

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРЕСС ДЛЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

О КПД и УДЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРЕССОВ

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

Повышение энергоэффективности производства всегда было одной из важнейших задач в достижении конкурентоспособной себестоимости продукции. В наше время оно стало одним из основных показателей современного подхода к бережному отношению к природе и сохранению жизни на планете.

Это особенно актуально при производстве «зеленых» возобновляемых источников энергии, в данном случае древесных гранул - пеллет.

Кроме того, существует еще одна актуальная техническая проблема.

Известно, что с увеличением мощности привода в итоге достигается предельная нагрузка, которую конструкция пресса может выдержать без разрушения. Именно такая ситуация сложилась на рынке прессов примерно с 2010 года, когда произошел скачок мощности прессов для древесины (с круглой матрицей) с 315-320 до 355 кВт. С тех пор следующий шаг - повышение мощности до 400 кВт - так и не сделан. В настоящее время производятся испытания и даже начата промышленная эксплуатация таких мощных прессов пока только для комбикорма.

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

Путь к ответу был найден при анализе рабочих параметров грануляторов различных конструкций совместно с результатами исследования по энергетике гранулирования древесины.

На практике это позволяет выбирать прессы с большей удельной мощностью (кг/кВт) и, следовательно, с большей энергоэффективностью.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

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 (Wood and Fiber Science, № 41(4), 2009, pp. 1–12 и Bioenergy International, No 38, 3 – 2009).

Целью было изучение влияния на энергетику гранулирования различных факторов, в том числе температуры. Для этого процесс был разделен на фазы сжатия, течения и трения, и для каждого были проведены эксперименты, рассчитана и суммирована затраченная энергия.

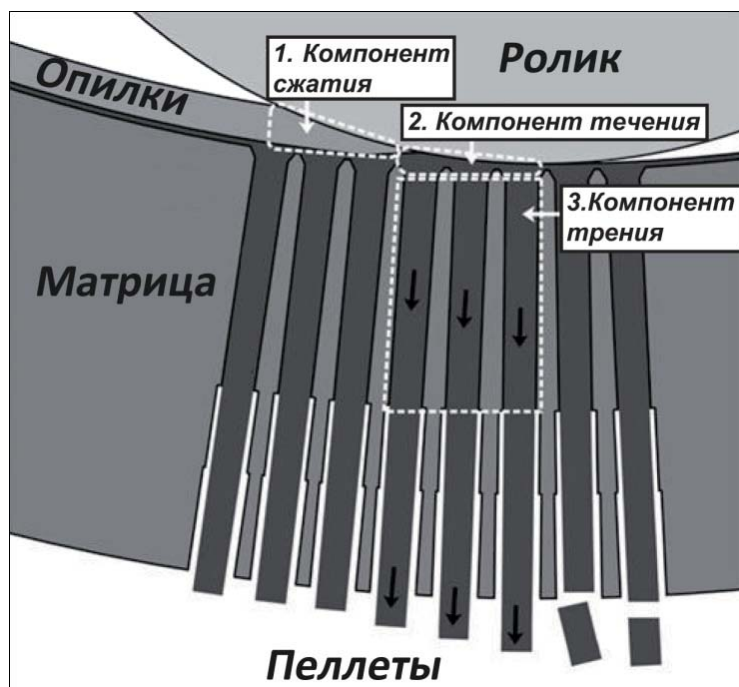


Рис.1. Схема процесса гранулирования и его фазы (компоненты)

Как видно из схемы (Рис.1), большая часть опилок (>50%) в сжатом виде распределяется по поверхности матрицы между пресс-каналами. Чтобы войти в них, материал должен стать текучим. Сжатие опилок и проталкивание их в пресс-каналах представляют собой работу по преодолению сил трения; и сил вязкого трения в фазе течения.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ГРАНУЛИРОВАНИЯ И КАЧЕСТВО ПЕЛЛЕТ

