

Энергозатраты процесса подготовки древесно-волоконистых полуфабрикатов в производстве ДВП

Н.Г. Чистова^a, И.В. Шинкевич^b, И.М. Морозов^c, Е.С. Казаков^d

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира 82, Красноярск, Россия

^achistova_n_g@mail.ru, ^bivan.shinkevich.93@mail.ru, ^civan.morozov.les91@mail.ru, ^de.s.kazakov.lsk@mail.ru

Статья поступила 8.04.2016, принята 16.07.2016

Приведены результаты исследований удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на подготовку (размол) древесно-волоконистых полуфабрикатов в быстроходных дисковых мельницах с использованием воды и пара и сухим способом, с использованием роторно-ножевой машины, где размол осуществляется в воздушной среде. Процесс размола древесно-волоконистой массы, при всех прочих равных условиях, в ножевых размалывающих машинах различного исполнения зависит от их технологических и конструктивных параметров. Морфологические свойства разработанных волокон, в свою очередь, также оказывают существенное влияние на свойства готовой продукции, производительность и удельный расход электроэнергии. Как следствие, режим и условия размола в значительной степени определяют размерно-качественные и морфологические характеристики древесно-волоконистых полуфабрикатов. Достоверность результатов работы обеспечивалась использованием комплекса современных взаимодополняющих физических, статистическо-математических методов исследований, а также лабораторными и производственными испытаниями, воспроизведением многочисленных опытов, высокой сходимостью расчетных и экспериментальных результатов, согласованностью подходов к процессу подготовки древесно-волоконистых материалов с общенаучными положениями, статистической обработкой результатов исследований. Цель работы — оценить удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на подготовку древесно-волоконистых полуфабрикатов с использованием различного размалывающего оборудования. Как известно, удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на подготовку древесно-волоконистых полуфабрикатов в производстве древесно-волоконистых плит, является одним из определяющих критериев их ценообразования. В связи с этим в работе поставлены следующие задачи: определить оптимальные для различных видов размольных машин технические и конструктивные параметры, при которых удельный расход электроэнергии будет иметь наименьшее значение; выполнить сравнительный анализ используемого для подготовки оборудования; научно обосновать и предложить выбор размалывающего оборудования, с использованием которого получают древесно-волоконистые полуфабрикаты заданных размерно-качественных характеристик с наименьшими энергозатратами при всех прочих равных условиях.

Ключевые слова: электроэнергия; древесно-волоконистые полуфабрикаты; размол; экологичность; волокно; ДВП; степень помола.

Energy consumptions in the process of preparation of wood-fiber semi-finished products when manufacturing wood-fiber boards

N.G. Chistova^a, I.V. Shinkevich^b, I.M. Morozov^c, E.S. Kazakov^d

Siberian State Technological University; 82, Mira ave., Krasnoyarsk, Russia

^achistova_n_g@mail.ru, ^bivan.shinkevich.93@mail.ru, ^civan.morozov.les91@mail.ru, ^de.s.kazakov.lsk@mail.ru

Received 8.04.2016, accepted 16.07.2016

The results have been presented for the specific consumption of electric power which is consumed when preparing (grinding) wood-fiber semi-finished products in high-speed disk mills, using water and steam and dry milling process, using a rotary cutter machine in which grinding is carried out in air. In the knife grinding machines of various types the grinding process for the wood-fiber substance depends on technological and design parameters of machines with all other things being equal. Morphological properties of fibers, in turn, also have a significant effect on the properties, productivity and specific energy consumption of the finished product. As a result, the regime and the grinding conditions largely determine the quality and size-morphological characteristics of wood-fiber semi-finished products. The reliability of the work results has been provided by using a complex of modern complementary physical, statistical and mathematical research methods, as well as laboratory and production tests, by carrying out numerous experiments, a high convergence of the calculated and experimental results, harmonization of approaches to the process of preparation of wood materials with general scientific terms, the statistical processing of the research results. The objective of the article is to evaluate the specific consumption of electricity consumed when preparing wood-fiber semi-finished products by using different grinding equipment. As it is known, specific power consumption spent on the preparation of wood-fiber semi-finished products when manufacturing wood-fiber boards is one of the criterion, defining their pricing. In this regard, the following tasks have been set: to determine the optimum technical and design parameters for different types of grinding machines which make specific energy consumption have a minimum value; to carry out a comparative analysis of equipment; to offer a scientific foundation for the choice of grinding equipment, which are obtained by using wood-fiber semi-finished products, by giving size- quality performance with the lowest power consumption, all other things being equal.

