

УДК 674.8

UDC 674.8

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ
ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ С ВЫСОКОЙ
СТЕПЕНЬЮ ПОРАЖЕНИЯ ГНИЛЬЮ**

**MATHEMATICAL MODEL OF THE
PROCESS OF GRANULATION OF RAW
WOOD WITH A HIGH DEGREE OF
DAMAGE OF ROT**

Сидорова Елена Николаевна
аспирант
SidorovaEN@volgatech.net

Sidorova Elena Nikolaevna
postgraduate student
SidorovaEN@volgatech.net

Онучин Евгений Михайлович
к. т. н., доцент
SPIN-код=5242-8873
AuthorID=400607
OnuchinEM@volgatech.net

Onuchin Evgeny Mikhailovich
Cand. Tech. Sci., associate professor
RSCI SPIN-code=5242-8873
AuthorID=400607
OnuchinEM@volgatech.net

Медяков Андрей Андреевич
к. т. н., доцент
SPIN-код=5189-6826
AuthorID=707819

Medyakov Andrej Andreevich
Cand. Tech. Sci., associate professor
RSCI SPIN-код=5189-6826
AuthorID=707819

Ласточкин Денис Михайлович
к. т. н., доцент
SPIN-код=7597-7487
AuthorID=611230

Lastochkin Denis Mikhailovich
Cand. Tech. Sci., associate professor
RSCI SPIN-код=7597-7487
AuthorID=611230

Семенов Константин Денисович
аспирант
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Semenov Konstantin Denisovich
postgraduate student
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola
Russia*

Разработана математическая модель
определения температуры после прохождения
фильер матрицы пресс-гранулятора с учетом
потерь тепла через наружные поверхности

The article presents the mathematical model for
determining the temperature after passing trough
nozzles of press-granulator, which allows to take
into account heat loss through the exterior surface

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ, МАТРИЦА ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРА,
ДРЕВЕСНАЯ МУКА

Keywords: MATHEMATICAL MODEL, PRESS
GRANULATOR MATRIX, WOOD FLOUR

Введение

Целью данного исследования является определение температуры древесной муки с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора. Для достижения данной цели разработана математическая модель определения температуры после прохождения фильер матрицы пресс-гранулятора.

Состояние исследований и актуальность работы

В настоящее время на определенных территориях имеются ресурсы древесины, пораженной гнилью, которые можно вовлечь в экономический оборот и использовать в качестве сырья [1, 2]. Однако пока не предложено никаких путей его эффективного применения в промышленности. В данной работе предлагается использовать древесину, пораженную гнилью, в качестве сырья для изготовления топливных пеллет.

Пеллеты широко используются в зарубежной энергетике. Имеются отечественные разработки по совершенствованию технологии производства древесных гранул [3]. При производстве пеллет используются деловая древесина и отходы лесозаготовки и деревопереработки: кора, опилки, щепы и др. Но современная лесная промышленность испытывает дефицит древесины, годной для переработки, вследствие болезней леса, в частности поражения гнилью. По данным Центра защиты леса Республики Марий Эл на конец 2014 года остаются ослабленными насаждения в результате поражения: корневой губкой на площади 17,1 га (в т.ч. до степени гибели 0,2 га), смоляным раком – 479,1га, сосновой губкой – 46,2 га, бактериальными заболеваниями берёзы – 10,4 га (в т.ч. до степени гибели 2,3 га), трутовиком ложным осиновым – 99,9 га и трутовиком настоящим – 5,7 га.

Данные виды гнили относятся к коррозионному типу гниения, при котором в древесине происходит разрушение лигнина, выполняющего роль связующего вещества при гранулировании. В древесине хвойных пород содержится 23 – 38 % лигнина, в лиственных породах – 14 – 25 % от массы. В первую очередь лигнин влияет на качество гранул, а именно на их «крепость», или истираемость, соответственно на ценность для конечного потребителя. В связи с существенным уменьшением количества лигнина в ходе коррозионного гниения, возникает вопрос, каким образом сохранить качество пеллет при их изготовлении. Предлагается

