

Е.В.Герасимов, С.А.Овсянников, Г.Г. Шматко



*ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И  
ОБОРУДОВАНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ*

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ*

УДК 631.354.2(075.8)

ББК 40.728 я 7

О 624

**Составители:**

*Е.В.Герасимов, С.А.Овсянников, Г.Г. Шматко*

**Рецензент**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технического сервиса, стандартизации и метрологии» *Р. В. Павлюк*

О 624 ***Проектирование сельскохозяйственных машин и оборудования в растениеводстве:*** методические указания / Е.В.Герасимов, С.А.Овсянников, Г.Г. Шматко; Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь: АГРУС, 2023. - 26 с.

Методические указания содержат сведения о ее структуре, содержании, объёме, приводятся рекомендации по оформлению разделов работы, основные требования, предъявляемые к рабочим органам зерноуборочных машин, методика инженерных расчётов параметров их рабочих органов.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям: 35.04.06 - «Агроинженерия».

УДК 631.354.2(075.8)

ББК 40.728 я 7

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета Ставропольского государственного аграрного университета (протокол №3 от 20.03.2023).*

© ФГБОУ ВО СтГАУ, 2023

## Введение

В общем комплексе работ по возделыванию зерновых культур наиболее сложным и трудоемким процессом является уборка. При этом основным техническим средством уборки зерновых, культур во всем мире остаются зерноуборочные комбайны. Они постоянно совершенствуются в конструктивном и технологическом плане.

Зерноуборочный комбайн - это рациональная мобильная технологическая линия с комплексной текущей механизацией всех операций: от скашивания хлебостоя (подбор валков) к выгрузке очищенного зерна непосредственно в поле. Выбор технологии сборки НЧУ зависит от дальнейшего ее использования. Вместе традиционным комбайновым способом уборки хлебов присущи существенные недостатки, которые побуждают специалистов к поиску "некомбайновых" технологий. Однако до сих пор не разработана технология, которая могла бы конкурировать с комбайновой [1].

Основная цель совершенствования конструкций зерноуборочных комбайнов - это улучшение удобства эксплуатации и повышения их технического уровня благодаря уменьшению потерь и травмирования зерна, увеличению производительности, обеспечению стабильного протекания технологического процесса, созданию комфортных и безопасных условий работы, уменьшению негативного воздействия на почву, широкому применению цифровых технологий. Приобретает все большую актуальность применение GPS-навигации [4,5], систем картирования урожайности и других способов автоматизации уборочных работ. Совершенствуются как комбайны с традиционными молотилками тангенциального типа, так и с аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системой. Анализ европейского рынка зерноуборочных комбайнов показывает, что по-прежнему доминируют в продаже усовершенствованные комбайны с классической схемой молотилки. У них интенсифицирован процесс сепарации зерна в зоне обмолота, уменьшена нагрузка на комбайнера, повышен уровень энергонасыщенности. Все это направлено на сокращение потерь и повышение производительности труда на уборке урожая зерновых культур [6].

Цель курсовой работы - закрепление и углубление полученных за время обучения знаний по устройству зерноуборочного комбайна и влиянию конструктивных и технологических параметров на качество его работы.

## ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

### Курсовая работа должна содержать:

- расчетно-пояснительную записку объемом 25-30 страниц рукописного текста формата А4.
- графическую часть - два листа формата А3.

### Содержание графических работ:

1. Графические построения по мотовилу - 1 лист формата А3.
2. Графические построения по режущему аппарату - 1 лист формата А3.

Все построения выполнить в стандартном масштабе с учетом результатов выполненных расчетов.

### Исходные данные для расчетов:

1. Радиус мотовила  $r, м$
2. Высота стеблестоя  $L, м$
3. Высота установки режущего аппарата  $H, м$
4. Число планок мотовила  $z, шт$
5. Ход ножа  $S, мм$
6. Частота вращения кривошипа привода ножа -  $n, с^{-1}$
7. Подача хлебной массы  $q, кг / с$
8. Урожайность культуры  $A, т / га$
9. Соломистость убираемой массы  $\beta$

## СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

### Введение

1. Мотовило: требования, определение коэффициента взаимодействия его с режущим аппаратом.

2. Режущий аппарат: требования, определение относительных скоростей начала и конца резания стеблей, построение графика пробега активной части режущих кромок сегмента, построение графика высоты стерни и определение величины потерь срезаемой массы.

3. Определение ширины захвата жатки.

4. Шнековый транспортер жатки: требования, определение геометрических параметров шнека.

5. Уплотнительные устройства жатки.

6. Молотильный аппарат: требования, определение конструктивных параметров барабана, деки, отбойного битера, отсекателя, уплотнительных устройств.

7. Очистка: требования, определение конструктивных параметров решет, удлинителя верхнего решета, скатной доски колосового шнека.

8. Вентилятор очистки: требования, определение конструктивных параметров, расположение решет относительно вентилятора.

9. Копнитель: требования, определение конструктивных параметров, положение переднего конца днища отсекавателя соломонабивателя и щитка сброса соломы.

10. Бункер: требования, определение конструктивных и технологических параметров.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 1. Мотовило (рис. 1)

#### 1.1. Требования к мотовилу [7]:

- стебли должны срезаться при воздействии планок мотовила, чтобы не допускать потерь срезанными колосьями за счет падения их на землю;
- при входе в хлебную массу планка мотовила не должна вымолачивать и отбивать колосья;
- при воздействии мотовила на стебли, срезанная часть их не должна теряться на землю, переваливаясь через планку;
- планки мотовила должны эффективно очищать режущий аппарат от срезанных стеблей, предупреждая самопроизвольное падение их на землю;
- планки мотовила должны прижимать срезанные стебли к виткам шнека, чтобы предотвратить порционную подачу массы и исключить потери срезанных стеблей за счет столкновения их на землю, а также предотвратить потери зерна в полову и солому из-за временных перегрузок молотильного аппарата, соломотряса и очистки.

#### 1.2. Показатель кинематического режима

С учетом выполнения 2-го и 3-го требований к мотовилу, кинематический режим  $\lambda$  определить из выражения:

$$\lambda = \frac{r}{r - l_{\text{ц}}} \quad (1)$$

где  $r$  - радиус мотовила;

$l_{\text{ц}}$  - расстояние от центра тяжести срезанной части стебля до его вершины, м.

$$l_{ц} = \frac{l^2}{1.6(1+l)} \quad (2)$$

где  $l$  - длина срезанной части стебля,  $l=L-H$ , м.

