

## **2.2 Расчет параметров сегментно-пальцевого режущего аппарата**

**цель работы.** Ознакомиться с методикой расчета основных параметров сегментно-пальцевого режущего аппарата, основами графического анализа технологии его работы.

**принадлежности.** для выполнения графической части Миллиметровая бумага формата А2, чертежный инструмент, вычислительная техника.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

- Изучить теоретическую часть работы.
- Построить график скоростей резания и определить на нем скорости начала и конца резания. Вычислить аналитически скорости начала и конца резания. Сравнить графические значения скоростей с аналитическими расчетами.
- Построить абсолютные траектории пробега активного лезвия сегмента и диаграмму изменения высоты стерни за 1,5 оборота кривошипа ( три взмаха ножа)
- Определить потребную мощность для работы режущего аппарата.
- Графическая часть работы выполняется в масштабе 1:1. На листе формата А2

### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Жатвенная часть зерноуборочных машин снабжена как правило режущими аппаратами сегментно-пальцевого типа с возвратно-поступательным движением ножа. Они характеризуются следующими параметрами: ход ножа, шаг режущей части, шаг противорежущей части, радиус кривошипа и частота его вращения. Соотношения между этими параметрами определяют тип аппарата: нормального резания, низкого

резания, среднего резания и нормального резания с удвоенным пробегом ножа (рисунок 1).

На жатках современных комбайнов устанавливаются сегментно-пальцевые режущие аппараты нормального резания, у которых шаг режущей части  $t$  (расстояние между осями сегментов) равен шагу противорежущей части  $t_0$  (расстояние между осями пальцев). Ход ножа в таких аппаратах равен удвоенному радиусу кривошипа.

В ходе выполнения работы необходимо: определить путь машины за один ход ножа, построить график скоростей резания и определить начальную и конечную скорости резания; построить график движения активного лезвия сегмента определить характер срезания стеблей; отгибы стеблей; построить диаграмму изменения высоты стерни и рассчитывать затраты энергии на работу режущего аппарата

### **Рисунок 1 Параметры сегментно-пальцевого режущего аппарата**

#### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- Определение скоростей резания.

Нож (сегмент) режущего аппарата совершает колебательные движения вдоль пальцевого бруса со скоростью  $V_c$  и перемещается поступательно вместе с машиной со скоростью  $V$ .

Зависимость, между скоростью ножа  $V$  и его перемещением  $X$  выражается уравнением эллипса  $\frac{V_c^2}{r^2 \omega^2} - \frac{x^2}{r^2} = 1$  у которого малая полуось равна  $r$ , а большая -  $\omega \odot r$ .

Здесь  $X$  – путь ножа, м;

$r$  – радиус кривошипу, м;

$\omega$  – угловая скорость,  $c^{-1}$ .

Для определения скоростей резания необходимо вычертить режущую пару сегмент-противорежущая пластина в масштабе 1:1 согласно размерам, приведенным в таблице 2 (рисунок 2).

Затем вычерчивают эллипс с центром пересечения осей в точке  $O$ , т.е. большая полуось должна проходить по оси противорежущей пластины пальца. Тогда меньшая полуось эллипса определится как расстояние от нижней точки  $A$  сегмента до точки  $O$ , равное радиусу кривошипа.

Проводят две концентрические полуокружности из центра  $O$  радиусами  $r$  и  $r \odot \omega$ . Величину максимальной скорости резания определим по формуле:

$$V_{max} = r \cdot \omega$$

Радиус кривошипа равен  $r = \frac{S}{2} = \frac{t}{2} = \frac{t_0}{2} = \frac{76}{2} = 38$   
мм=0,038 м.

$\omega$  – угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ ; она равна  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ .

