

ХАРАКТЕР И СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА
С КАЧАЮЩИМИСЯ СЕГМЕНТАМИ

А.В.Парубенко, М.Р.Цехмастер

Основоположник теории резания лезвием В.П.Горячкин /1/ различал две разновидности процесса резания: при помощи нормального перемещения лезвия и перемещения лезвия по двум взаимно перпендикулярным направлениям, нормальному и касательному. Он отмечал, что в случае резания по двум взаимно перпендикулярным направлениям процесс резания облегчается скользящим давлением лезвия. Он ввел понятие о коэффициенте скольжения ξ , представляющем собой отношение тангенциальной v_{τ} составляющей полной скорости лезвия к нормальной v_n , составляющей этой скорости:

$$\xi = \frac{v_{\tau}}{v_n} = \operatorname{tg} \xi, \quad (1)$$

где ξ - угол между направлениями нормальной составляющей и полной скорости, названный углом скольжения.

Рассматривая процесс скользящего резания подобный процессу движения тела по наклонной плоскости под воздействием взаимно перпендикулярных сил, В.П.Горячкин заключил, что при скользящем резании сила трения частично переносится перпендикулярно направлению разреза, вследствие чего действие силы трения на лезвие ножа уменьшается и лезвие легче проникает в материал. Кроме того, снижение нормального давления на лезвие при его скольжении он объясняет также процессом перемещения материала микрорезцами лезвия.

Продолжая исследования В.П.Горячкина, его ученик В.А.Белиговский /2/ установил, что в зависимости от некоторых физико-механических свойств перерезаемого материала доля участия в процессе резания эффекта от скользящего движения лезвия может быть значительной только при определенных углах скольжения. Эффект скользящего резания В.А.Белиговский объясняет тем, что между смежными и соседними частицами материала возникают нормальные напряжения растяжения или касательные напряжения сдвига, что оказывает меньшее сопротивление, чем на сжатие.

Анализируя проведенные исследования В.П.Горячкина, В.А.Белиговского и других авторов, Н.Е.Резник /3/ заметил, что при проведении опытов не были учтены острота лезвия и углы заточки лезвия, тогда как при изменении соотношения между нормальным и касательным переме-

ценными лезвия угол его заточки в направлении результирующего перемещения трансформируется. С относительным увеличением касательного перемещения эта кинематическая трансформация угла заточки увеличивается. Им принято понятие коэффициента K кинематической трансформации, который представляет отношение разности между углом β заточки и трансформированным β_1 к исходному β :

$$K = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} \quad (2)$$

Таким образом, при скользящем движении лезвия на уменьшение нормального давления оказывает влияние и кинематическая трансформация угла заточки.

Итак, современная теория резания лезвием подразделяется на три основных разновидности: нормальное резание — внедрение лезвия происходит под действием только нормальной силы; наклонное резание — процесс внедрения лезвия в материал облегчен вследствие трансформации угла заточки; скользящее резание — процесс внедрения лезвия дополнительно облегчается шляпкой действием кромки лезвия и переносом части силы трения перпендикулярно направлению разреза.

Принимая во внимание основные положения В.П.Горячина, В.А.Белоговского, Н.Е.Резника, определим характер резания и его факторы для режущего аппарата с качающимися сегментами.

Режущий аппарат с качающимися сегментами /4/ отличается от серийных как самой конструкцией, так и процессом резания.

Подвижные сегменты, выполненные в виде двулучевого рычага, поворачиваясь относительно оси качания, производят срез в контакте с противорежущими пластинами со скольжением. Режущая часть сегментов опирается краями на противорежущие пластины пальцевой секции, в связи с этим зазор в режущей паре практически равен нулю.

Согласно кинематической схеме режущего аппарата (рис. I), скорость любой точки лезвия S качающегося сегмента зависит от расстояния ρ от оси поворота сегмента до заданной точки лезвия.

Скорость V_H любой точки лезвия можно определить из выражения

$$V_H = \frac{V_C \cdot \rho}{L - R} \quad (3)$$

где V_C — скорость верхней точки лезвия подвижного сегмента, м/с; L — общая длина сегмента, м; R — переменное расстояние от оси поворота сегмента до точки крепления с валом привода, м.