Key words: electric power; wood-fiber semi-finished products; grinding; ecological sustainability; fiber; wood-fiber board; freeness.

Введение

Исследования в области снижения энергопотребления размалывающих машин являются актуальными, так как решают задачи оптимизации процесса размола при производстве ДВП и снижения себестоимости готовых плит [1].

Как показывают результаты исследований, конструктивные и технологические параметры размольной установки оказывают существенное влияние на качество получаемого древесного волокна и физико-механические показатели готовой плиты как при мокром, так и при сухом способе производства ДВП. В то же время стремление улучшить показатели древесноволокнистой плиты может привести к повышенному расходу электроэнергии, что увеличит, в конечном итоге, себестоимость готовой плиты [2].

В настоящей работе выполнены исследования по нахождению оптимальных режимов работы различных размалывающих установок с наименьшими затратами электроэнергии и получению заданных древесноволокнистых полуфабрикатов.

Экспериментальная часть. В производстве древесноволокнистых плит сухим и мокрым способами важное место занимают процессы, связанные с физико-механической обработкой древесных волокон: разمول древесноволокнистых полуфабрикатов, процессы формирования и прессования древесноволокнистого ковра, закалка и многие другие процессы, влияющие на качественные показатели готовой продукции и удельных расходов электроэнергии.

Исследования процесса размола древесноволокнистых полуфабрикатов реализовывались непосредственно на промышленной установке завода ДВП сухим способом производства на рафинере PR-42 ЗАО «Новоенисейский ЛХК», а также в лабораториях СибГТУ, на планко-крестовом рафинере Ц-230 с использованием воды и пара и на роторно-ножевой мельнице МР-4 сухим способом размола.

В качестве исходного сырья использовались исключительно древесные отходы лесопильного производства и низкокачественная древесина со склада сырья для сухого способа, отвечающего требованиям ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия» породного состава $81 \pm 3,1$ % лиственных пород. Изучение поверхности волокон различной степени размола, их размерно-качественных характеристик, а также структуры древесноволокнистого ковра и готовой плиты при варьировании факторов размола осуществляли при помощи электронного микроскопа с увеличением до 1 500 крат.

Состав исследуемых пресс-масс: древесное волокно — 93 %, серная кислота — 1 %, карбамид — 1,2 %, парафин — 1 %, аммонистый хлорид — 0,3 %, смола фенолформальдегидная — 3 %.

Перед началом эксперимента из промежуточного бункера отбирались древесные полуфабрикаты, предназначенные для размола на исследуемых размалывающих машинах. По известным методикам оценивался удельный расход электроэнергии, затраченной на подготовку (разمول) древесноволокнистых полуфаб-

рикатов, в зависимости от различных технологических и конструктивных параметров исследуемых машин.

На основании результатов предварительных исследований применялись параметры, в наибольшей степени оказывающие влияние на удельный расход электроэнергии: частота вращения выносного шнека (n), величина износа размалывающих сегментов (L/h), зазор между ротором и статором (z), угол встречи контрножа с сырьем (ϵ), степень помола массы (ДС), продолжительность размола (τ), давление при размоле (P). Для установления количественных зависимостей были выбраны следующие диапазоны варьирования исследуемых факторов:

$$20 \leq n \leq 44; 1,15 \leq L/h \leq 3,29; 0,25 \leq z \leq 9; 135 \leq \epsilon \leq 225; 10 \leq ДС \leq 22; 80 \leq \tau \leq 120; 0,9 \leq P \leq 1,2.$$