Таблица 1 Исходные данные

| №<br>Варианта | Тип<br>режущего<br>аппарата                   | Поступательная<br>скорость<br>комбайна,<br>$V$ , км./ч. | Частота<br>вращения<br>кривошипа, $n$ ,<br>об/мин | Высота<br>среза<br>стеблей<br>$h_{ср}$ . м |
|---------------|---|---|---|--|
| 1             | Нормального резания с одинарным пробегом ножа | 5,62  | 575   | 0,10                                       |
| 2             |   | 5,38  | 560   | 0,12                                       |
| 3             |   | 5,35  | 550   | 0,15                                       |
| 4             |   | 6,05  | 90  | 0,13                                       |
| 5             |   | 5,52  | 560   | 0,11                                       |
| 6             |   | 5,60  | 530   | 0,15                                       |
| 7             |   | 5,72  | 545   | 0,12                                       |
| 8             |   | 6,12  | 630   | 0,15                                       |
| 9             |   | 5,63  | 535   | 0,12                                       |
| 10            |   | 5,54  | 565   | 0,12                                       |
| 11            |   | 5,65  | 545   | 0,15                                       |
| 12            |   | 6,13  | 600   | 0,13                                       |
| 13            |   | 5,77  | 590   | 0,14                                       |
| 14            |   | 5,48  | 550   | 0,13                                       |
| 15            |   | 5,75  | 555   | 0,12                                       |

Таблица 2 Исходные данные

| Размеры режущей пары, мм. $h_1, b_1$ |       |     |     |     |     |      |     |     |       |       |      |          |
|--------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|-------|------|----------|
| $t$                                  | $t_0$ | $r$ | $c$ | $l$ | $m$ | $h'$ | $a$ | $K$ | $H_1$ | $B_1$ | $b'$ | $b_{cp}$ |
| 76                                   | 76    | 38  | 75  | 52  | 13  | 55   | 25  | 15  | 57    | 22    | 20   | 21       |

### Рисунок 2 К определению скоростей резания

Масштаб для  $r$  - в 1 мм чертежа 1 мм радиуса  $r$ . Масштаб скоростей  $\mu_v$  - в 1 мм чертежа 0,02 м/с скорости  $\omega \odot r$ . Разделив полуокружности на любое количество частей, провести из центра 0 лучи, пересекающие эти полуокружности в точках их деления (0-1-1'; 0-2-2'; 0-3-3' и т.д.).

Соединить горизонтальными и вертикальными точки деления на малой и большой полуокружностях. Полученные на пересечениях вертикалей и горизонталей точки 1"; 2"; 3" и т.д. соединить плавной кривой; получим эллипс.

Скорость начала резания на графике скоростей резания (эллипсе) определяется следующим образом. Так как процесс резания стеблей режущих аппаратом уборочных машин происходит по принципу работы ножниц, то по аналогии с ним процесс срезания стеблей сегментом начнется в тот момент, когда точка  $A$  его лезвия  $AB$  встретится с точкой  $A_1$  противо-

режущей пластины направление движения сегмента к противорежущей пластине слева направо) и займет положение  $A_1B_1$ . Скорость начала резания выразится отрезком  $A_1C$ , умноженным на масштаб скоростей  $\mu_v$ :

$$V_H = A_1C \cdot \mu_v, \quad (3)$$

где  $V_H$  – начальная скорость резания, м/с;

$A_1C$  – отрезок, представляющий собой начальную скорость резания в масштабе м/с в мм;

$\mu_v$  – масштаб скорости 0,02 м/с в мм.

Скорость конца резания  $V_k$  определится в тот момент, когда верхняя точка сегмента В встретится с лезвием противорежущей пластины в точке  $B_2$  и сегмент займет положение  $A_2B_2$ . Скорость конца резания выразится отрезком  $A_2D$ , умноженным на масштаб скоростей

$\mu_v$ :

$$V_k = A_2D \cdot \mu_{v\text{ ж}}, \quad (4)$$

где  $V_k$  – конечная скорость резания, м/с;

$A_2D$  – отрезок, представляющий собой конечную скорость резания, в масштабе м/с, мм.

Кривая  $CD$  на графике скоростей представляет собой изменение скорости резания от начальной в точке  $C$  до конечной – в точке  $D$ . Максимальной скорости резания, равной  $\omega \cdot r$  на графике соответствует отрезок 0-3". Если из точки 0 провести линию  $OB$ , параллельную лезвию сегмента и точку  $K'$  ее пересечения с лезвием  $A_1K$  противорежущей пластины спроектировать на лезвие  $AB$  (первоначальное положение сегмента), то получим точку  $E$  на лезвии сегмента, которая и соответствует максимальной скорости резания  $V_{\max} = r \cdot \omega$

- Построение абсолютных траекторий пробега активного сегмента.