Выражая значения V_C и R через конструктивные параметры режу-

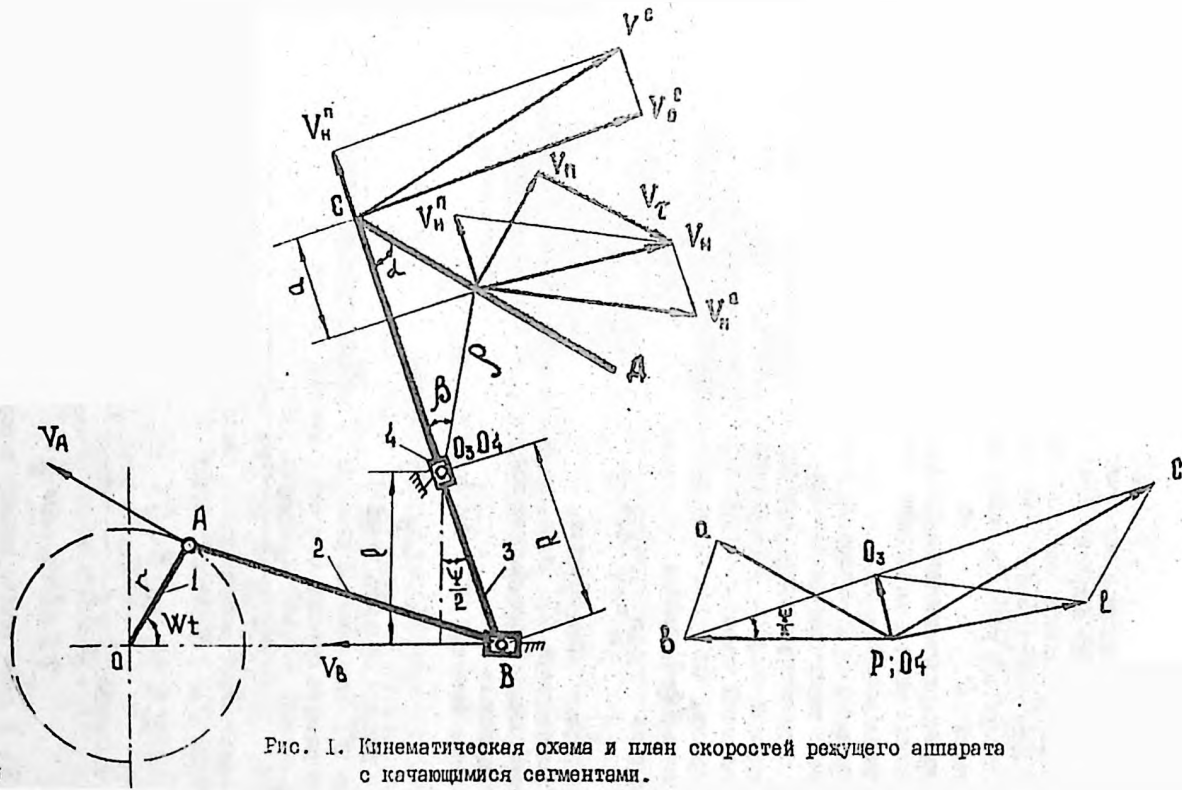


Рис. 1. Кинематическая схема и план скоростей режущего аппарата с качающимися сегментами.

щего аппарата и подставляя в выражение (3), можно определить скорость любой точки лезвия в любой момент поворота кривошипа.

На ЭМ были просчитаны значения скоростей нескольких точек лезвия, на основании которых приняты наиболее оптимальные размеры звеньев режущего аппарата с учетом необходимых скоростей точек лезвия для резания растений /4/.

Согласно выбранным размерам звеньев режущего аппарата, проведем скоростной анализ механизма режущего аппарата и определим основные факторы резания (рис. 1).