### 1.3. Построение траектории движения концов 4-х смежных планок мотовила.

На листе формата  $A_2$  в масштабе  $\mu_s = 5 \text{ мм/мм}$  нанести линии: поверхность поля, движения режущего аппарата, высоты стебле-стоя, а также движения вала мотовила, приняв величину  $h=1-l_{ц}+r$ .

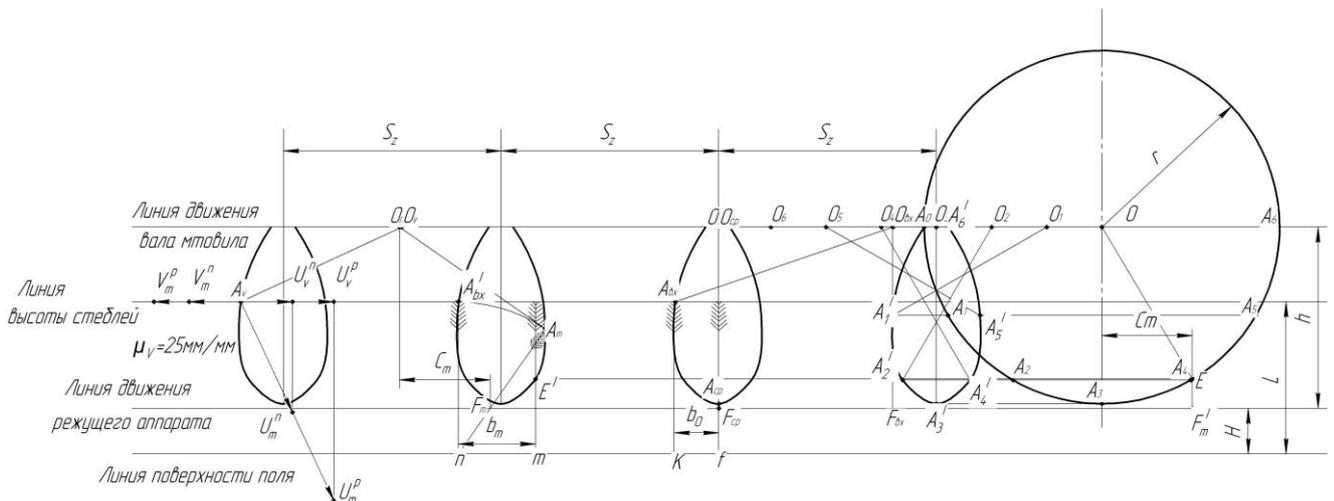


Рисунок 1. Графическое построение по мотовилу.

Провести окружность радиуса заданного  $r$  с центром в точке  $O$ , которую принять за траекторию относительного перемещения конца планки мотовила.

Построить траекторию абсолютного перемещения конца планки мотовила, геометрически складывая перемещения переносное и относительное.

Из точки  $O$  отложить влево точки  $O_1, O_2, O_3 \dots O_6$  - положение вала мотовила в переносном движении через каждые  $1/6$  полуоборота, расстояние между которыми  $O_0O_1, O_1O_2 \dots$  равно  $\pi r / 6\lambda$ .

Разделить нижнюю полуокружность на 6 равных частей и точки деления обозначить  $A_0, A_1 \dots A_6$  - положение конца планки через каждые  $1/6$  полуоборота вала в относительном перемещении.

За время  $1/6$  полуоборота вала мотовила конец планки в относительном движении пройдет путь  $A_0A_1$ , а в переносном -  $A_1A'_1 = O_0O_1$ , с учетом того, что  $A_1A'_1 \parallel O_0O_1$ . Следовательно, в абсолютном перемещении конец планки мотовила окажется в точке

$A'_1$ .

За время  $2/6$  полуоборота вала конец планки в относительном движении окажется в точке  $A_2$ , а в абсолютном - в точке  $A'_2$ . Таким же образом определяют положение конца планки в абсолютном перемещении через  $3/6$ ,  $4/6$ ,  $5/6$  полуоборота вала. И, наконец, через полуоборот вала конец планки займет в относительном движении положение точки  $A_6$ , а в абсолютном - точки  $A'_6$ .

Последовательно проводя через точки  $A'_0, A'_1 \dots A'_6$  плавную кривую, получают траекторию абсолютного перемещения конца планки мотвила (рис.2).

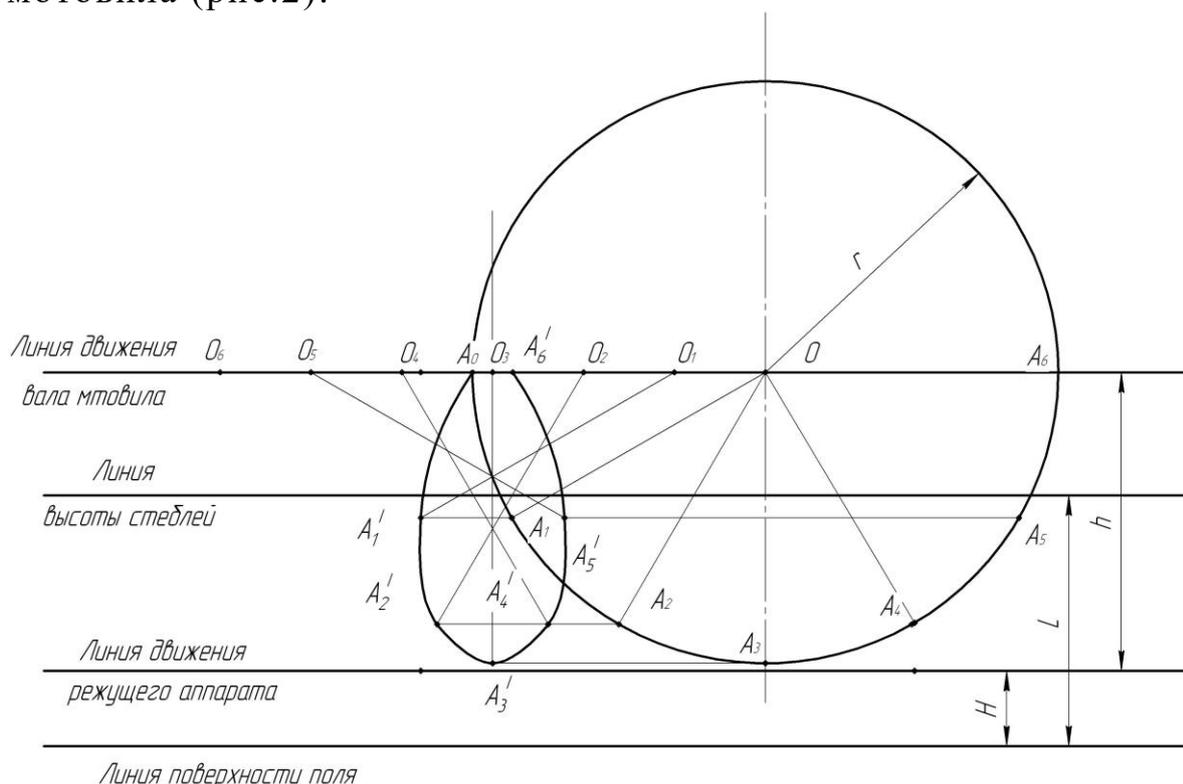


Рисунок 2. Построение траектории движения конца планки мотвила.