Траектория любой точки сегмента представляет собой косинусоиду.

Определяем перемещение комбайна за время полуоборота кривошипа привода ножа по формуле:

шипа привода ножа по формуле:

$$L = \frac{30 \cdot V}{n}, \quad (5)$$

где  $L$  – перемещение комбайна за время одного взмаха ножей, м;

$V$  – скорость комбайна, м/с;

$n$  – частота вращения кривошипа, об/мин.

Проводим две параллельные осевые линии М - М на расстоянии  $t = t_0 = 76$  мм (построение ведется в масштабе 1:1). Первоначальное положение сегмента 1 располагают на чертеже внизу слева (рисунок 3).

Проводим четыре горизонтальные линии, отстоящие друг от друга на величину  $L$ , и вычерчиваем положение сегмента за четыре последовательных хода его: 1, 2, 3, 4.

Складывая геометрические перемещения сегмента в переносном (вместе с машиной) и относительном (вдоль пальцевого бруса) движениях, строим траекторию абсолютного движения какой-либо точки сегмента, например точки  $A_0$ . Для этого из точки  $A_0$  вправо делаем на горизонтали засечку радиусом  $r = A_0O$  и из полученной точки  $O$  тем же радиусом проводим полуокружность. Подачу  $L$  и полуокружность делим на одинаковое число равных частей (удобно разделить на 6 частей). Точки деления подачи обозначают 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 и через них проводим горизонтальные линии, а через точки 1

2', 3' 4', 5' на полуокружности проводим вертикальные линии; пересечения горизонтальных и вертикальных линий одноименных точек соединяем плавной кривой - косинусоидой. Траектории движения точек  $B$ ,  $C$ , и  $D$  сегмента - аналогичны построенной.

Построив траектории абсолютного движения активного лезвия сегмента за три взмаха ножа (1,5 оборота кривошипа), определяем характер отгибов стеблей при срезе.

- Определение отгибов стеблей и построение диаграммы изменения высоты стерни.

Траектории двух противорежущих смежных пластин, расположенных на расстоянии  $t_0$ , представим в виде параллельных линий, расположенных по обе стороны осевых линий  $M - M$  на расстоянии  $b_{cp}$  (рисунок 3).

Так как большая часть стеблей при срезе отклоняется сегментом к пальцам и, следовательно, срезается, в наклонном положении, то и высота стерни будет разная.

Характер и величина отгиба стеблей различны и зависят от места расположения стеблей между пальцами режущего аппарата его конструктивных особенностей и режима работы.

Для выяснения характера и величины отгиба стеблей рассматривают один рядок стеблей  $P-P$ , расположенный у кромки одного пальца (правого).

По характеру отгиба стебли данного рядка могут быть разбиты на три группы:  $K_1 K_2$  и  $K_4 K_5$  -1-я группа;  $K_2 K_3$  -2-я группа;  $K_3 K_4$  -3-я группа.

Стебли на участке  $K_1 K_2$  и  $K_4 K_5$  - срезаются без отгиба, т.е. высота стерни будет равна высоте установки режущего аппарата  $h_{cp}$ .

Стебли второй группы (участок  $K_2K_3$  отклоняются влево – вперед и срезаются у правого лезвия левой противорежущей пластины). Такой отгиб стеблей называется поперечным.

Для определения величины поперечного отгиба  $q_{max}$  строят прямоугольный треугольник с катетами  $L$  и  $\pi r$ , Гипотенуза этого треугольника дает направление поперечного отгиба стеблей при срезе, а отрезок  $a$  -  $a$  этой гипотенузы, заключенный между осевой линией правого пальца и кромкой лезвия левого пальца и есть максимальная величина поперечного отгиба.

Аналитически величина максимального поперечного отгиба стеблей определяется по формуле

$$q_{max} = \left( t_0 - \frac{b_{cp}}{2} \right) \sqrt{1 + \left( \frac{L}{\pi r} \right)^2}. \quad (6)$$

Стебли третьей группы (участок  $K_3K_4$ ) отклоняются вперед по ходу машины и срезаются пучком в точке  $K_4$ . Такой отгиб стеблей называется продольным. Величина продольного отгиба  $K_3K_4$  может быть определена по формуле

$$l_{max} = AL - h', \quad (7)$$

где  $l_{max}$  – максимальный продольный отгиб, мм;

$A$  – коэффициент, зависящий от типа режущего аппарата, конструктивных размеров сегмента, пальца; для аппаратов нормального резания  $A = 1,27-1,29$ ;

$h'$  – высота сегмента, мм.