Скорость любой точки лезвия СД складывается из скорости сегмента относительно точки O_4 , принадлежащей камню кулисы 4 и окружной скорости во вращательном движении вокруг той же точки O_4 . Очевидно, что поступательная скорость V_N'' для всех точек лезвия будет одинакова в определенный момент поворота. Определим ее отрезком O_4O_3 на плане скоростей или, выражая значение скорости V_N'' через скорость точки В, из $\triangle BO_3O_4$ найдем

$$V_N'' = V_B \cdot \sin \frac{\Psi}{2}, \quad (4)$$

где Ψ — угол качения сегмента.

Окружная скорость V_N^o точек лезвия сегмента будет различна в зависимости от мгновенного радиуса поворота ρ^o как по величине, так и по направлению.

Абсолютное значение V_N^o определится выражением

$$V_N^o = \omega_3 \cdot \rho, \quad (5)$$

где ω_3 — угловая скорость звена 3.

Направление V_N^o определяется углом β , характеризующим положение мгновенного радиуса относительно оси симметрии сегмента СВ. Согласно рисунку 1,

$$\omega_3 = \frac{V_B \cdot \cos \frac{\Psi}{2}}{R}, \quad (6)$$

где R — переменный радиус нижнего плеча сегмента.

Тогда значение V_N^o выразится формулой

$$V_N^o = V_B \cdot \cos \frac{\Psi}{2} \cdot \frac{\rho}{R}. \quad (7)$$

Обозначим отношение $\frac{\rho}{R} = i$. Тогда

$$V_N^o = i \cdot V_B \cdot \cos \frac{\Psi}{2}. \quad (8)$$

Скорость V_B в любой момент времени поворота кривошипа равна

$$v_B = \omega \cdot r \cdot \sin \omega t, \quad (9)$$

где ω - угловая скорость кривошипа; r - радиус кривошипа;
 ωt - угол поворота кривошипа.

Взаимосвязь угла поворота кривошипа и угла качания сегмента выражается через конструктивные параметры режущего аппарата следующей зависимостью:

$$\frac{\psi}{2} = \alpha \varepsilon \cos \frac{e}{\sqrt{e^2 + r^2 \cdot \cos^2 \omega t}}, \quad (10)$$

где e - расстояние от оси привода сегмента до оси качания.

Отношение $\frac{e}{r} = i$ также можно выразить через параметры режущего аппарата, а именно:

$$i = \frac{\sqrt{\alpha^2 \cdot \sin^2 \alpha + (L - \sqrt{e^2 + r^2 \cdot \cos^2 \omega t} - \alpha)^2}}{\sqrt{e^2 + r^2 \cdot \cos^2 \omega t}}, \quad (11)$$

где α - угол наклона лезвия сегмента; L - расстояние от вершины сегмента до выбранной точки в проекции на осевую линию сегмента.

Определив значения указанных величин и подставив их в формулы (4 и 8), определим v_n^n и v_n^o .

Практический интерес представляют проекции скорости ножа на две взаимноперпендикулярные оси - нормальную к лезвию сегмента v_n и касательную к нему v_t . Отношение этих проекций определяет коэффициент скольжения ε .

$$\varepsilon = \frac{v_t}{v_n}.$$

Спроецировав составляющие скорости точки лезвия сегмента на нормальное и тангенциальное направления, получим значения коэффициента скольжения для любой точки лезвия в заданный момент времени. При повороте кривошипа от 0 до $\pi/2$

$$\varepsilon = \frac{v_n^o \sin(\beta + \alpha) - v_n^n \cos \alpha - v_m \cos(\alpha + \frac{\psi}{2})}{v_n^o \cos(\beta + \alpha) + v_n^n \cos \alpha + v_m \sin(\alpha + \frac{\psi}{2})}. \quad (12)$$

При повороте кривошипа от $\pi/2$ до π значение ε выражается формулой

$$\varepsilon = \frac{v_n^o \sin(\beta + \alpha) + v_n^n \cos \alpha - v_m \cos(\alpha - \frac{\psi}{2})}{v_n^o \cos(\beta + \alpha) - v_n^n \cos \alpha + v_m \sin(\alpha - \frac{\psi}{2})}. \quad (13)$$

Значение угла β для каждой точки лезвия можно определить по выражению

$$\beta = \alpha \operatorname{ctg} \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha}{L - \alpha - \sqrt{r^2 \cdot \cos^2 \omega t}} \quad (14)$$

