

Эффективный пресс для гранулирования древесины.

Виктор Анисимов, Wood&Pellet Project, www.pellet-project.ru, +7 977 788 11 53

Во все времена повышение энергоэффективности производства было одной из важнейших задач для достижения конкурентной себестоимости продукции. В наше время оно стало основным показателем современного подхода к сохранению природы и условий для жизни планеты. Особенно это актуально при производстве "зелёных" возобновляемых источников энергии, в данном случае древесных топливных гранул - пеллет.

Источник повышения энергоэффективности был обнаружен при анализе параметров эксплуатации пеллетных прессов различной конструкции, при этом показав возможность увеличения их производительности.

Известно, что если применять всё более мощный привод, то в итоге достигается предельная нагрузка, которую пресс может выдержать физически, т.е. без разрушения. Именно такая ситуация сложилась на рынке прессов примерно с 2010 года, когда произошел скачок в мощностях прессов для древесины с 315 (320) до 355 кВт (*рассматриваются прессы с круглой матрицей сходной мощности*). С тех пор следующий шаг, повышение мощности до 400 кВт для прессования древесины, так и не сделан. В настоящее время производятся испытания и даже начата промышленная эксплуатация таких мощных прессов, но для комбикорма.

Возникает вопрос: есть ли способ повышения производительности прессы при существующей сегодня ограниченной мощности привода и прочности станка?

Идею для поиска ответа подсказало исследование энергетики гранулирования и собственный опыт эксплуатации разных прессов.

Часть 1. Энергетика процесса гранулирования.

В 2009 г. группа ученых из Дании и США под руководством Нильса Нильсена и при участии компании Andritz Feed & Biofuel провели серию исследований процесса гранулирования древесины (результаты были опубликованы в журналах Wood and Fiber Science, № 41(4), 2009, pp. 1–12 и Bioenergy International, No 38, 3 – 2009).

Целью исследования было изучить влияние на энергетику процесса гранулирования различных факторов, в т.ч. температуры. Для этого процесс был разделен на составные компоненты сжатия, течения и трения, для каждого из которых были проведены эксперименты и вычислена затраченная энергия.

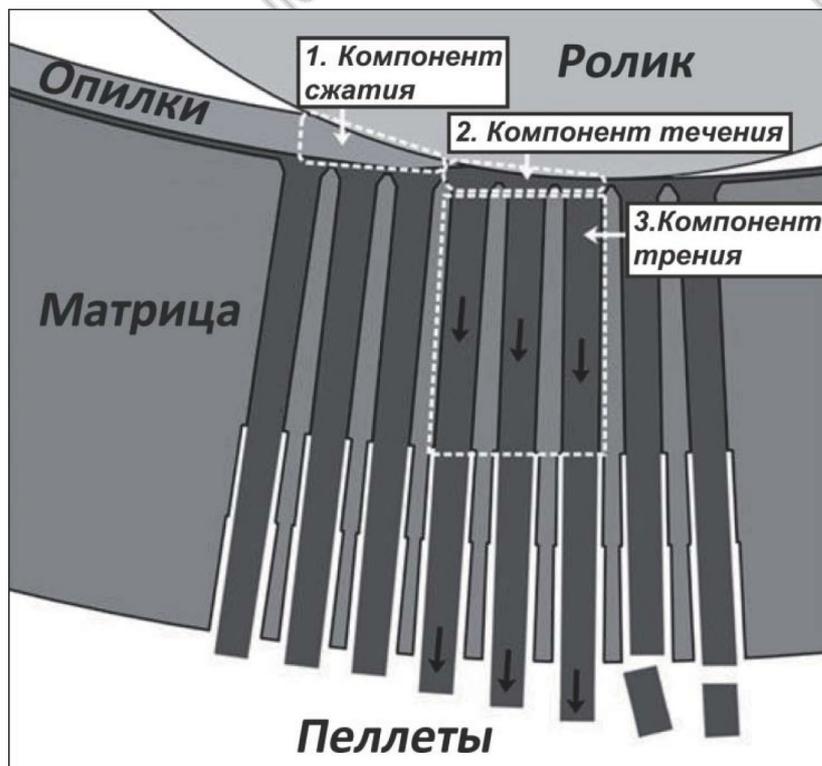


Рис. 1 (2). Составные элементы процесса гранулирования.