использовать в качестве добавки технический лигнин, значительные запасы которого накоплены в отвалах целлюлозно-бумажных комбинатов. Его использование позволит упростить процесс производства пеллет и снизить температуру прессования до 50-70 градусов по Цельсию, что приведет к снижению себестоимости пеллетного производства. В работе [4] было высказано мнение, что использование технического лигнина позволит отказаться от процессов сушки и водоподготовки. Однако данное предположение не было подтверждено какими-либо экспериментальными данными. Теплотворная способность древесины сосны при атмосферной сушке на открытом воздухе под навесом составит 1622 ккал/дм^3 , так как при этом уровень влажности достигает 25%. Сушилка позволяет уменьшить влажность до 12%, а теплотворную способность соответственно повысить до 2080 ккал/дм^3 . С другой стороны, древесина со степенью влажности менее 8% плохо поддается гранулированию, поэтому ее необходимо увлажнять в процессе водоподготовки. Соответственно, для получения качественных пеллет нельзя полностью исключить процессы сушки и водоподготовки.

Поэтому не вызывает сомнения актуальность вопроса изготовления топливных пеллет из сырья с высокой степенью поражения гнилью.

Описание математической модели

Средняя температура древесной муки для пресс-грануляторов с цилиндрической матрицей, пресс-грануляторов с плоской матрицей и коническими прессовочными роликами, а также пресс-грануляторов с плоской матрицей была получена в работе О.Д. Мюллера. Однако автор учел потери тепловой энергии при отводе тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора в каналах фильеры матрицы учитываются с помощью коэффициента тепловых потерь k [3].

Рассмотрим цилиндрическую трубу с внутренним радиусом r_1 и внешним r_2 , коэффициентом теплопроводности λ который постоянен. Внутри трубы имеется равномерно распределенный источник теплоты q_v . Дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат при изменении температуры только от радиуса имеет вид [5]:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (1)$$

Вводим граничные условия: при $r=r_1$; $t=t_1$;

$$r=r_2; t=t_2;$$

Задача решается введением новой переменной

$$t = -\frac{q_v r^2}{4\lambda} + c_1 \ln r + C_2 \quad (2)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 можно определить, если в уравнение (2) подставить граничные условия:

$$t = t_{c1} - (t_{c1} - t_{c2}) \frac{\ln\left(\frac{d}{d_1}\right)}{\ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right)} \quad (3)$$

Полученное выражение представляет собой уравнение логарифмической кривой. Распределение температуры в цилиндрической стенке является криволинейным, т.к. плотность теплового потока через любую изотермическую поверхность будет величиной переменной, потому что величина поверхности зависит от радиуса.

Для определения количества теплоты, проходящего через поверхность величиной F в единицу времени, следует воспользоваться законом Фурье [5]:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} F = qF \quad \text{Дж}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлена матрица, Вт/(м*град); q – плотность теплового потока, Вт/м²; $\frac{dt}{dr}$ – градиент температуры, град/м.

Площадь цилиндра вычисляется по формуле (5):

$$F = 2\pi r l = \pi d l \quad \text{м}^2, \quad (5)$$

где r – радиус цилиндра, м; l – длина цилиндра, м; d – диаметр цилиндра, м.

Площадь усеченного конуса:

$$F = \pi(r_1 + r_2) * l = \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) * l \quad \text{м}^2, \quad (6)$$

где r_1 – радиус большего основания усеченного конуса, м; r_2 – радиус меньшего основания усеченного конуса, м; l – длина усеченного конуса, м; d_1 – диаметр большего основания усеченного конуса, м; d_2 – диаметр меньшего основания усеченного конуса, м.

Тепловой поток через единицу внешней поверхности в цилиндрическом канале:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 l} = \frac{2\lambda(t_{c1} - t_{c2})}{d_1 \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad \text{Вт/м}^2 \quad (7)$$

где t_{c1} – температура внутренней стенки канала, град; t_{c2} – температура внешней стенки канала, град; d_1 – внутренний диаметр цилиндра, м; d_2 – наружный диаметр цилиндра, м.