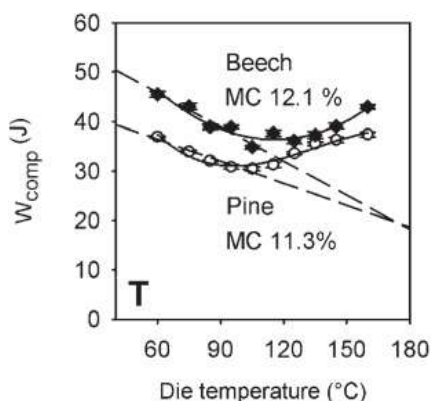


Рис.2. Влияние температуры (Т) на энергию сжатия W_{comp}

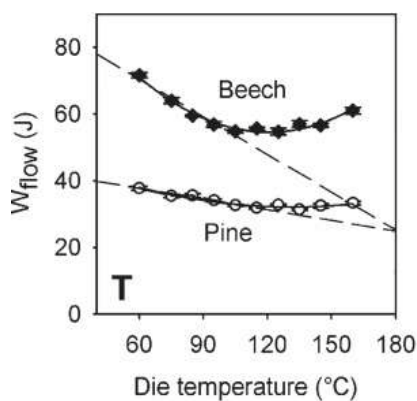


Рис.3. Влияние температуры (Т) на энергию течения W_{flow}

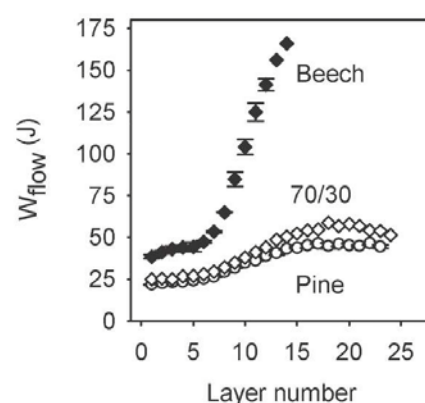


Рис.4. Влияние длины пресс-канала на энергию течения W_{flow} при $T=125^{\circ}\text{C}$ (на шкале - количество слоёв по 3,5 мм)

1. Одна из серий экспериментов заключалась в прессовании отдельных порций древесины (результаты приведены к 0,25 г для графиков на Рис.2 и 3). В двух фазах (сжатия и течения) был обнаружен энергетический минимум при $T=105^{\circ}\text{C}$. То же получилось и для энергии трения при прессовании сосны.

2. Другая серия экспериментов представляла собой последовательное прессование порций по 0,25 г одну за другой (Рис.4). Каждая порция (слой) увеличивала длину пеллеты на 3,5 мм. Этот опыт показал, что энергия течения вместе с энергией трения растут экспоненциально при длине пеллеты свыше 25 до 60 мм (в реальных условиях это длина пресс-канала). Ограниченность этого эксперимента связана с изучением процесса только при 125°C .

3. После каждого эксперимента проверялось качество пеллет. Оно соответствовало установленным требованиям во всём температурном диапазоне опытов от 60 до 160°C .

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для получения требуемой плотности и прочности необходимо создать надлежащее трение в пресс-канале, что обеспечивается его длиной. В этой ситуации силу трения можно оценить как положительный фактор;

Энергия трения выше при пониженной температуре, поэтому длина пресс-канала требуется меньше;

Трение по длине пресс-канала меняется нелинейно (сушка материала внутри канала приводит к изменению коэффициента трения), поэтому более короткий пресс-канал предпочтительнее для стабильного качества пеллет и нагрузки пресса.

2. В эксперименте не учитывалась энергия на нагрев матрицы: нагрев производился ТЭНами для контроля температуры. Для поддержания рабочей температуры матрицы требуется дополнительная энергия из расчёта $0,04 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ на 1°C на 1 т пеллет, что даёт дополнительно $2,38 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ при $T=125^{\circ}\text{C}$ (при температуре в миксере 65°C , Рис.5).

3. Удельные энергетические затраты в установившемся режиме прессования были определены для хвои в размере 45 Дж на 0,25 г при $T=125^{\circ}\text{C}$ или $50 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ (без учета нагрева матрицы и КПД привода). С учетом нагрева матрицы $\sim 52,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$.

4. Для расчёта мощности привода пресса следует учесть рекомендуемый коэффициент загрузки $K_z=0,6$ (62% и 57% на Рис.5), показывающий нагрузку на мотор, что даёт установленную мощность $87,3 \text{ кВт/т/ч}$ для условий эксперимента ($T=125^{\circ}\text{C}$).

5. Процесс создаёт высокое давление до 210 - 450 МПа, что значительно повышает текучесть древесины. В исследованиях плавления и текучести компонентов древесины (целлюлозы, лигнина и пр.) фактор давления не учитывается. Вот почему результаты этих исследований не применимы для пеллетирования, температуры плавления и течения изменяются от изменения давления в каждой точке процесса.

Исследование выявило вполне определённую физику гранулирования древесины. От какого пресса можно ожидать высокую энергоэффективность?