На ЭМ были просчитаны значения скоростей нескольких точек лезвия в зависимости от угла поворота кривошипа ωt . При этом конструктивные параметры режущего аппарата были приняты следующие:

$$L = 140 \text{ мм}, \quad e = 70 \text{ мм}, \quad \omega = 47 \text{ с}^{-1}, \quad \alpha \text{ переменными величинами}$$

$$\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ.$$

Зависимости нормальных и касательных скоростей нескольких точек лезвия сегмента от угла поворота кривошипа представлены на рисунке 2а, б, в (кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют скорости V_n для точек с параметром "а" = 0,14, 0,28, 0,42, 0,56 мм, кривые 6—скорость V_n^*).

Анализ составляющих показывает, что скорость вдоль лезвия для всех его точек в данный момент времени имеет одинаковое значение. С увеличением угла наклона лезвия сегмента α значения V_n^* растут, причем в начале резания для $\alpha \leq 30^\circ$ наблюдаются отрицательные значения этой скорости, т.е. касательная скорость направлена к вершине сегмента, для углов $\alpha > 30^\circ$ V_n^* направлена к основанию сегмента, что способствует лучшему заземлению растения. Что касается скоростей нормальных к лезвию, то каждая его точка в данный момент времени имеет свое значение, убывающее от вершины к основанию сегмента. Наибольшее значение скорости V_n у сегмента с углом при вершине $\alpha = 20^\circ$. Некоторые точки, которые расположены ближе к основанию сегмента, имеют отрицательные значения скорости V_n , т.е. они стремятся как бы "убежать" от противорежущей пластины; так у сегмента с $\alpha = 45^\circ$ точка, соответствующая $a = 56$ мм, не будет участвовать в резании, так как уже с самого начала проворачивания кривошипа она имеет отрицательное значение V_n .

Следует отметить, что в отличие от аппарата нормального резания, у которого для всех точек лезвия V_n одинаковы, в данный момент времени для режущего аппарата с качающимися сегментами необходимо рассматривать скорость резания и ее составляющих (V_n и V_n^*) точки именно той, которая в этот момент пересекает противорежущую пластину.

С этой целью нами был построен график зависимости точек лезвия, пересекающих противорежущую пластину, — от угла поворота кривошипа (рис. 2г) и кривые скорости нормальной к лезвию точек "резания". Эти зависимости также представлены на рисунке 2б, в (кривые 7). Для сег-