Тепловой поток через единицу внешней поверхности в коническом канале:

$$q_2 = \frac{2Q}{\pi(d_1 + d_2) * l} = \frac{4\lambda(t_{c1} - t_{c2})}{(d_1 + d_2) \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad \text{Вт/м}^2 \quad (8)$$

Потери тепловой энергии при отводе тепла через цилиндрический канал фильеры матрицы пресса-гранулятора определяются по формуле (9):

$$k_1 = q_1 = \frac{2\lambda(t_{c1} - t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \text{ Вт/м}^2 \quad (9)$$

Потери тепловой энергии при отводе тепла через конический канал:

$$k_2 = q_2 = \frac{4\lambda(t_{c1} - t_{c2})}{(d_1 + d_2) \ln(d_2/d_1)} \text{ Вт/м}^2 \quad (10)$$

На рисунке 2 представлена расчетная схема прессования древесной гранулы, на которой показаны: 1 – прессовочный ролик; 2 – матрица; 3 – спрессованная гранула; 4 – спрессованный слой древесной муки; 5 – насыпной слой древесной муки.

На рисунке 2 приведена плоская матрица пресс-гранулятора.

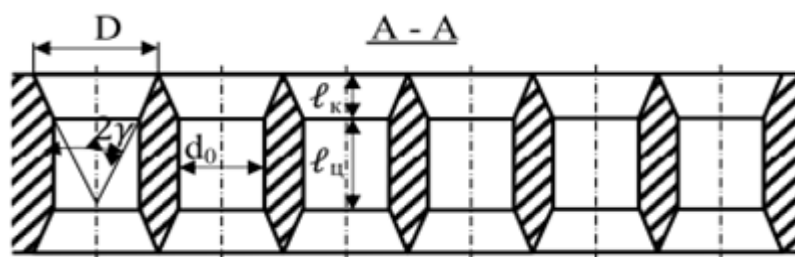


Рисунок 2 – Плоская матрица пресс-гранулятора

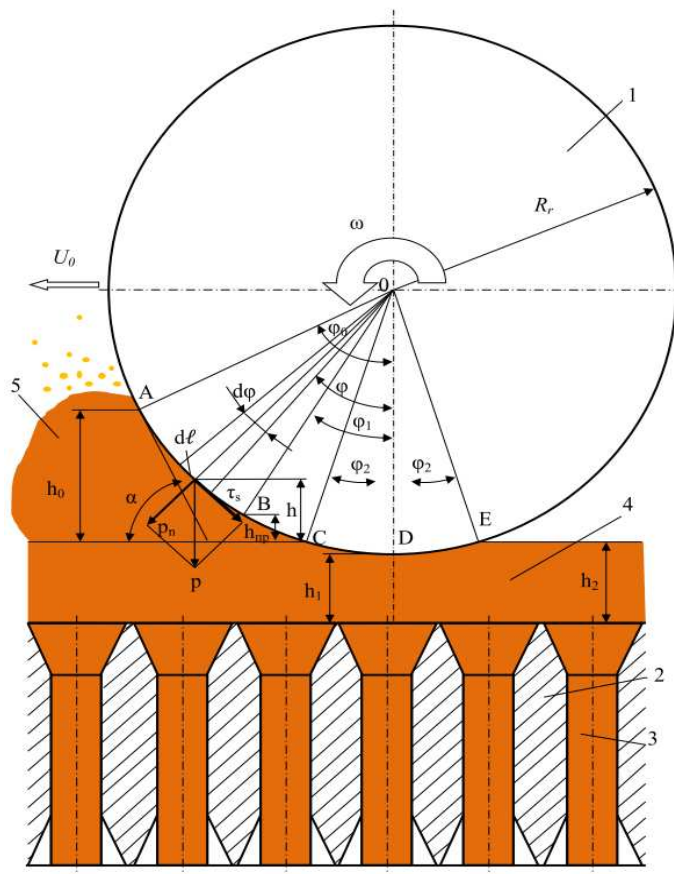


Рисунок 3 – Расчетная схема процесса прессования древесной гранулы

Таким образом, температура древесной муки для пресс-грануляторов с цилиндрической матрицей и пресс-грануляторов с плоской матрицей и коническими прессовочными роликами после прохождения конического канала фильеры матрицы с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора определяется по формуле (11):