Методом подобия построить еще 3 петли циклоид, образованных смежными планками при их последовательном вхождении в хлебную массу, с расстоянием между их осями симметрии  $S_z = 2\pi r / \lambda z$ , где  $z$  - число планок мотвила.

#### 1.4. Определение к. п. д. мотвила

К. п. д. мотвила, т. е. коэффициент взаимодействия мотвила с режущим аппаратом, характеризуется отношением полосы стеб-

лей  $b^д$ , срезаемых режущим аппаратом при воздействии планки мотвила, к полоске  $S_z$  срезанных стеблей до входа смежной планки в хлебную массу[2]:

$$\eta = \frac{b^д}{S_z}$$

Полоска  $b^д$  равна:

$$b^д = \varepsilon b = \frac{\lambda}{\lambda - \mu} b,$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент, учитывающий взаимодействие стеблей;

$b$  - ширина полоски стеблей на редком хлебое;е;

$\mu$  - показатель относительного уплотнения хлебной массы в зависимости от густоты и толщины стеблей; он находится в пределах  $\mu = 0 \dots 1$ . Принять  $\mu = 0.5$ .

#### 1.4.1. Определение к. п. д. мотвила при установке его вала над режущим аппаратом

На 2-й петле циклоиды нанести положение луча  $O_{\dot{a}x}A_{\dot{a}x}$  и ножа  $F_{\dot{a}x}$  в момент входа планки в хлебную массу (Рис. 3).

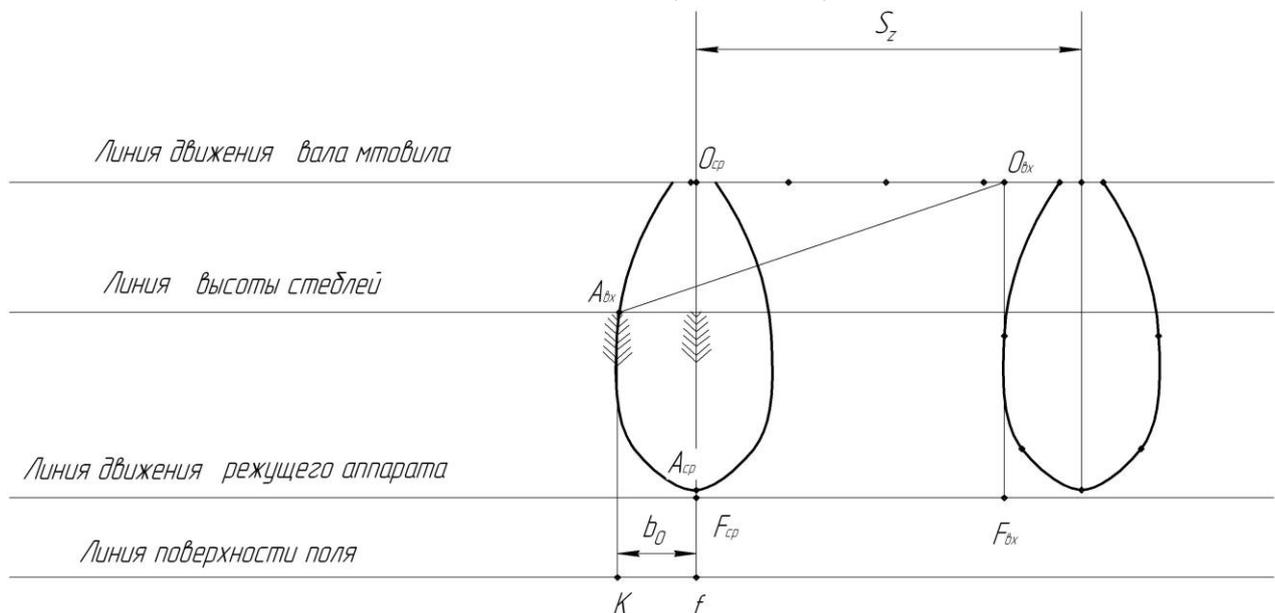


Рисунок 3. Определение к. п. д. мотвила при установке его вала над режущим аппаратом.

Стебель  $A_{\dot{a}x}K$  - начало полосы стеблестоя, захватываемой планкой. Конец планки в абсолютном движении смещается вниз-назад, а нож вперед. В момент, когда на одной вертикали окажутся



В этот момент вал мотвила займет положение  $O_m$ , полученное с помощью циркуля, радиусом  $A_m O_m = r$ . В таком положении стебля режущий аппарат должен успеть его срезать, т.е. должен располагаться в точке  $F_m$ . Максимально допустимый вынос вала мотвила  $s_m$  окажется между вертикалями, проведенными через точки  $O_m$  и  $F_m$ .

От вертикали, проведенной через точку  $O_o$ , отложить вправо  $S_m$  и отметить точку  $F'_m$  - положение ножа. Тогда  $O_o E$  в относительном перемещении представляет собой положение луча в момент среза первого стебля. Перенести точку  $E$  на траекторию планки в абсолютном перемещении в точку  $E'$ . Тогда  $E'_m$  будет первым стеблем, срезаемым режущим аппаратом при воздействии мотвила. Так как последним срезанным стеблем будет  $A'_{ax} n$ , то ширина полоски, срезаемой при воздействии и мотвила, будет  $b_m$ . Если же учесть толщину стеблей и густоту их стояния, то действительная ширина полоски  $b_m^{\Delta} = \epsilon b_m$ , а действительный к. п. д.

$$\eta_m = \frac{b_m^{\Delta}}{S_z} = \frac{\epsilon b_m}{S_z}.$$

### 1.5. Определение максимально допустимой скорости $V_m$ жатки

На 4-й петле циклоиды нанести положение луча  $O_v A_v = r$  в момент входа планки в хлебную массу (рис.5).