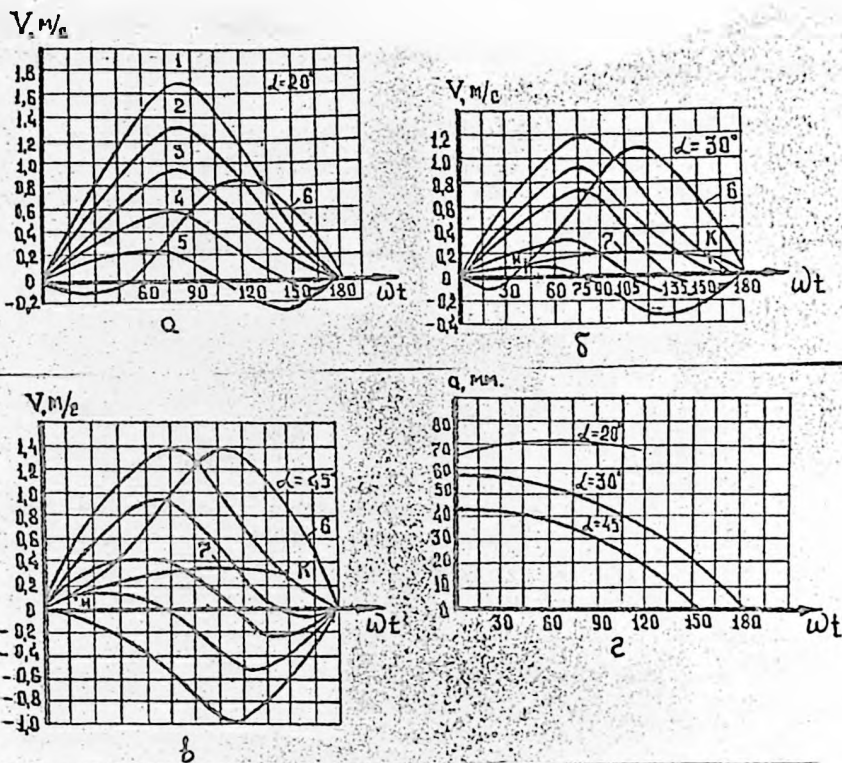


Рис. 2. Зависимость составляющих скорости точек лезвия сегмента (а, б, в) и точек лезвия пересекающих вкладыш (г) от угла поворота кривошипа.

исота с $\alpha = 20^\circ$ и принятым шагом противоборудной часовой $Z_c = 76,2 \text{ мм}$ резания не происходит, т.е. точки лезвия не пересекают вкладыш. Для сегментов с $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ начало и конец резания почти совпадают. У сегмента с углом при вершине $\alpha = 30^\circ$ скорость нормальная к лезвию изменяется незначительно и не превышает значения $0,2 \text{ м/с}$. У сегмента с $\alpha = 45^\circ$ более интенсивное изменение этой скорости и ее величина превышает значение $0,3 \text{ м/с}$.

На рисунке 3 показаны зависимости коэффициента скольжения $\epsilon \tau$ для точек, которые в данный момент поворота кривошипа пересекают про-

творающую пластину.

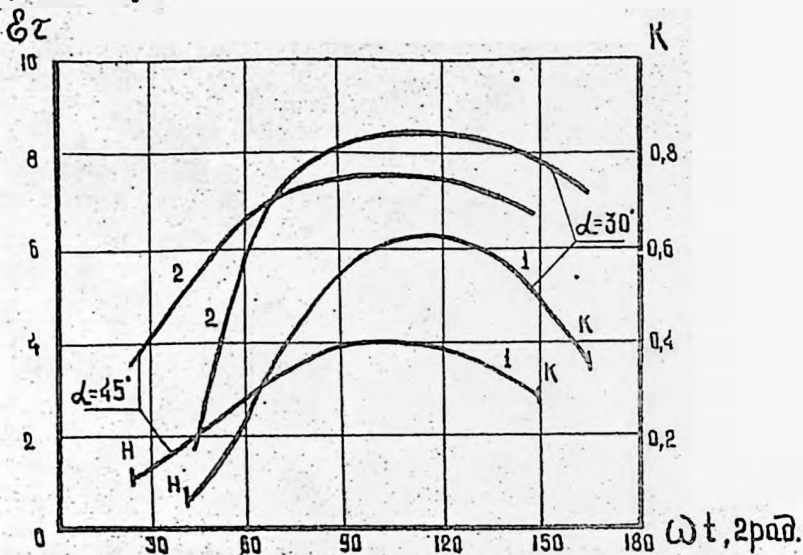


Рис. 3. Зависимость коэффициентов скольжения $\zeta\tau$ и кинематической трансформации угла заточки K от угла поворота кривошипа ωt
 1 - коэффициент скольжения, 2 - коэффициент кинематической трансформации угла заточки.

В обоих случаях резание происходит в основном за счет скользящего движения сегмента, что следует считать положительным, так как при таком резании происходит значительное снижение усилия среза.

Литература

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Под ред. Н.Д. Лучинского. Изд. 2-е. - М.: Колос, 1968, т. 3, с. 26-133.
2. Дельговский В.Н. Экспериментальная теория резания лезвием. - Труды ИЛМЭСХ, М., 1940, вып. 9, с. 27.
3. Резык Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. - М.: Машиностроение, 1975, с. 148-154.
4. Чежмастер М.Р. Режущий аппарат с качающимися на осях сегментами. - Сб.: Механизация возделывания сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке, Благовещенск: ВСХИ, 1973, вып. II, с. 28-30.
5. Чежмастер М.Р. Обоснование некоторых параметров режущего аппарата с качающимися на осях сегментами. - Сб.: Механизация возделывания сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке. - Благовещенск: ВСХИ, 1979, вып. VIII, с. 17-19.