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕССОВ-ГРАНУЛЯТОРОВ

Рассмотрим особенности конструкции и режимы эксплуатации двух разных прессов (Табл.1). Обозначим их по рабочей температуре $T_{\text{раб}}$ как:

НТ – низкотемпературный тип

ВТ – высокотемпературный тип (Рис.5)

Таблица 1. Конструктивные и рабочие характеристики НТ и ВТ прессов

Параметр	НТ	ВТ
Мощность привода, кВт	355	355
Диаметр матрицы рабочий, см	95	82,5
Окружность матрицы рабочая, см	298	259
Ширина матрицы рабочая, см	10	11,5
Рабочая площадь матрицы, см ²	2985	2980
Длина прессующего канала при d=8, мм	≥ 40	≥ 55
Количество роликов	3	2
Макс. эксплуатационная температура, °С	105 ¹	180 ²
Рабочая температура роликов $T_{\text{раб}}$ на хвосте, °С	85 – 95, средняя 90	до ≈ 145, средняя 125
Охлаждение роликов	не требуется	желательно ³

¹ Самоограничивается процессом

² Управляемый автоматикой останов

³ В случае охлаждения роликов температура не отражает энергозатраты в полной мере, поскольку она принудительно понижается

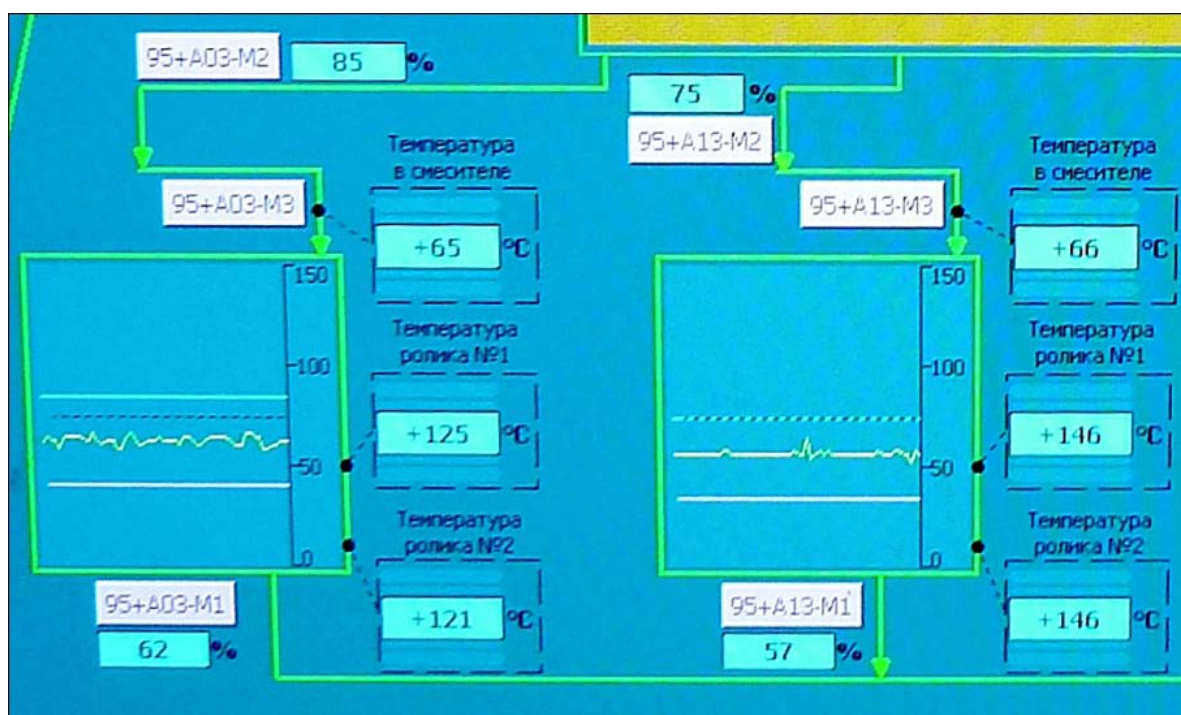


Рис.5. Рабочие параметры ВТ пеллетирования (хвоя)

Наибольшие отличия заметны в количестве роликов и рабочей температуре $T_{\text{раб}}$, очевидно, они связаны между собой (но не только они). Для определения зависимости оценим приведённую линейную скорость процесса через понятие **рабочего фронта**, равного произведению рабочей ширины матрицы на количество роликов (Таблица 2).

Таблица 2.

Параметр	НТ	ВТ
Рабочий фронт (рабочая ширина x кол-во роликов), см	10 x 3 = 30	11,5 x 2 = 23
Приведенный коэфф. рабочего фронта	1,3	1,00
Приведенный коэфф. рабочей окружности матрицы	1,15	1,00
Приведенный коэфф. линейной скорости процесса	0,67	1,00

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА НТ и ВТ ПРЕССОВ

1. При прочих равных условиях относительная линейная скорость движения матрицы и роликов в НТ прессе могла бы быть на 33% (в 1,5 раза) ниже.