Компонент течения: часть материала (более 50%) в сжатом виде распределяется по поверхности матрицы между пресс-каналами. Чтобы войти в пресс-каналы, эта часть материала должна начать течь. Компонент течения включает в себя и сжатие и трение.

Результаты исследования для древесины сосны и бука.

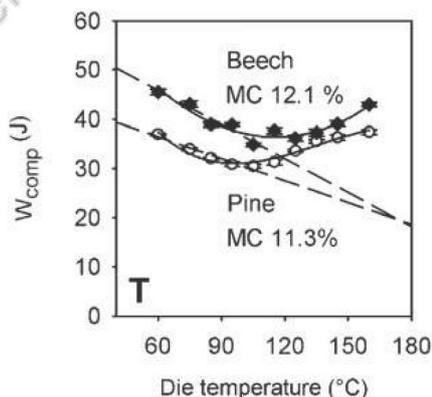


Рис. 2 (6). Влияние температуры (Т) на энергию сжатия W_{comp} .

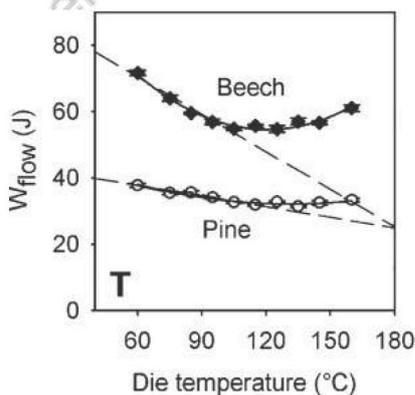


Рис. 3 (10). Влияние температуры (Т) на энергию течения W_{flow} .

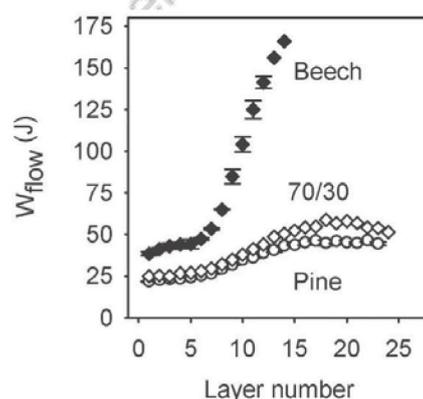


Рис. 4 (12). Влияние длины пеллеты (количества слоёв по 3,5 мм) на энергию течения W_{flow} при $T=125^{\circ}\text{C}$

Эксперимент а): прессование отдельных порций древесины с приведением результатов к 0,25 г (рис.2 и 3).

В двух компонентах (сжатия и течения) исследователи выявили энергетический минимум процесса при $T=105^{\circ}\text{C}$. То же получилось и для энергии трения при прессовании единичной порции 0,25 г сосны.

Эксперимент б): прессование последовательности порций по 0,25 г (рис.4). Каждая порция (слой) увеличивала длину пеллеты на 3,5 мм.

Было показано, что при длине пеллеты (в реальных условиях - длина прессующего канала) более 25 мм и до 60 мм энергия течения вместе с энергией трения растут экспоненциально.

Ограниченностью этого эксперимента было проведение анализа только для температуры 125°C .

Дополнительные выводы и следствия.

1. Энергия трения:

- Для формирования пеллеты требуемой плотности и прочности необходимо создать нужное трение в прессующем канале, что обеспечивается длиной прессующего канала; силу трения можно оценить как положительный фактор;

- Энергия трения больше при низкой температуре, поэтому длина прессующего канала требуется меньше;

- Сила трения должна быть стабильной для стабильного качества пеллет, однако при увеличении длины прессующего канала условия трения могут изменяться нелинейно (например, сушка материала в канале может приводить к изменению коэффициента трения; может быть рост давления на стенку канала).

2. В эксперименте не учитывалась энергия нагрева матрицы (нагрев производился ТЭНами для контроля температуры). Оценочно для поддержания рабочей температуры матрицы требуется дополнительная энергия в размере 0,032 кВт*ч на 1°C на 1 т пеллет, что дает дополнительно 2,88 кВт*ч/т для $T=105^{\circ}\text{C}$ и 3,52 кВт*ч/т для $T=125^{\circ}\text{C}$ (при T окружающей среды= 15°C). Кроме этого существует расход энергии на нагрев самого пресса и окружающего пространства, оценка не производилась.