Диаграмму изменения высоты стерни строят в функции перемещения машины.

На чертеже вправо от графика пробега активного лезвия сегмента проводим вертикальную ось  $O_1X$  (на этой оси будет располагаться поверхность поля) и горизонтальную ось  $H$  стерни.

На уровне высоты среза стеблей  $h_{cp}$  от поверхности поля проводим линию  $MN$  такой высоты будет стерня для стеблей, которые срезаются у лезвия кромки правого пальца без отгиба.

График высоты стерни для стеблей первой группы  $K_1K_2$  (на диаграмме  $K_1'K_2'$  есть прямая, линия  $K_1'K_2'$  параллельная оси  $O_1X$  и отстоящая от нее на величину  $h_{cp}$ ).

Без отгибов будут срезаться и стебли, расположенные на участке  $K_4K_5$  соответственно на диаграмме  $K_4K_5$ . Высота стерни после их среза будет, равна  $h_{cp}$ . График высоты стерни для них будет также прямой линией  $K_4K_5$ .

Стебли второй группы, расположенные на участке  $K_2K_3$  соответственно на диаграмме  $K_2K_3$  было установлено ранее срезаются с поперечным отгибом  $q_{max}$ .

Высота стерни  $H''_{стер}$  всех стеблей этой группы одинаковая, но больше высоты установки режущего аппарата  $A$ . Высоту стерни для стеблей, срезанных с поперечным отгибом, определяют графически, построив прямоугольный треугольник с катетами  $h_{cp}$  и  $q_{max}$ . Гипотенуза этого треугольника и есть высота стерни стеблей второй группы. График высоты стерни для стеблей второй группы (отрезок  $K_2K_3$ ) представляет собой прямую линию  $K''_2K''_3$ , параллельную оси  $O_1X$  и отстоящую от нее на величину  $H''_{стер}$ .

Аналитически высота стерни для этих стеблей равна

$$H''_{стер} = \sqrt{q_{max}^2 + h_{cp}^2} \quad (8)$$

Стебли третьей группы (отрезок  $K_3K_4$ ) имеют после среза неодинаковую высоту стерни, так как у каждого из них разная величина продольного отгиба, а срезаются все пучком в одной точке  $K_4$ .

Высоту стерни для этой группы стеблей определяется графически следующим образом. Стебель, расположенный в точке  $K_3$  срежется, отогнувшись вперед по ходу машины только в точке  $K_4$ . Значит его продольный отгиб будет максимальным  $l_{max}$ . Стебли, расположенные за ним по ходу машины, будут естественно отклоняться к точке среза  $K_4$  с меньшими отгибами, а стебель, расположенный в точке  $K_4$ , срежется без отгиба.

Построив прямоугольный треугольник со сторонами  $h_{cp}$  и  $l_{max}$  и, отложив на стороне  $l_{max}$  несколько величин, можно определить высоту стерни  $H_{стер}^{III}$ , соответствующую максимальному продольному отгибу стебля  $l_{max}$  и высоту стерни для промежуточных стеблей от  $K'_3$  и  $K'_4$ .

На диаграмме высота стерни стебля, срезанного с максимальным продольным отгибом будет равна  $K'_3K'''_3 = H_{стер}^{III}$ . Для других стеблей, расположенных между точками  $K'_3$  и  $K'_4$  высота стерни берется из прямоугольника - это соответствующие  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$  гипотенузы.

График высоты стерни для этой группы стеблей  $K_3K_4$  будет представлять собой кривую линию  $K'''_3K''_4$ .

За точкой  $K_4$  стебли будут срезаться без отгиба и график высоты

стерни для стеблей на участке  $K'_4K'_5$  будет представлять собой прямую линию  $K''_4K''_5$  параллельную поверхности поля на высоте  $h_{cp}$ .

Таким образом, ломанная линия  $K''_1K''_2K''_2K''_3K''_3K''_4K''_5$  представляет собой график изменения высота стерни для ряда  $K_1K_5$  срезаемых стеблей.