Поскольку она действительно ниже, процесс гранулирования смещается в более энергоэффективную область с пониженной температурой, снижая удельные энергозатраты. Такой результат объясняется свойствами сил трения, которые, по определению, зависят от давления тел друг на друга и от скорости относительного движения. А вся выполненная приводом пресса работа расходуется на преодоление сил трения и превращается в тепло.

Пресс с более узким рабочим фронтом и меньшим диаметром матрицы должен обеспечивать более высокую скорость процесса при условии равной производительности. При этом температура процесса повышается, а КПД падает. Это значит, что при равной мощности привода, ВТ пресс не может достичь равной производительности с НТ прессом, только ниже.

2. Повышенная температура не только не полезна для технологического процесса, но и вредна, прямым доказательством чего служит применение у ВТ прессов системы охлаждения роликов.

3. Практика и статистика подтверждают различие в производственной мощности (Табл.3). НТ пресс с двигателем 355 кВт обеспечивает среднюю практическую производительность на сосне 4,5 т/ч, что в годовом выражении соответствует 36 тыс.т при 8000 рабочих часах.

Для сравнения, годовая производительность ВТ пресса декларируется в объёме 30 тыс.т, что предполагает среднюю практическую производительность до 4 т/ч. Такое же значение можно получить из исследования, а именно $355 \text{ кВт} / 87,3 \text{ кВт/т/ч} = 4,07 \text{ т/ч}$, без учёта КПД привода.

Таблица 3. Производительность пеллетных прессов (хвоя)

Параметр	НТ	ВТ
Средняя практическая производительность, т/ч	$\geq 4,5$	≤ 4
Годовая производительность (8000 часов), тыс. т	≥ 36	≤ 30

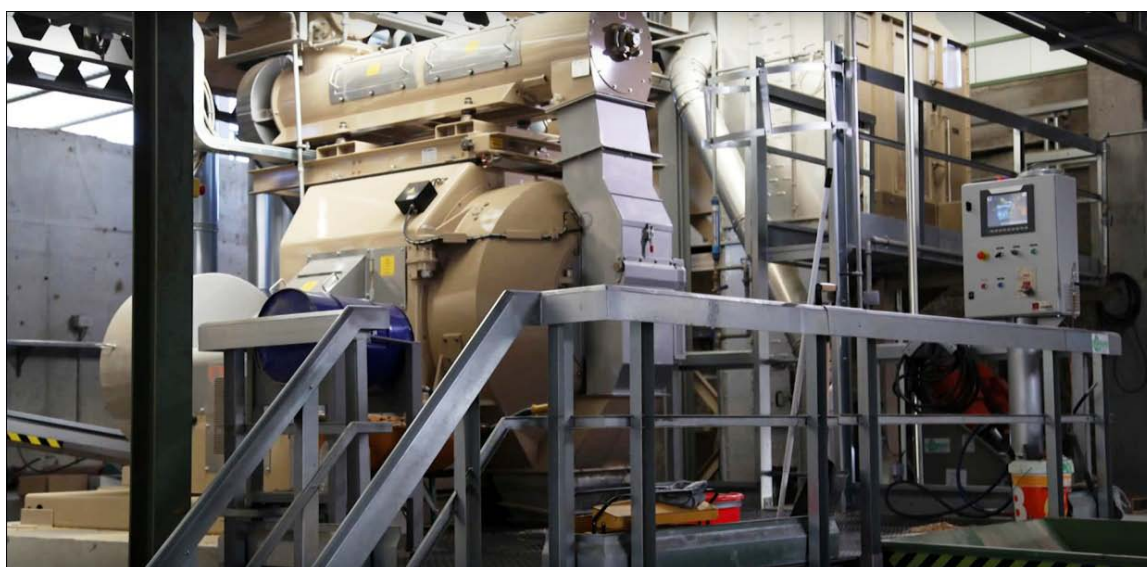


Рис.6. НТ пресс

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НТ ПРЕССОВ

1. Не требуется система охлаждения роликов.

2. Подача пара эффективнее из-за большей температурной разницы. По результатам эксплуатации 3-х роликовых прессов с добавкой пара, прибавка производительности достигала 20% на сосне. Рабочий процесс при этом становился более эластичным и не требовал точной подгонки параметров матрицы (длины пресс-канала).

3. Использование трёх роликов вместо двух не является более затратным в эксплуатации, так как их износ зависит от количества произведенной продукции на каждый ролик. А низкие скорость и температура способствуют меньшему износу металла и расходу смазки для роликов.

4. 3-х роликовая конструкция минимизирует возможность смещения роликов от рабочих нагрузок во всех направлениях. 2-х роликовые имеют такую возможность только в плоскости, проходящей через оси роликов, но не в перпендикулярной плоскости. Это часто приводит к вибрациям у 2-х роликовых прессов от сгибающих / вращающих моментов.