3. Общие энергетические затраты в установившемся режиме прессования были вычислены в размере 45 Дж на 0,25 г для хвои при $T=125^{\circ}\text{C}$ или 50 кВт*ч/т (без учета нагрева матрицы). С учетом нагрева матрицы 53,5 кВт*ч/т.

4. Для расчёта мощности привода пресса следует принять стандартную нагрузку мотора в 60%, что даст **установленную мощность 89 кВт/т** для условий эксперимента ($T=125^{\circ}\text{C}$).

5. Процесс происходит при высоком давлении 210 - 450 МПа, что значительно повышает текучесть компонентов древесины. Фактор давления не отражен в классических исследованиях плавления и текучести компонентов древесины. Результаты этих исследований не могут

использоваться напрямую для изучения процесса прессования, температурные показатели в них, очевидно, выше практических.

Исследование показало, что гранулирование древесины имеет вполне определённую физику процесса, а идеальными можно назвать условия, при которых достигаются минимальные удельные энергозатраты (кВт/т). Какое это имеет практическое значение?

Часть 2. Энергетическая эффективность (КПД) прессов-грануляторов.

Если поинтересоваться, чем отличаются пресса конструктивно, то большинство обратит внимание на тип матрицы, тип привода, мощность двигателя, какие-то сервисные возможности. Рассмотрим другие особенности двух разных прессов.

Таблица 1.

№ пресса	№1	№2
Страна производства	Испания	Нидерланды
Тип/Параметр	низкотемпературный	высокотемпературный
Мощность, кВт	355	355
Диаметр матрицы рабочий, см	95	82,5
Окружность матрицы рабочая, см	298	259
Ширина рабочей дорожки, см	10	11,5
Рабочая площадь матрицы, см ²	2985	2980
Количество роликов	3	2
Длина прессующего канала при d=8, мм	40...50	от 55
Максимальная рабочая температура роликов по данным производителей, °C	105	180
Рабочая температура роликов на хвое, °C	85...95	в широком диапазоне до 146 (ср. 125...130)
Требования к климату, °C мин.	-	15 ²⁾
Охлаждение роликов	-	да ³⁾

1) Рабочие температуры по данным производителей.

2) Для дальнейшего сравнения энергозатрат примем температуру 15°C за точку отсчета, предполагая, что данная температура окружающей среды обеспечивается внешним источником.

3) При наличии системы охлаждения температура роликов не будет отражать энергозатраты в полной мере, т.к. она искусственно понижается.

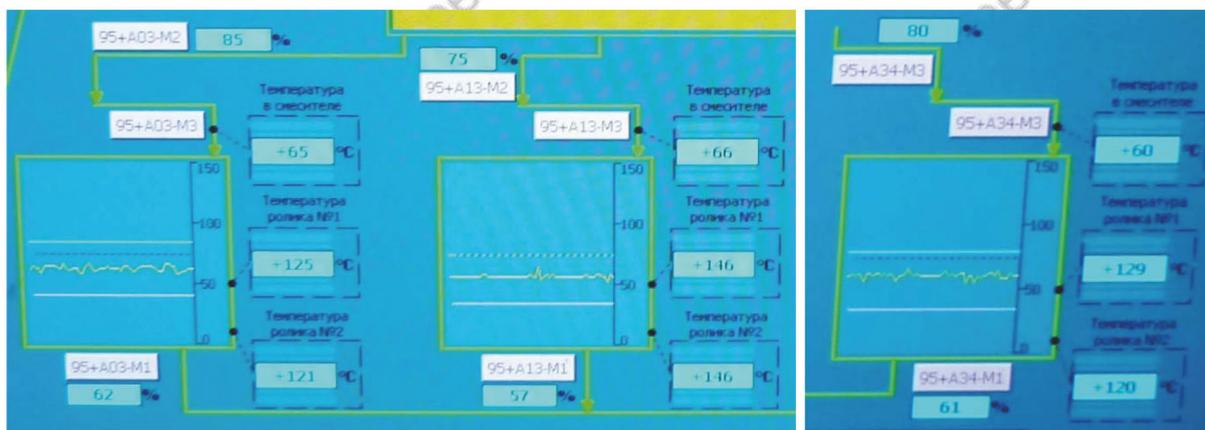


Рис. 5. Рабочие параметры пресса №2

Из таблицы 1 видно, что рабочая температура прессов различается в широком диапазоне, также как и размеры матрицы или количество роликов. Для определения искомого влияния на энергетику можно оценить скорость движения роликов по матрице. Определим **ширину рабочего фронта**, т.е. ширину рабочей дорожки матрицы умноженной на количество роликов, и коэффициент равнозначной линейной скорости прессования.