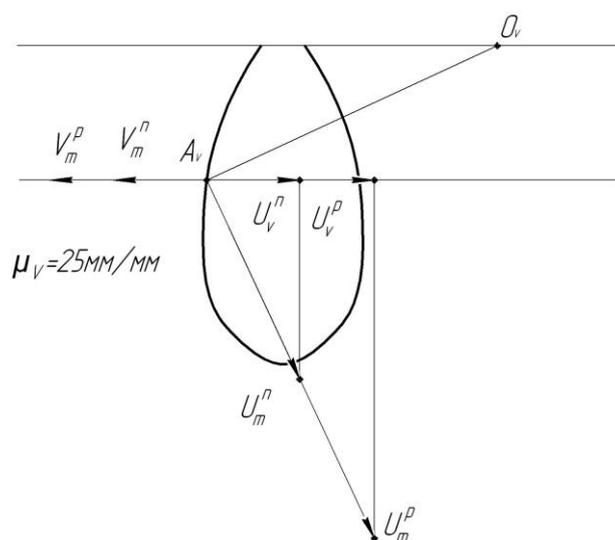


Рисунок 5. Определение максимально допустимой скорости  $V_m$  жатки.

Из точки  $A_v$  провести в произвольном масштабе векторы максимально допустимой окружной скорости планки из условия выполнения 2-го требования, равные  $U_m^n = 2$  м/с на прямом комбайнировании и  $U_m^p = 3.6$  м/с при кошении хлебов в валок и спроецировать их на направление вектора  $V$  переносной скорости жатки.

Для выполнения 2-го требования к мотовилу необходимо, чтобы планка входила в хлебную массу вертикально, т.е. с абсолютной скоростью в направлении перемещения жатки, равной нулю. С учетом этого требования максимально допустимая скорость жатки будет равна на прямом комбайнировании  $V_m^n = U_v^n$ , а при кошении в валок  $V_m^p = U_v^p$ .

## 2. Режущий аппарат

### 2.1. Требования к режущему аппарату[7]:

- для качественного среза стеблей скорость резания должна быть не менее 1,2 м/с для срезания трав и 0,8 м/с - для хлебов;
- потери растений за счет повышенного и двойного среза должны быть минимальными;
- для снижения энергоемкости процесса и повышения износостойкости рабочих органов режущего аппарата сопротивление среза должно быть минимальным.

### 2.2. Относительные скорости начала и конца резания стеблей

По исходным данным и рис. 6 вычертить сегмент и два пальца на листе формата  $A_3$  в масштабе  $\mu_s = 0,5$  мм/мм. При этом осевые линии двух смежных пальцев NN и сегмента в его крайних положениях MM провести через весь лист (рис. 9). В случае, если  $S=t_0$ , осевые линии NN и MM совмещаются.

Срез растений сегментом при его движении вправо (рис. 7) осуществляется рабочей кромкой  $A_0B_0$ . Начинается срез, когда точка  $A_0$  подойдет к левой рабочей кромке правого пальца, а заканчивается при подходе точки  $B_0$  к той же рабочей кромке. Чтобы определить, какова была скорость сегмента в момент начала и конца резания, построить график скорости точки  $A_0$  сегмента в зависимости от ее относительного перемещения по пальцевому брусу. Для этого от точки  $A_0$  радиусом  $r = 1/2 \cdot S$  находят точку O и проводят из нее полуокружность  $A_0A'_0$ .

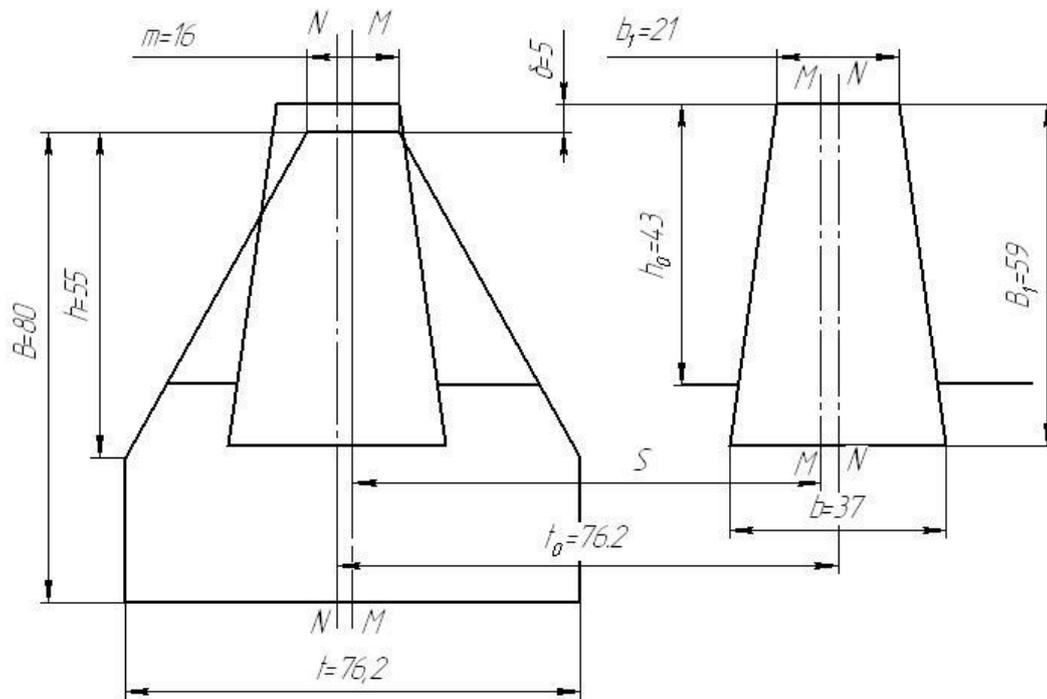


Рисунок 6. Геометрические параметры сегмента и пальца режущего аппарата.

Принять точку  $A_0$  за начало прямоугольной системы координат. По оси абсцисс отметить путь относительного перемещения точки  $A_0$ , а по оси ординат - соответственно этому перемещению относительную скорость  $V$ .

Точка  $A_0$  в относительном перемещении совершает гармонические колебания. Если построить график  $V=f(x)$  в масштабе  $\mu_v = \omega$  м/с на 1 мм, то данный график принимает вид ранее вычерченной полуокружности  $A_0A'_0$ .