Планирование и реализация многофакторного исследования представлены в виде функциональной зависимости:

$$E = q(n, L/h, z, \epsilon, \tau, P, ДС), \quad (1)$$

Регрессионные зависимости, описывающие влияние технологических параметров процесса размола на энергозатраты размольного оборудования для получения ДВП сухим способом, будут иметь вид:

$$E_{PR-42} = 1245,43 + 11,62 \cdot L/h - 2504,27 \cdot n - 6,67 \cdot n + 1,94 \cdot L/h^2 - 2074,17 \cdot z^2 + 0,2 \cdot n^2 - 27,65 \cdot L/h \cdot z + 0,41 \cdot L/h \cdot n + 8,88 \cdot z \cdot n \quad (2)$$

$$E_{Ц-230} = 37,12 - 3,46 \cdot z - 1,04 \cdot P + 3,47 \cdot \tau - 2,07 \cdot z^2 + 2,23 \cdot P^2 - 4,62 \cdot \tau^2 + 2,19 \cdot z \cdot P - 0,71 \cdot z \cdot \tau - 2,09 \cdot \tau \cdot P \quad (3)$$

$$E_{MR-4} = 0,705 + 0,0583 \cdot z - 0,0007 \cdot \epsilon - 0,0044 \cdot z^2 - 7,4074 \cdot E^{-5} \cdot z \cdot \epsilon + 2,963 \cdot E^{-5} \cdot \epsilon^2 \quad (4)$$

Все уравнения регрессии проверены на адекватность. По моделям с натуральными обозначениями параметров факторов проведен статистический анализ, дана интерпретация роли указанных факторов и их парного взаимодействия, математически установлены количественные взаимосвязи между исследуемыми параметрами.

Использование уравнений позволяет прогнозировать зависимость технологических и конструктивных параметров ножевых машин на удельный расход электроэнергии.

Обсуждение результатов. Графические интерпретации, полученные в результате исследований статистико-математических зависимостей электроэнергии от технологических и конструктивных параметров размалывающих машин, позволяют достаточно точно выполнить их анализ, описать и установить взаимосвязи исследуемых показателей.

На рис. 1–3 предоставлены графические зависимости удельного расхода электроэнергии от технических

и конструктивных параметров размалывающих машин — частоты вращения выносного шнека и зазора между сегментами мельницы PR-42, давления пара, продолжительности размола и зазора между гранями крестовины ротора и ножами статора для планко-крестовой мельницы рафинера Ц-230, угла встречи контрножа с сырьем и зазора между размалывающими ножами мельницы МР-4.

Данные графические зависимости дают наглядное представление о влиянии исследуемых факторов на удельный расход электроэнергии. Исследуя и анализируя их, можно определить, при каких установленных значениях технологических параметров размольной машины расходуется меньшее количество электроэнергии.

На рис. 1 предоставлены графические зависимости удельного расхода электроэнергии от технологических и конструктивных параметров машины PR-42. При минимальном износе сегментов $L/h = 1,15$, при увеличении частоты вращения шнека от 20 до 40 мин⁻¹ удельный расход электроэнергии изменялся в пределах 680–870 кВт·ч, а при максимальном износе сегментов $L/h = 3,29$, при том же диапазоне изменения частоты вращения выносного шнека, величина удельного расхода электроэнергии повышается от 730 до 980 кВт·ч. На графике видно, что при фиксировании величины степени износа на среднем уровне ($L/h = 2,22$), уменьшении зазора между размалывающими дисками и увеличении частоты вращения выносного шнека удельный расход электроэнергии увеличивается. Скорость вращения нижнего шнека оказывает большее влияние на расход электроэнергии, чем зазор. Так, для $z = 0,55$ мм при $n = 20,0$ мин⁻¹ расход электроэнергии составит 585 кВт·ч, а для $z = 0,55$ мм, но уже при $n = 40,0$ об/мин, $E = 850$ кВт·ч; для $z = 0,25$ мм и при $n = 20,0$ мин⁻¹ $E = 800$ кВт·ч, а для $z = 0,25$ мм, но уже при $n = 40,0$ мин⁻¹, $E = 980$ кВт·ч [2].