$$\vartheta_1 = \vartheta_0 + \frac{p_0 \left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)} \right) e^{-\left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)} \right)}}{\rho_0 c} *$$

$$\left[\frac{e^{-\left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)}\right)\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)}} - e^{-\left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)}\right)}}{\left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)}\right)\left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)}\right)} + \ln\left(\frac{4\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{(d_1+d_2)\ln(d_2/d_1)}\right) + \ln\left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)}\right) + p_{пр} \sin(\varphi_1) + E_w \left[\frac{R_r \varphi_2}{h_2 \cdot 2} + \frac{h_2 - h_1 - R_r}{h_2} \sin(\varphi_2) + \frac{R_r \sin(2\varphi_2)}{h_2 \cdot 4} \right] + \frac{2\pi\sigma_t}{\rho_{гр}c} \left(1 + \frac{\mu_{гр}v}{2 + \sin^2(\gamma) - 2\cos(\gamma)} \right) * \ln\left(1 + \frac{2l_k}{d_0} \operatorname{tg}(\gamma) \right) \right] +$$

(11)

где ϑ_0 – температура, достигаемая древесным сырьем в ходе предварительного подогрева и увлажнения в специальных кондиционерах; p_0 – базовое давление, за которое принято наружное давление, Па ($p_0=1$); k – коэффициент, учитывающий потери тепловой энергии при отводе тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора; ρ_0 – плотность насыпного слоя перед прессовочным роликом, кг/м³; c – теплоемкость древесной шихты, Дж/(кг*град); α – угол естественного откоса, град; φ_1 – угол, при котором давление в шихте возрастает до давления проталкивания $p_{пр}$, а плотность спрессованной древесной шихты увеличивается до плотности гранулы $\rho_{гр}$, град; $p_{пр}$ – давление проталкивания, Па; E_w – модуль упругости спрессованной под давлением p_0 древесной муки, Па; R_r – радиус прессовочного ролика, м; h_1 – толщина начального спрессованного слоя древесной шихты, когда пресс-гранулятор завершил пусковой режим и вышел на нормальный режим работы, м; φ_2 – угол, при достижении которого дальнейшее проталкивание гранулы осуществляется за счет упругих деформаций спрессованного слоя древесной муки, град; h_2 – толщина спрессованного слоя древесной шихты под воздействием давления со стороны прессовочного ролика, м; π – математическая константа, равная отношению длины окружности к длине её диаметра ($\pi =$

3,14); σ_{τ} – напряжение текучести, Па; ρ – плотность гранулы, кг/м³; μ – коэффициент трения между спрессованной древесной шихтой и материалом матрицы; ν – коэффициент Пуассона; γ – угол при вершине конического канала фильеры матрицы, град; l_k – длина конического канала матрицы, м; d_0 – диаметр упругодеформированной гранулы, равный диаметру цилиндрического канала, м.

Температура древесной муки после прохождения цилиндрического канала фильеры матрицы с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора определяется по формуле (12):

$$\begin{aligned}
 \vartheta_2 = \vartheta_0 + & \frac{p_0 \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) e^{-\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)}}{\rho_0 c} \left[\frac{-\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) \frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} - \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)}{\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) \frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} - \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)} + \right. \\
 & \ln \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) + \\
 & \left. \ln \left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right) + p_{\text{пр}} \sin(\varphi_1) + E_w \left[\frac{R_r \varphi_2}{h_2} + \frac{h_2 - h_1 - R_r}{h_2} \sin(\varphi_2) + \frac{R_r \sin(2\varphi_2)}{4} \right] + \right. \\
 & \frac{2\pi\sigma_{\tau}}{\rho_{\text{ГР}} c} \left(1 + \frac{\mu_{\text{ГР}} \nu}{2 + \sin^2(\gamma) - 2 \cos(\gamma)} \right) \ln \left(1 + \frac{2l_k}{d_0} \operatorname{tg}(\gamma) \right) + \\
 & \left. + 4 \frac{\mu_{\text{ГР}} l_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ГР}} c d_0 (1+\nu)} \frac{E_w (D_{\text{ГР}} - d_0) \left(\frac{D_{\text{ГР}}^2}{d_0^2} - 1 \right)}{d_0 \left(1 - 2\nu + \frac{D_{\text{ГР}}^2}{d_0^2} \right)}, \right.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Среднюю температуру древесной муки для пресс-грануляторов с плоской матрицей после прохождения конического канала фильеры матрицы с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора находим по формуле (13) [3]:

$$\mathbf{1 - \cos(\alpha)} \tag{13}$$

где l - длина ролика, м.