Из графика  $V=f(x)$ , учитывая, что угловая скорость кривошипного вала  $\omega = \pi n / 30$ , получим:

$$\text{скорость начала резания } V_n = (A_n V_n) \pi n / 30, \text{ м/с;}$$

$$\text{скорость конца резания } V_k = (A_k V_k) \pi n / 30, \text{ м/с;}$$

здесь  $A_n V_n$  и  $A_k V_k$  представляют в метрах.

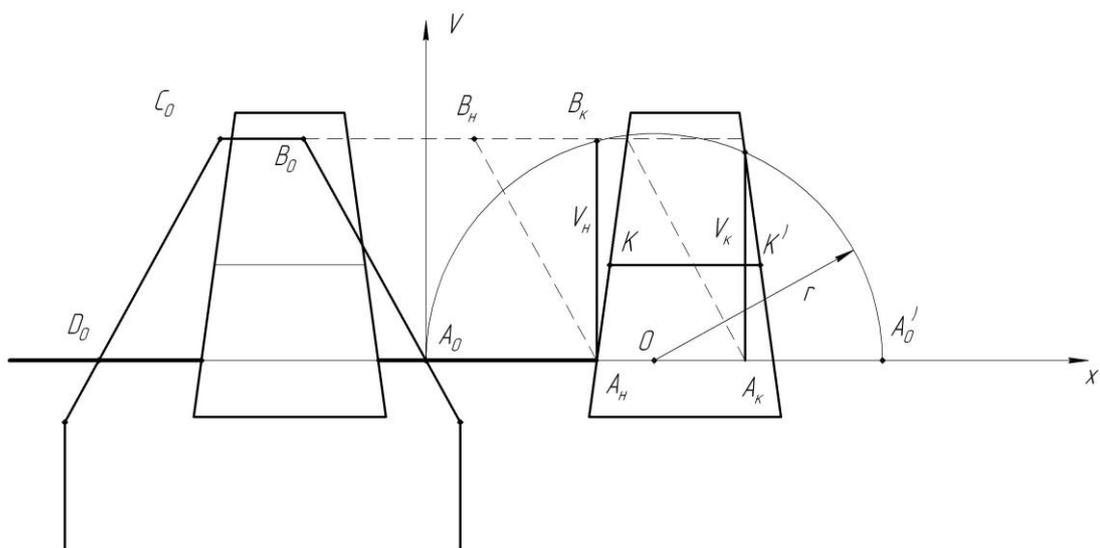


Рисунок 7. Определение скорости сегмента в момент начала и конца резания.

### 2.3. График пробега активной части режущих кромок сегмента (рис. 8)

Так как рабочая кромка противорежущей пластины пальца  $A_H B_K$  не параллельна оси  $NN$ , то срез стеблей от этой оси будет происходить на разном расстоянии. Для упрощения решения поставленной задачи (в учебных целях) вместо формы рабочей части пальца в виде трапеции  $A_H B_K B' A'$  вычертить равновеликий прямоугольник с шириной, равной величине средней линии  $KK'$  трапеции и считать противорежущую пластину в виде прямоугольника шириной  $b_{cp} = KK'$ .

Провести режущие кромки левого и правого упрощенных пальцев вдоль всего листа, отложив от осевых линий  $NN$  величину равную  $1/2 b_{cp}$

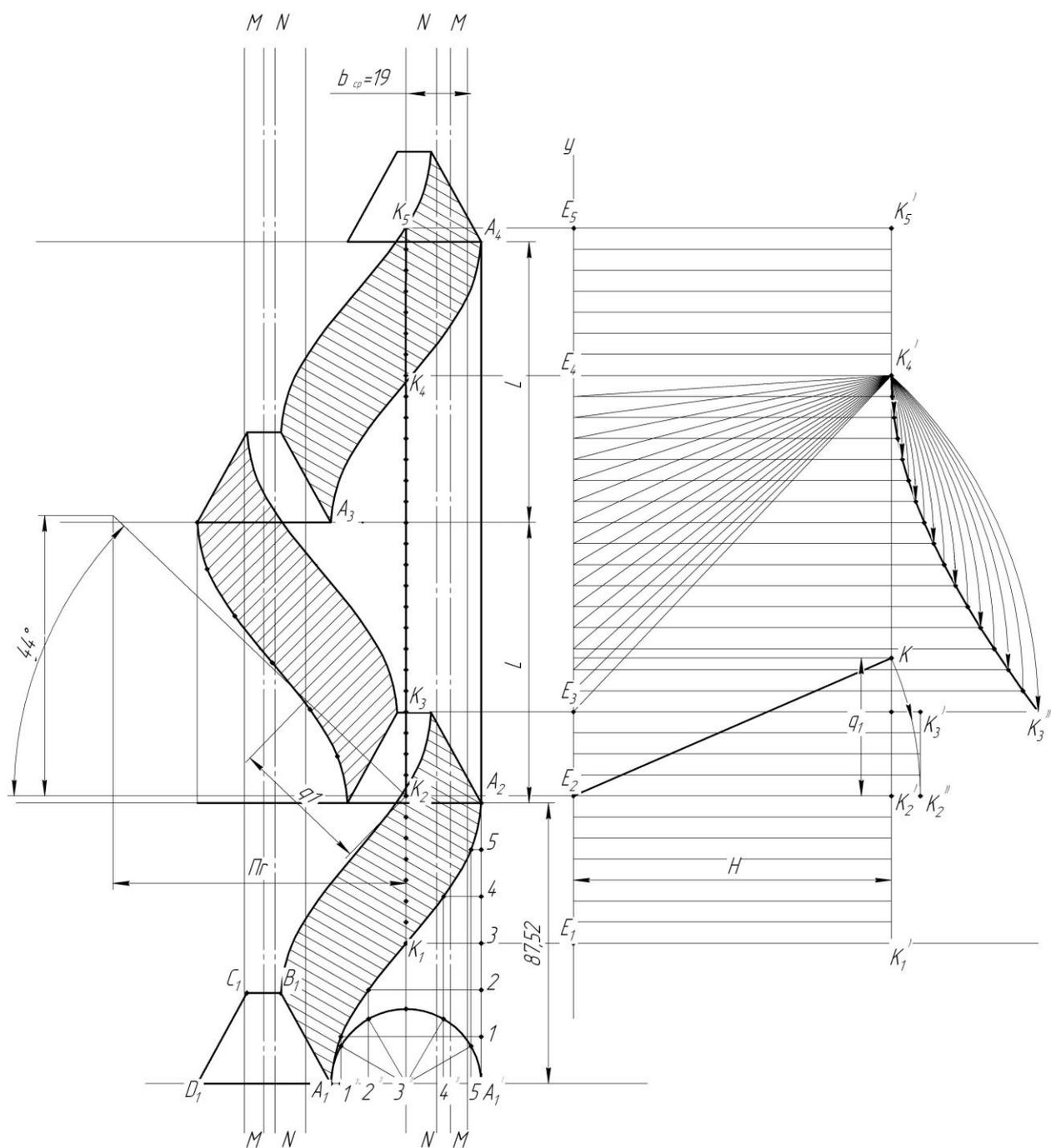


Рисунок 8. Построение графика пробега активной части режущих кромок сегмента и графика высоты стерни.