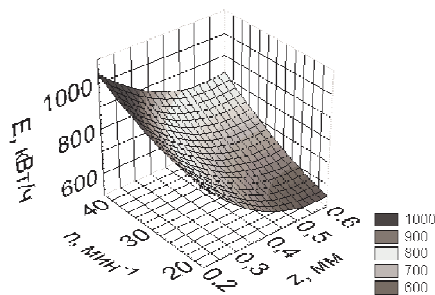


Рис. 1. Зависимость расхода электроэнергии от конструктивных параметров машины PR-42

На графике (рис. 2) видно, что с повышением давления в размольной камере рафинера Ц-230 до 1,1 МПа удельный расход электроэнергии на разمول уменьшается и достигает 37 кВт·ч/кг. С дальнейшим увеличением значения показателя давления в размольной камере происходит некоторое увеличение удельного расхода электроэнергии на разمول. При уменьшении величины рабочего зазора до 0,25 мм значение показателя удельного расхода электроэнергии увеличивается и достига-

ет 38,5 кВт·ч/кг. При увеличении значений показателя продолжительности размола до 115 с удельный расход электроэнергии на получение древесной массы увеличивается и достигает 38,1 кВт·ч/кг. С дальнейшим увеличением продолжительности размола удельный расход электроэнергии на получение древесноволокнистого полуфабриката незначительно уменьшается [3].

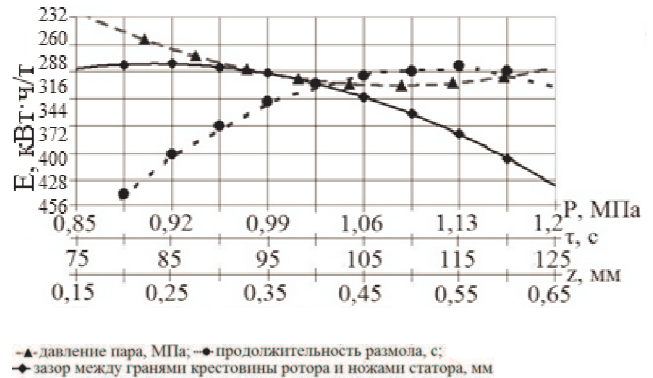


Рис. 2. График зависимостей расхода электроэнергии от технологических параметров процесса размола Ц-230

При анализе графических зависимостей (рис. 3) видно, что с увеличением зазора между ножами и контрножом до 6 мм удельный расход электроэнергии на разمول уменьшается и достигает 130–135 кВт·ч/т. С дальнейшим увеличением значения зазора происходит некоторое увеличение удельного расхода электроэнергии на разمول древесноволокнистых полуфабрикатов. При варьировании величины угла встречи контрножа с сырьем с 135 до 225° показатели удельного расхода электроэнергии увеличиваются. Минимальные значения удельного расхода электроэнергии, 124–130 кВт·ч/т, достигаются при величине угла встречи контрножа с сырьем $\varepsilon = 135\text{--}145^\circ$.

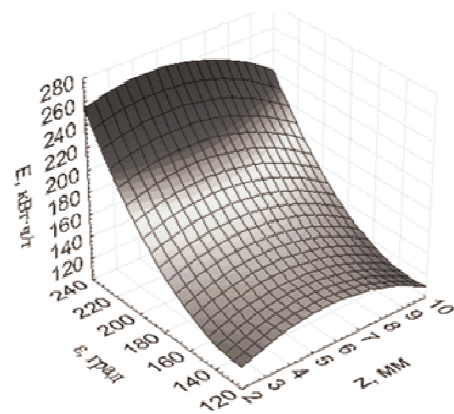


Рис. 1. Зависимость удельного расхода электроэнергии от конструктивных параметров размалывающей машины МР-4

Таким образом, рассматриваемые технологические параметры роторно-ножевой мельницы МР-4 оказывают значительное влияние на качественные показатели вторичной древесной массы и готовой плиты, а также величину удельного расхода электроэнергии на разمول.