Средняя температура древесной муки для пресс-грануляторов с плоской матрицей после прохождения цилиндрического канала фильеры матрицы с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресса-гранулятора определяется по формуле (14) [3]:

$$\begin{aligned}
 \vartheta_2 = \vartheta_0 + \frac{1}{\rho_0 c} & \left\{ p_0 \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) e^{-k} \left[\frac{e^{-\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) \frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)}} - e^{-\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)}}{\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) \left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right)} - \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)} \right. \right. \\
 & + \left(\ln \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right) \right) + \left(\ln \left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right) - \frac{\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)}{1!} \left(\frac{\cos(\varphi_1)-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right) + \right. \\
 & + \frac{\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)^2}{2 \cdot 2!} \left[\left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right)^2 - 1 \right] - \frac{\left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)^3}{3 \cdot 3!} \left[\left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right)^3 - 1 \right] + \\
 & \left. \left. \dots \frac{(-1)^n \left(\frac{2\lambda(t_{c1}-t_{c2})}{d_1 \ln(d_2/d_1)} \right)^n}{n \cdot n!} \left[\left(\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi_1)} \right)^n - 1 \right] + \dots \right) \right] + \\
 & + \frac{\mu_{rp} L}{4\rho_0 c R_{cp}(1-\cos(\alpha))} \left\{ p_0 e^{-k} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} e^{\frac{1-\cos(\alpha)}{1-\cos(\varphi)}} \cos(\varphi) d\varphi + p_{np} \sin(\varphi_1) + E_w \frac{R_r}{h_2} \frac{\varphi_2}{2} + \right. \\
 & \left. + \frac{h_2-h_1-R_r}{h_2} \sin(\varphi_2) + \frac{R_r \sin(2\varphi_2)}{h_2 \cdot 4} \right\} + \frac{2\pi\sigma_r}{\rho_{rp} c} \left(1 + \frac{\mu_{rp} v}{2+\sin^2(\gamma)-2\cos(\gamma)} \right) \ln \left(1 + \right. \\
 & \left. + \frac{2l_k}{d_0} tg(\gamma) \right) + 4 \frac{\mu_{rp} l_{ш}}{\rho_{rp} c d_0} \frac{E_w}{(1+v)} \frac{(D_{rp}-d_0) \left(\frac{D_{rp}^2}{d_0^2} - 1 \right)}{d_0 \left(1-2v + \frac{D_{rp}^2}{d_0^2} \right)}.
 \end{aligned}$$

(14)

Температура поверхности древесной гранулы на выходе из фильеры матрицы с учетом потерь тепла через наружные поверхности пресс-гранулятора определяется по формуле (15) (на основе расчета [3]):

$$\vartheta_z = \vartheta_2 + \frac{2n\rho_0\omega_0 R_{cp} LR_r (1-\cos(\alpha)) \mu_{гр} E_w (D_{гр}/d_0 - 1)(D_{гр}^2/d_0^2 - 1)}{Z\lambda\pi d_0 \rho_{гр} (1+\nu) (1-2\nu + D_{гр}^2/d_0^2)} - \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\ln(D_{гр}/d_0)} \left[\frac{2a\pi l_{ц} \rho_{гр} Z}{n\rho_0\omega_0 R_{cp} LR_r (1-\cos(\alpha))} - \frac{1}{4} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2 a\pi l_{ц} \rho_{гр} Z}{n\rho_0\omega_0 R_{cp} LR_r (1-\cos(\alpha))}\right) \right] \quad (15)$$

Выводы

Разработанная математическая модель позволяет определить температуру древесной муки после прохождения канала фильеры матрицы пресс-гранулятора с цилиндрической матрицей и пресс-грануляторов с плоской матрицей и коническими прессовочными роликами после прохождения конического, а также для пресс-грануляторов с плоской матрицей с учетом потерь тепла через наружные поверхности, которые зависят от температуры наружного воздуха, диаметра канала фильеры и коэффициента теплопроводности материала, из которого изготовлена матрица.