Начертить положение активной части сегмента  $A_0B_0C_0D_0$  в 4-х последовательных крайних положениях в абсолютном движении, учтя, что в переносном движении сегмент перемещается на величину подачи  $L = V \cdot 30 / n$  за время движения сегмента из одного крайнего положения в другое. Здесь переносную скорость  $V$  принять равной  $V_m^n$  - максимально допустимой скорости жатки при прямом комбайнировании, определенной при расчетах мотовила.

Определить, какие стебли и где будут срезаться при движении

рабочих кромок сегментов  $A_0B_0$  и  $C_0D_0$  при их перемещении из одного крайнего положения в другое за три взмаха ножа (полтора оборота кривошипа).

Радиусом  $A_1Z''=r$  (см. рис. 8) вычертить полуокружность, которая представляет собой траекторию относительного движения пальца кривошипа привода ножа, повернутую на  $90^\circ$ . Разделить эту полуокружность на 6 равных частей и спроецировать точки деления на ось  $OX$  - направление относительного перемещения ножа, обозначив проекции точками  $1'', 2'', \dots, 5'', A_2$ .

Так как радиус кривошипа механизма привода ножа во много раз меньше длины шатуна, то за траекторию движения ножа можно принять проекцию пальца кривошипа на направление оси  $OX$  - траекторию относительного перемещения ножа.

Нож через  $1/6$  полуоборота кривошипа в относительном движении переместится на величину  $\dot{A}_1 1''$ , а в переносном - на величину  $1'' 1' = \dot{A}_1 1$ . Следовательно, через  $1/6$  полуоборота кривошипа нож (т.  $A_1$ ) в абсолютном движении займет положение точки  $1'$ .

За время  $2/6$  полуоборота кривошипа нож в относительном перемещении займет положение точки  $2''$ , а в абсолютном - точки  $2'$ . Таким же образом определяют положение ножа в абсолютном перемещении через  $3/6, 4/6, 5/6$  полуоборота кривошипа. И, наконец, через пол оборота кривошипа нож в относительном движении пройдет путь  $A_1 A_1'$ , а в переносном -  $\dot{A}_1 \dot{A}_2$ .

Последовательно, проводя через точки  $\dot{A}_1, 1' \dots \dot{A}_2$  плавную кривую, получают траекторию абсолютного перемещения точки  $A_1$  режущей кромки сегмента.

С помощью шаблона, снятого с кривой  $\dot{A}_1 \dot{A}_2$ , нанести траекторию движения крайних точек режущих кромок сегмента за три взмаха ножа. Заштриховать площадки, которые пробегают рабочие кромки сегмента в абсолютном перемещении. Стебли, расположенные на этих площадках, срезаются у противорежущих пластин пальцев. Выяснить, какие площадки режущие кромки сегмента пробегают дважды, а какие не пробегают вовсе и объяснить, как на этих площадках происходит срез стеблей.

## 2.4. Построение графика высоты стерни

Высота стерни для разных растений будет не одинаковой и зависит от их расстояния до пальцев, т.к. растения срезаются с разной величиной отгиба в сторону пальца. Для упрощения решения задачи (в учебных целях) вычертить график высоты стерни лишь

тех стеблей, которые расположены по линии перемещения левой кромки правого пальца (см. рис. 8) и на этой линии поместить стебли через 5...10 мм (в зависимости от подачи  $L$ ).

Ось  $OY$  - путь сегмента в переносном движении, на графике (см. рис. 8) расположить по направлению движения режущего аппарата, а начало координат - точку  $E_1$  - в поперечном направлении так, чтобы в масштабе  $\mu_s = 1$  мм/мм график расположился в пределах чертежа. Ось  $OH$  высоты стерни отложить вправо.

По характеру среза выделить три группы стеблей: 1-я группа -  $K_1K_2$ ; 2-я группа -  $K_2K_3$ ; 3-я группа -  $K_3K_4$ .

Стебли 1-й группы срезаются без отгиба и высота оставленной ими стерни  $H_1$  равна высоте  $H$  установки режущего аппарата относительно поверхности поля.

Стебли 2-й группы отклоняются влево-вперед и срезаются у правой кромки левого пальца, отклонившись на величину отгиба  $q_1$ , который принято называть поперечным. Из точки  $K_2$  (см. рис. 8) построить прямоугольный треугольник со сторонами  $\pi r$  и  $L$ . Гипотенуза этого треугольника отметит угол  $\theta$  действительного усредненного направления поперечного отгиба стебля величиной  $q_1$ . Из точки  $K'_2$  (см. рис. 10) отложить величину  $q_1$ . Гипотенуза  $E_2K$  построенного треугольника  $E_2K_2K$  отметит положение стерни в момент среза стебля, а после среза, за счет жесткости, верхушка (точка  $K$ ) опишет дугу радиусом  $E_2K$  и займет положение  $E_2K''$ . Остальные стебли в пределах  $K_2K_3$  (см. рис. 8) будут иметь такую же высоту стерни.

Стебли 3-й группы, расположенные на отрезке  $K_3K_4$  (см. рис. 8), отклоняются вперед и срежутся пучком в точке  $K'_4$ . Такой отгиб называют продольным. Наибольшая его величина будет у стебля  $E_3K'_4$ , равная  $q_2$ . Начертить стебли в момент среза в точке  $K'_4$  (см. рис. 8), а также выпрямленные за счет их жесткости, с помощью циркуля. Соединить верхушки выпрямленной стерни плавной кривой для получения графика высоты стерни 3-й группы стеблей.

За точкой  $K_4$  (см. рис. 8) цикл повторяется.