Среднюю высоту стерни можно определить по формуле:

$$H_{cp} = \frac{F}{3L}, \quad (9)$$

где  $H_{cp}$  – средняя высота стерни, м;

$L$  – перемещение комбайна за один взмах ножа, м;

$F$  – площадь фигуры  $K''_1 K''_5 K''_5 K''_4 K''_3 K''_3 K''_2 K''_2 K''_1 K''_1$ , м.

- Мощность на работу режущего аппарата равна

$$N = \frac{R_{max} \omega r}{1000}, \quad (10)$$

где  $N$  – мощность, кВт;

$\omega$  – угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ ;

$r$  – радиус кривошипа, равный 0,038 м;

$R_{max}$  – максимальная сила сопротивления, возникающая при работе режущего аппарата, Н.

$$R_{max} = U + Q + F = B_{ж} (m\omega^2 r + q_p + fmg), \quad (11)$$

где  $U$  – максимальная сила инерции ножа, Н;

$Q$  – сила сопротивления резанию, Н;

$F$  – сила трения, Н;

$m$  – масса одного погонного метра ножа; принимается равной 2,0-2,3 кг/м;

$q_{ж}$  – удельное сопротивление резанию, для зерновых культур можно принять  $q_p = 50-70$  н/м;

$f$  – коэффициент трения, 0,4-0,5;

$g$  – ускорение силы тяжести, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$B_{ж}$  – ширина захвата жатки, м.

Пример. Дано: Тип режущего аппарата - нормального резания;

$t = t_0 = 76$  мм. Скорость комбайна  $V_k = 6,4$  км/ч, высота среза,  $h_{cp} = 0,12$  м, ширина захвата жатки  $B_{жс} = 6$  м.

- Максимальная скорость резания

$$V_{\max} = r \cdot \omega = 0,038 \cdot 68 = 2,584 \text{ м/с.}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 650}{30} = 68 \text{ с}^{-1}$$

- Начальная скорость резания

$$V_H = A_1 C \cdot \mu_v = 93 \cdot 0,02 = 1,86 \text{ м/с.}$$

- Конечная скорость резания

$$V_K = A_2 D \mu_v = 74 \cdot 0,02 = 1,48 \text{ м/с.}$$

- Перемещение комбайна за время одного взмаха ножа

$$L = \frac{30 \cdot V_k}{n} = \frac{30 \cdot 6,4}{650 \cdot 3,6} = 0,082 \text{ м.}$$

- Максимальный поперечный отгиб

$$q_{\max} = \left( t - \frac{b_{cp}}{2} \right) \sqrt{1 + \left( \frac{L}{\pi r} \right)^2} = (76 + 16) \sqrt{1 + \left( \frac{82}{3,14 \cdot 38} \right)^2} = 112 \text{ мм.}$$

- Максимальный продольный отгиб

$$l_{max} = AL - h' = 1,29 \cdot 82 - 55 = 51 \text{ мм}$$

- Высота стерни при поперечном отгибе стеблей

$$H^{\text{II}}_{\text{стерн}} = \sqrt{q_{\text{max}}^2 + h_{\text{cp}}^2} = \sqrt{112^2 + 120^2} = 164 \text{ мм.}$$

- Высота стерни при максимальном продольном отгибе стеблей

$$H^{\text{III}}_{\text{стерн}} = \sqrt{l_{\text{max}}^2 + h_{\text{cp}}^2} = \sqrt{51^2 + 120^2} = 130 \text{ мм.}$$

- Средняя высота среза

$$H_{\text{сред}} = \frac{F}{2L} = \frac{31980}{3 \cdot 82} = 129 \text{ мм.}$$

- Мощность на работу режущего аппарата

$$N = \frac{R_{\text{max}} \omega r}{1000} = \frac{2910 \cdot 68 \cdot 0,038}{1000} = 7,5 \text{ кВт}$$

$$R_{\text{max}} = U + Q + F = B_{\text{ж}} (m \omega^2 r + q_p + fmg) =$$

$$6 (2,3 \cdot 68^2 \cdot 0,038 + 70 + 0,5 \cdot 2,3 \cdot 9,81) = 2910 \text{ Н}$$

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется в соответствии с предложенным порядком выполнения расчетной и графической части работы. В заключении делаются необходимые выводы.