

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ АППАРАТОМ БАРАБАННОГО ТИПА

И. А. Нестерук, К. Е. Бородин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель П. Е. Родзевич

При выполнении технологического процесса в кормоуборочном комбайне подавляющая часть затрат мощности (до 80 %) приходится на измельчающий аппарат (барабанного или дискового типа), обеспечивающий измельчение и транспортировку растительной массы (РМ).

Для выявления причины значительной затраты мощности на измельчающий аппарат проведем анализ силового взаимодействия ножа с растительной массой. Анализ процесса резания РМ позволяет обоснованно выбрать геометрические и кинематические параметры режущей пары, снизить удельную энергоемкость процесса измельчения, а также дать рекомендации об улучшении эксплуатационных характеристик ножей.

Энергоемкость процесса резания напрямую зависит от двух главных факторов: конструктивных особенностей и состояния режущей пары (нож – противорежущий брус).

Разделению РМ на части под воздействием лезвия ножа предшествует процесс предварительного сжатия им РМ до возникновения на кромке лезвия разрушающего контактного напряжения σ_p . Момент возникновения последнего определяется значением усилия $P_{кр}$ (критическое усилие), прикладываемого к ножу, преодолевающего ряд сопротивлений различного происхождения, возникающих в РМ. В большинстве случаев при резании однородных, упруго-вязких материалов усилие $P_{кр}$, при котором завершается процесс сжатия материала ($\approx 0,001$ с) и начинается его резание, является максимальным из всех усилий, возникающих в процессе резания. При анализе силового взаимодействия лезвия с РМ $P_{кр}$ становится наиболее важным объектом исследования.

Получим аналитическое выражение, определяющее величину критического усилия $P_{кр}$, которое необходимо приложить к ножу для того, чтобы под действием лезвия РМ начал разделяться на части.

При углублении лезвия ножа в слой подпрессованной РМ на величину $h_{сж}$, когда на его режущей кромке возникает разрушающее контактное напряжение σ_p , начинается процесс резания (рис. 1).

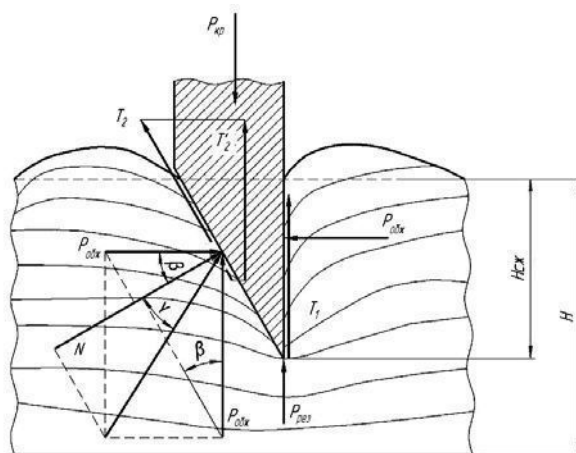


Рис. 1. Схема силового взаимодействия лезвия ножа с растительной массой

На нож действуют сила $P_{рез}$ сопротивления разрушению материала под кромкой лезвия, направленная вверх; силы $P_{обж}$ обжатия РМ, имеющие горизонтальное направление и действующие на боковые грани лезвия; сила $P_{сж}$ – сопротивления слоя сжатию фаской лезвия, направленная вверх.

Таким образом, на фаску лезвия действует сила N , являющаяся суммой проекций сил $P_{обж}$ и $P_{сж}$ на направление нормали:

$$N = P_{сж} \sin \beta + P_{обж} \cos \beta.$$

От нормальной силы N на фаске лезвия возникает сила трения:

$$T_2 = Nf,$$

где $f = \operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент трения массы о материал лезвия; φ – угол трения.

Силу N можно также выразить через угол трения:

$$N = \sqrt{P_{\text{сж}}^2 + P_{\text{обж}}^2} \cos\varphi.$$

Аналогичная сила трения T_1 возникает на другой грани лезвия от силы $P_{\text{обж}}$:

$$T_1 = P_{\text{обж}} f.$$

Сила T_1 направлена вертикально вверх, а T_2 – под углом β наклона фаски. Вертикальная проекция силы T_2 равна:

$$T_2' = T_2 \cos\beta.$$

В момент начала резания подпрессованного слоя РМ критическая сила $P_{\text{кр}}$, приложенная к ножу, должна преодолеть сумму всех сил, действующих в вертикальном направлении, т. е.

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{рез}} + P_{\text{сж}} + T_1 + T_2'.$$

Силу $P_{\text{рез}}$ можно определить как произведение площади заточенной кромки лезвия $F_{\text{л}}$ на разрушающее напряжение $\sigma_{\text{р}}$:

$$P_{\text{рез}} = F_{\text{л}} \sigma_{\text{р}} = \delta \Delta s \sigma_{\text{р}},$$

где δ – толщина кромки лезвия; Δs – длина лезвия.

Разрушающее напряжение $\sigma_{\text{р}}$ является параметром, присущим данному виду материала, и определяют его экспериментально.

Сила, обжимающая фаску лезвия ножа, определяется по выражению

$$P_{\text{обж}} = \mu \frac{E}{h} \int_0^{H_{\text{сж}}} H_{\text{сж}\chi} dH_{\text{сж}} = \mu \frac{E}{2} \frac{H_{\text{сж}}^2}{H}.$$

Если учесть, что коэффициент Пуассона имеет малые значения, то можно сказать, что сила обжатия составляет незначительную часть от $P_{\text{сж}}$:

$$P_{\text{сж}} = \frac{E}{H} \operatorname{tg}\beta \int_0^{H_{\text{сж}}} H_{\text{сж}\chi} dH_{\text{сж}} = \frac{E}{2H} H_{\text{сж}}^2 \operatorname{tg}\beta.$$

Таким образом, необходимая сила $P_{\text{сж}}$ для сжатия слоя фаской ножа находится в квадратичной зависимости от величины $H_{\text{сж}}$.

Подставляя значения всех сил, противодействующих $P_{кр}$, получим значение последней для лезвия длиной $\Delta l = 1$.

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \frac{H_{сж}^2}{H} [\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta)].$$

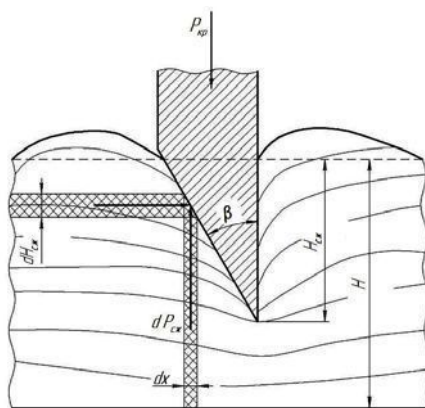


Рис. 2. Силовое взаимодействие лезвия ножа с растительной массой и схема к определению усилий $P_{сж}$ и $P_{обж}$

Таким образом, критическая сила резания определяется углом заточки β , остротой кромки лезвия δ , высотой слоя H растительной массы на выходе из питающего аппарата, ее физическими параметрами, а также толщиной $H_{сж}$ слоя растительной массы, подвергающейся сжатию ножом до начала резания. Одним из основных конструктивных параметров лезвия является его острота δ , которая имеет тенденцию к уменьшению с ростом количества переработанного материала и может достигнуть величины, когда процесс резания РМ становится экономически нецелесообразным.

Литература

1. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.
2. Влияние углов установки на напряженно-деформированное состояние ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / П. Е. Родзевич [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2016. – № 1. – С. 31–37.