Таблица 2.

№ пресса	№1	№2
Тип/Параметр	низкотемпературный	высокотемпературный
Рабочий фронт (ширина рабочей дорожки x количество роликов), см	10x3=30	11,5x2=23
Коэффициент ширины рабочего фронта, приведенный к прессу №2	1,30	1,00

Коэффициент рабочей окружности матрицы, приведенный к прессу №2	1,15	1,00
Коэффициент равнозначной линейной скорости прессования, приведенный к прессу №2	0,67	1,00

Оценка результатов анализа.

1. При одинаковой мощности и производительности скорость движения роликов по матрице в прессе №1 могла бы быть на 33% (в 1,5 раза) ниже.

Т.к. она самом деле ниже, то процесс гранулирования смещается в более энергоэффективную область с меньшей температурой, а потребная удельная мощность гранулирования (кВт/т) падает.

Этот эффект объясняется через свойства сил трения.

Как рассматривалось ранее, работа гранулирования состоит из трёх компонентов, два из которых - сжатие опилок и проталкивание сжатых опилок в пресс-каналах представляют собой работу сил трения, а компонент течения – вязкого трения.

Вся или почти вся выполненная приводом пресса работа идет на преодоление этих сил трения, которые, по определению, преобразуются в нагрев станка, инструмента, изделий и, в конечном счёте, окружающей среды. А значение силы трения зависит от давления тел друг на друга и от скорости относительного движения.

Пресс с более узким рабочим фронтом и меньшим диаметром матрицы должен обеспечивать более высокую скорость процесса при равной производительности. При этом температура процесса повышается, а КПД падает. И наоборот.

Именно сбалансированная конструкция пресса обеспечивает оптимальный энергетический баланс, с минимальной удельной мощностью прессования и максимальным КПД, что дает заметный рост производительности.

2. Повышенная температура не только не полезна в технологическом процессе, но и вредна, прямым доказательством этого служит применение системы охлаждения роликов в высокотемпературных прессах.

3. Оценить разницу в производительности самым простым способом можно через соотношение рабочих температур. Например, снижение температуры процесса на 15°C, что составляет ок.15% (от базы в 15°C), должно привести к пропорциональному росту производительности при одинаковой мощности с учётом % нагрузки мотора. Это предположение подтверждается статистикой, низкотемпературные пресса с двигателем 355 кВт обеспечивают среднюю практическую производительность на сосне 4,5 т/ч, что в годовом выражении при 8000 рабочих часов соответствует 36 тыс.т. при удельной установленной мощности 355 кВт/4,5т = 79 кВт/т.



Рис. 6. Пресс №1.

Для сравнения, годовая производительность высокотемпературного пресса декларируется в объёме 30...32,5 тыс.т., что предполагает среднюю практическую

производительность 4 т/ч и менее. То же значение даёт и следствие №4 из 1-й части (анализ эксперимента), а именно $355 \text{ кВт} / 89 \text{ кВт/т} = 3,99 \text{ т}$ (в час).

Таблица 3.

№ пресса	№1	№2
Тип/Параметр	низкотемпературный	высокотемпературный
Средняя практическая производительность, т/ч	4,5	3,75...4,06
Годовая производительность при 8000 рабочих часов, т/год	36 000	30 000 – 32 500

Особенности эксплуатации низкотемпературных прессов

1. Не требуется система охлаждения роликов.
2. Подача пара более эффективна из-за большей разницы температур. По результатам эксплуатации 3-х роликовых прессов с добавкой пара прибавка в производительности достигала 20% на сосне. Рабочий процесс становился более эластичным и не требовал точной подгонки параметров матрицы (прессующей длины канала).
3. Использование 3-х роликов вместо 2-х не является более затратным в эксплуатации, т.к. их износ зависит от количества произведенной продукции на каждый ролик. А низкие скорость и температура способствуют более щадящему износу металла и расходу смазки роликов.
4. У 3-х роликового пресса минимизированы возможности смещения роликов от рабочих нагрузок во всех направлениях. У 2-х роликовых – только в плоскости, проходящей через оси роликов, в перпендикулярной плоскости есть возможность смещений от сгибающих / вращающих моментов. Это может приводить к вибрациям.