Таким образом, ломаная линия  $K'_1K'_2K''_2K'_3K''_3K'_4$  представляет собой график высоты стерни выбранного рядка растений. Для другого рядка он будет другим, т.к. величины поперечного  $q_1$  и продольного  $q_2$  отгибов стеблей окажутся иными. При этом надо учесть, что форма графика высоты стерни может оказаться, в зависимости от исходных данных, несколько отличной от графика, изображенного на рисунке 3в. Точка  $K''_3$  может оказаться ниже  $K'_3$ .

## 2.5. Определение величины потерь массы стеблей

Как следует из анализа графиков (см. рис. 8), высота стерни 2-й и 3-й групп растений превышает высоту  $H$  установки режущего аппарата относительно поверхности поля, обуславливая потери массы из-за отгиба стеблей. Величину потерь оценивают превышением  $\Delta H_i$  растений на участке  $E_1E_4$ , в сравнении с  $H$ , с помощью среднего превышения  $\Delta H_{\text{ср}}$ .

Величину  $\Delta H_{\text{ср}}$  определить методом ординат, суммируя превышения  $\Delta H_i$  каждого стебля, а затем разделив эту сумму на общее число стеблей в пределах отрезка  $E_1E_4$ , учтя, что превышение  $\Delta H_i$  на отрезке  $E_1E_2$  равно нулю.

В общем виде построения по режущему аппарату выполняются так, как показано на рис. 9

## 3. Ширина захвата жатки

$$B = \frac{q(1-\beta)}{0.1AV_m^n}, \text{ м,}$$

где  $q$  - заданная подача хлебной массы, кг/с;

$\beta$  - заданный коэффициент соломистости;

$V_m^n$  - максимально допустимая скорость жатки на прямом комбайнировании, м/с;

$A$  - заданный урожай зерна, т/га.

## 4. Шнековый транспортер жатки

### 4.1. Требования к шнековому транспортеру:

- непрерывность потока хлебной массы;
- отсутствие скопления хлебной массы над шнеком и пальчиковым механизмом;
- равномерное распределение хлебной массы по ширине транспортера наклонной камеры;
- не травмировать зерно и не вымолачивать колосья.

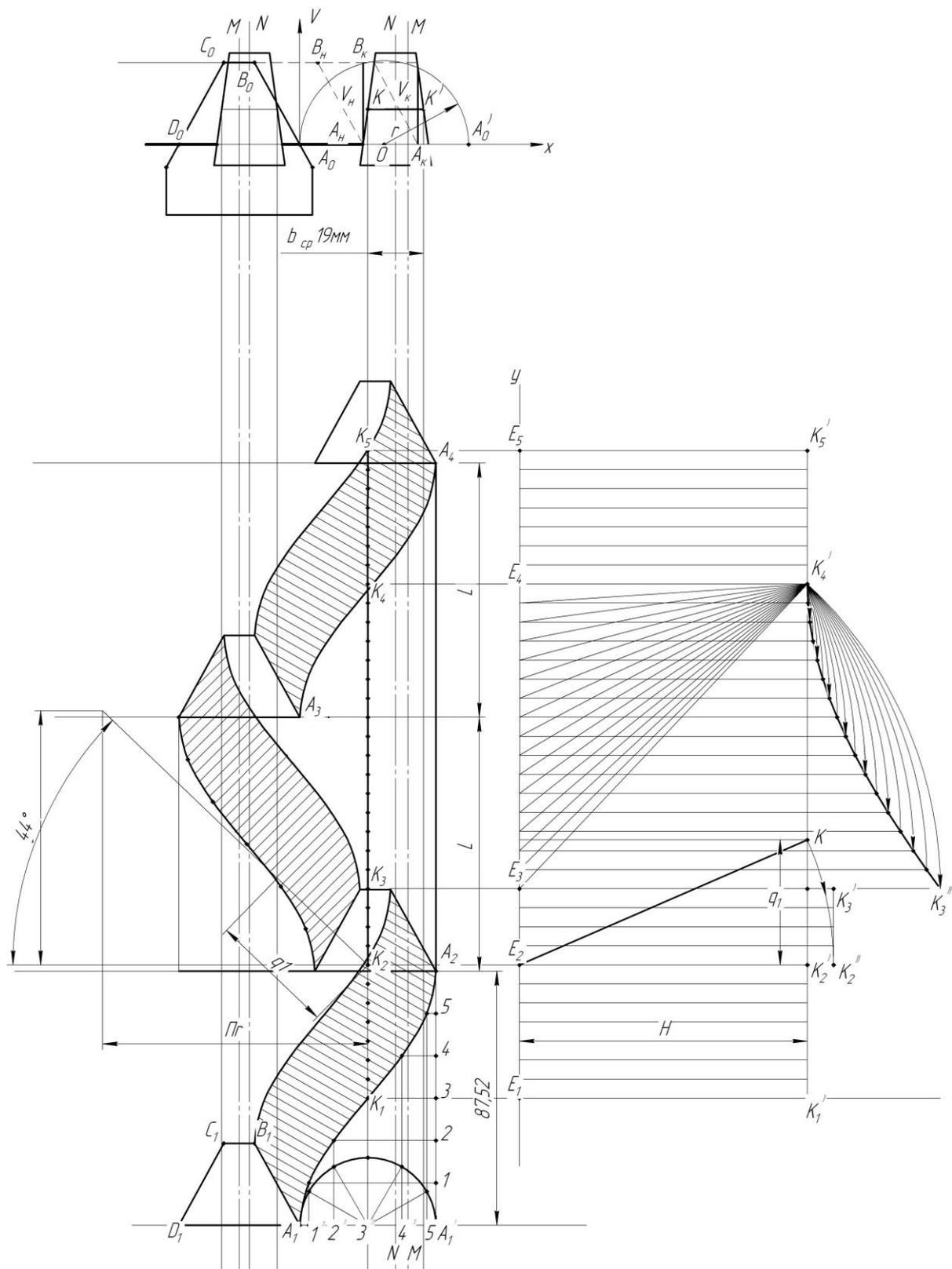


Рисунок 9. Построения по режущему аппарату.

