумана и Анцелиуса в интегральной форме. Эти решения позволяют находить температурное поле в нагреваемом движущемся плотном слое древесной коры, продуваемом потоком дымовых газов, и изменение температуры дымовых газов по толщине слоя коры в любой момент времени от начала сушки. Для случая, когда начальная температура слоя коры во всех точках слоя одинакова, а температура газов на входе в слой постоянна во времени, решение Шумана имеют вид:

$$\theta_M = (t_M - t'_M) / (t'_Г - t'_M) = e^{-Y} \cdot \int_0^Z e^{-\varepsilon} \cdot I_0(2\sqrt{Y \cdot \varepsilon}) d\varepsilon;$$

$$\theta_Г = (t_Г - t'_M) / (t'_Г - t'_M) = 1 - e^{-Z} \cdot \int_0^Y e^{-\varepsilon} \cdot I_0(2\sqrt{Z \cdot \varepsilon}) d\varepsilon,$$

где $t_Г$ и t_M – текущая температура газа и материала коры; $t'_Г$ и t'_M – начальная температура газа и материала коры; $Y = k_v \cdot h / C_Г \cdot \omega_{Г0}$ – безразмерная высота слоя коры; $Z = k_v \cdot \tau / C_M \cdot (1 - f)$ – безразмерное время; I_0 – функция Бесселя первого рода от мнимого аргумента; k_v – суммарный коэффициент теплопередачи; h – высота слоя коры; $C_Г$ и C_M – теплоемкость газа и материала коры; τ – время; $\omega_{Г0}$ – скорость потока газа (продуктов сгорания); f – порозность.

Для заданной конечной температуры нагрева и известной толщине слоя время сушки коры высокотемпературными продуктами сгорания определяется соотношением

$$\tau = Z \cdot (1 - f) / k_v.$$

Время сушки коры в основном определяется температурой дымовых газов, скоростью движения и толщиной слоя коры. Температура коры при ее сушке должна находиться в диапазоне 100–140°С. Нижняя граница температуры коры обеспечивает интенсивность сушки, а верхняя граница – исключает выход летучих. В табл. 1–3 приведены результаты расчета времени сушки слоя древесной коры высокотемпературными дымовыми газами. При проведении расчетов времени сушки коры варьировались температура газов, их скорость движения и толщина слоя коры.

Таблица 1

Зависимость времени сушки слоя древесной коры от температуры дымовых газов

Температура газов, °С	600	700	800
Время сушки, мин.	13,46	11,49	9,91

Примечание: $H = 0,35$ м; $\omega_{ГО} = 0,67$ м/с; $f = 0,41$

Из табл. 1 видно, что с повышением температуры газов время сушки коры уменьшается. Температура газов может регулироваться путем смешения их с атмосферным воздухом. Высота слоя коры, скорость движения газов принимались постоянными величинами.

Таблица 2

Зависимость времени сушки слоя древесной коры от скорости дымовых газов

Скорость газов, м/с	0,47	0,67	0,87
Время сушки, мин.	14,89	9,91	7,53

Примечание: $H = 0,35$ м; $t = 800$ °С; $f = 0,41$

Из табл. 2 видно, что с увеличением скорости газов время сушки коры уменьшается. Толщина слоя коры и температура газов принимались постоянными величинами.

Таблица 3

Зависимость времени сушки слоя древесной коры от толщины слоя

Высота слоя коры, м	0,15	0,25	0,35
Время сушки, мин.	4,21	6,77	9,91

Примечание: $t = 800$ °С; $\omega_{ГО} = 0,67$ м/с; $f = 0,41$

Из табл. 3 видно, что с увеличением толщины слоя время сушки коры увеличивается. Температура и скорость газов принимались постоянными величинами.

При проведении расчетов было принято: конечная температура сушки коры 140°С, начальная – 20°С; влажность коры начальная – 80 %, конечная – 60 %.

Результаты исследований закономерностей сушки древесной коры планируется использовать при обосновании:

- выбора технологии энергетического использования древесной коры;
- выбора и совершенствования технологии сушки древесной коры перед ее сжиганием.

Выводы

1. Рассмотрены основные особенности использования древесной коры как топлива.
2. Рассмотрены варианты сушки коры высокотемпературными отходящими дымовыми газами.

Литература

1. Головкин С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
2. Любов В.К., Любова С.В. Повышение эффективности энергетического использования биотоплив. Архангельск, 2010. 496 с.
3. Любов В.К. Энергетическое использование биотоплива. Архангельск: АГТУ, 2007. 56 с.

References

1. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naidenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow: Lesnaia promyshlennost', 1987. 224 p.
2. Liubov V.K., Liubova S.V. *Povyshenie effektivnosti energeticheskogo ispol'zovaniia biotopliv* [Increasing the efficiency of energy use of biofuels]. Arkhangel'sk, 2010. 496 p.
3. Liubov V.K. *Energeticheskoe ispol'zovanie biotopлива* [Energy use of biofuel]. Arkhangel'sk: AGTU, 2007. 56 p.

Синицын Н.Н., Телин Н.В., Виноградова М.С., Гаркавченко Э.В., Гневашева Т.В., Кузнецова В.П., Павлова А.И. Исследование возможностей и оценка времени сушки древесной коры отходящими высокотемпературными дымовыми газами котельных агрегатов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №6 (81). С. 39–43.

For citation: Sinitsyn N.N., Telin N.V., Vinogradova M.S., Garkavchenko E.V., Gnevacheva T.V., Kuznetsova V.P., Pavlova A.I. Investigation of opportunities and evaluation of time of wood crude drying with waste high-temperature smoke gases of boiler units. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 6 (81), pp. 39–43.