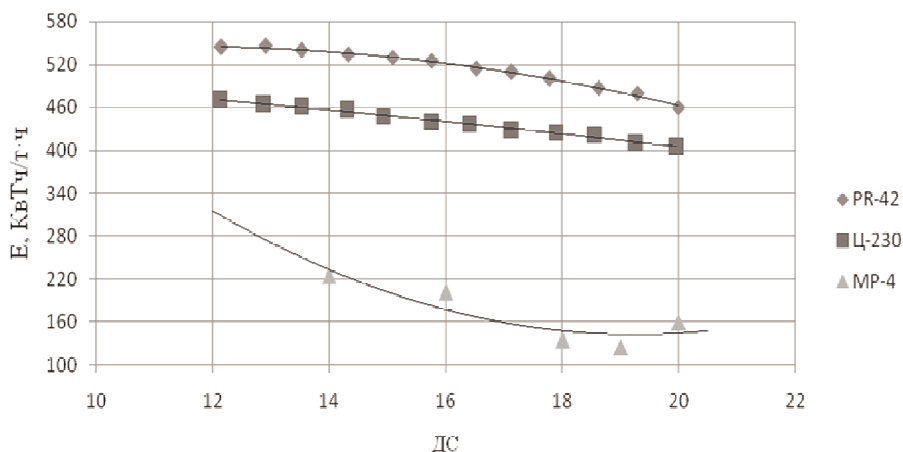


Рис. 4. Графики зависимостей ДС от электроэнергии для трех машин-рафинеров

На рис. 4 представлены графические характеристики зависимостей удельного расхода электроэнергии от прироста градуса помола для трех исследуемых размалывающих установок.

Исследования показали, что наименьший удельный расход электроэнергии зафиксирован при подготовке древесно-волоконистых полуфабрикатов, при всех прочих равных условиях, на размольной установке, работающей по сухому способу размола — МР-4. Это можно объяснить тем, что размол осуществлялся в воздушной среде в отсутствие воды, пара, высоких температур и давления.

Выводы

Как показали исследования, изменение технологических параметров размалывающих машин-рафинеров оказывает прямое влияние на степень помола и расход электроэнергии.

Для мельницы PR-42 к факторам, оказывающим наибольшее влияние на исследуемые показатели расхода электроэнергии, относится величина зазора между размалывающими сегментами ротора и статора. Для планко-крестовой мельницы рафинера Ц-230 основным фактором является степень помола, для мельницы МР-4 — угол встречи ножа с сырьем и зазор между ножом и контрножом.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс подготовки древесно-волоконистых полуфабрикатов сухим способом размола в роторно-ножевых агрегатах технологически, экономически и экологически более эффективен, чем процесс размола

существующим на сегодня способом. В процессе подготовки древесно-волоконистых полуфабрикатов сухим способом размола снижаются трудозатраты на размол, уменьшается себестоимость плит, повышается экологичность готовой продукции.

Литература

1. Алашкевич, Ю.Д. Исследование гидродинамических явлений в процессе размола волокон в ножевых и размалывающих машинах [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.06.03: утв. 24.11.1970 / Ю. Д. Алашкевич. - Л., 1970. - 143 с.
2. Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесно-волоконистых плит : дис. докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
3. Зырянов М.А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесно-волоконистых плит мокрым способом : дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2012. 167 с.

Reference

1. Alashkevich, Ju.D. Issledovanie gidrodinamicheskikh javlenij v processe razmola volokon v nozhovyh i razmalyvajushhih mashinah Tekst: dis. dokt. tehn. nauk: 05.06.03: utv. 24.11.1970 / Ju. D. Alashkevich. - L., 1970. - 143 s.
2. Chistova N.G. Pererabotka drevesnyh othodov v tehnologicheskom processe poluchenija drevesno-voлокnistyh плит : dis. dokt. tehn. nauk. Krasnojarsk, 2010. 415 s.
3. Zyrjanov M.A. Poluchenie polufabrikatov v odnu stupen' razmola dlja proizvodstva drevesno-voлокnistyh плит mokrym sposobom : dis. kand. tehn. nauk. Krasnojarsk, 2012. 167 s.