Библиографический список

1. Энергетическая система территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса [Электронный ресурс] / А.А. Медяков, Е.М. Онучин, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2012. - №82(08). - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/18.pdf>. - 02.02.2016.
2. Онучин, Е.М. История развития и перспектива технологий и технических средств заготовки и переработки древесины энергетического назначения [Электронный ресурс] / Е.М. Онучин, П.Н. Анисимов // Режим доступа: [www.url: http://elibrary.ru/item.asp?id=21267731](http://elibrary.ru/item.asp?id=21267731). - 02.02.2016.

3. Мюллер, О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К. Определение технологической температуры поверхности древесных гранул [Текст] / О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.К. Любов // Лесной журнал [Текст]. – 2011. – №5. – С. 71-77.

4. Использование технического лигнина при производстве топливных пеллет, как способ утилизации отходов деревообработки и целлюлозно-бумажных комбинатов [Электронный ресурс] / Е.В. Пашков, К.Е. Ведерников, И.Л. Бухарина, А.С. Пашкова // Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции "Современные проблемы экологии". – 2014. – С. 28-29.

5. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : курс лекций / М. С. Лобасова, А. Финников, Т. А. Миловидова и др. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009 – 295 с. – Режим доступа: https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Ffiles.lib.sfukras.ru%2Febibl%2Fumkd%2F1536%2Fu_lecture.pdf&name=u_lecture.pdf&lang=ru&c=56b5c2709022. – 02.02.2016.

References

1. Jenergeticheskaja sistema territorial'nogo agrolesovodstvennogo biojenergeticheskogo kompleksa [Jelektronnyj resurs] / A.A. Medjakov, E.M. Onuchin, A.D. Kamenskih, P.N. Anisimov // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. - Krasnodar: KubGAU, 2012. - №82(08). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/18.pdf>. – 02.02.2016.

2. Onuchin, E.M. Istorija razvitija i perspektiva tehnologij i tehničkih sredstv zagotovki i pererabotki drevesiny jenergeticheskogo naznachenija [Jelektronnyj resurs] / E.M. Onuchin, P.N. Anisimov // Rezhim dostupa: [www.url: http://elibrary.ru/item.asp?id=21267731](http://elibrary.ru/item.asp?id=21267731). – 02.02.2016.

3. Mjuller, O.D., Malygin V.I., Ljubov V.K. Opredelenie tehnologicheskoy temperatury poverhnosti drevesnyh granul [Tekst] / O.D. Mjuller, V.I. Malygin, V.K. Ljubov // Lesnoj zhurnal [Tekst]. – 2011. – №5. – S. 71-77.

4. Ispol'zovanie tehničkog lignina pri proizvodstve toplivnyh pellet, kak sposob utilizacii othodov derevoobrabotki i celljulozno-bumazhnyh kombinatov [Jelektronnyj resurs] / E.V. Pashkov, K.E. Vedernikov, I.L. Buharina, A.S. Pashkova // Tezisy dokladov XI mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Sovremennye problemy jekologii". – 2014. – S. 28-29.

5. Teplomassoobmen [Jelektronnyj resurs] : kurs lekcij / M. S. Lobasova, A. Finnikov, T. A. Milovidova i dr. – Krasnojarsk : IPK SFU, 2009 – 295 с. – Rezhim dostupa: [www.url : https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Ffiles.lib.sfukras.ru%2Febibl%2Fumkd%2F1536%2Fu_lecture.pdf&name=u_lecture.pdf&lang=ru&c=56b5c2709022](https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Ffiles.lib.sfukras.ru%2Febibl%2Fumkd%2F1536%2Fu_lecture.pdf&name=u_lecture.pdf&lang=ru&c=56b5c2709022). – 02.02.2016.