## 4.2. Геометрические параметры шнека

Взаимосвязь между геометрическими параметрами шнека и

подачей хлебной массы выражена уравнением

$$q_{ш} = \left[ \frac{\pi(D_{ш} + 2\Delta)^2}{4} - \frac{\pi d_{ш}^2}{4} \right] \varphi \psi n \rho_c S_c,$$

где  $q_{ш}$  - производительность (подача) шнека, кг/с;

$D_{ш}$  - наружный диаметр шнека, м;

$\varphi$  - угол транспортирующей части шнека, рад;

$d_{ш}$  - диаметр цилиндра шнека, м;

$S_c$  - шаг спиралей шнека, м;

$n$  - частота вращения шнека,  $s^{-1}$ ;

$\rho_c$  - плотность хлебной массы,  $kg/m^3$

$\Psi$  - коэффициент, учитывающий заполнение рабочего пространства шнека массой и скорость ее движения, принять  $\Psi = 0.3$ ;

$\Delta$  - максимальный зазор между спиралью шнека и днищем корпуса жатки, м.

Из вышеприведенного уравнения, после определенных преобразований, получаем:

$$D_{ш} = \frac{0.033q_{ш}}{nS_c(h+\Delta)}.$$

Величину  $q_{ш}$  принять  $q_{ш} = 0.45 \cdot q$  с учетом того, что на жатке два шнека, а часть хлебной массы подается непосредственно пальчиковым механизмом шнекового транспортера жатки.

Высоту спирали  $h = (D_{ш} - d_{ш})/2$  принять методом линейного интерполирования в пределах  $h = 0,05 \dots 0,1$  м для подачи  $q = 2 \dots 10$  кг/с

Величину  $S_c$  принять методом линейного интерполирования в пределах  $S_c = 0,4 \dots 0,65$  м для подачи  $q = 2 \dots 10$  кг/с.

Величину  $\Delta$  принять методом линейного интерполирования в пределах  $\Delta = 0,02 \dots 0,035$  м для подачи  $q = 2 \dots 10$  кг/с.

Величину  $n$  принять методом линейного интерполирования в пределах  $n = 3,2 \dots 2,5$   $s^{-1}$  для подачи  $q = 2 \dots 10$  кг/с.

Диаметр цилиндра шнека  $d_{ш} = D_{ш} - 2h$ .

## 5. Уплотнительные устройства

В сочленении корпуса проставки с корпусом жатки предусмотреть уплотнительные устройства в виде боковых уплотнительных щитков, перекрывающих вертикальные щели, и переходного щита, перекрывающего нижнюю щель.

## 6. Молотильный аппарат

### 6.1. Требования к молотильному аппарату:

- полный вымолот зерна из колосьев;
- минимальное дробление зерна;
- минимальное травмирование (микрповреждение) зерна;
- минимальное измельчение соломы;
- максимальное выделение зерна через деку;
- предотвращение попадания камней в молотильный аппарат;
- предотвращение попадания воздушного потока, созданного лопастями отбойного битера, на шнековый транспортер жатки.

Тип молотильного аппарата принять однобарабанный бильный с радиальной подачей массы.

### 6.2. Длина барабана

$$l_6 = \frac{q}{M_6 q_0} \text{ м,}$$

где  $M_6$  - число бичей барабана; принять  $M_6 = 8$  при  $q \leq 6$  кг/с и  $M_6 = 10$  при  $q > 6$  кг/с;

$q_0$  - допустимая подача хлебной массы на 1 м длины бича барабана,  $q_0 = 0,35 \dots 0,55$  кг/с на м для  $\beta = 0,4 \dots 0,65$ ;  $q_0$  принять методом линейного интерполирования.

### 6.3. Диаметр барабана

$$D_6 = \frac{U_6 \Delta t M_6}{\pi} \text{ м,}$$

где  $U_6$  - линейная скорость бичей, м/с; принять максимально допустимую  $U_6 = 38$  м/с, чтобы обеспечить полный вымолот зерна во всех условиях уборки;

$\Delta t$  - промежуток времени между ударами смежных бичей, с;  $\Delta t = 0,0045 \dots 0,0065$  с в зависимости от влажности и обмолачиваемости хлебной массы, принять  $\Delta t = 0,0065$  с для самых тяжелых условий уборки.

Вычисленное значение  $D_6$ , с учетом опыта современного комбайностроения, увеличить до 500 мм, если оно оказалось меньше, или уменьшить до 800 мм, если оно оказалось больше.

### 6.4. Максимальная частота вращения барабана

$$n_6 = \frac{60 U_6}{\pi D_6} \text{ об/мин.}$$

Предусмотреть устройство для изменения частоты вращения

барабана в пределах 250... П<sub>б</sub>.

### 6.5. Угол обхвата деки

$$\varphi = 200[\lg q(1-\beta) - \lg y_0] \text{ град.},$$

где  $U_0$  - количество зерна в соломе, которое выходит из молотильного аппарата, кг/с; принять  $y_0 = 0,2 q(1-\beta)$ .

### 6.6. Длина деки

$$S_d = \frac{\varphi D_b}{2} \text{ м},$$

где  $\varphi$  - угол обхвата, выраженный в радианах.

### 6.7. Положение деки относительно барабана

Определяется углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , величину которых принять, исходя из следующих соображений.

Угол  $\varphi_2$  обычно принимают  $90^\circ$ . При большем значении повышается вероятность забивания молотильного аппарата хлебной массой, а при меньшем - требуется клавиши соломотряса опустить, что ухудшит условия работы очистки, особенно у комбайнов с домолачивающим устройством.

Угол  $\varphi_1 = \varphi - \varphi_2$ . С увеличением  $\varphi_1$  повышается скорость удара бичей по колосу, вследствие чего улучшается вымолот зерна и его сепарация через деку. Однако, одновременно повышается дробление зерна и измельчение соломы. Если в расчетах величина  $\varphi_1 > 45^\circ$ , то надо предусмотреть установку приемного битера.

Задняя стенка камнеулавливателя должна быть параллельной направляющей, чтобы не нарушить постоянства минимального зазора между щитком и задней стенкой при опускании и поднятии деки.

### 6.8. Диаметр отбойного битера

$$D_0 = \frac{60U_0}{\pi n_0} \text{ м},$$

где  $U_0$  - окружная скорость конца лопастей битера, принять  $U_0 = 16$  м/с, при которой создаются нормальные условия для сепарации значительной части зерна через прутковую решетку;

$n_0$  - частота вращения отбойного битера,  $n_0 = 400...700$  об/мин для подачи  $q = 2...10$  кг/с, принять  $n_0$  методом линейного интерполирования.

### 6.9. Положение отбойного битера

Определяется зазорами между концами лопастей битера и бичами барабана (5...8 мм), а также между концами лопастей битера и пальцами решетки деки, который равен 120...250 мм для подачи  $q = 2...10$  кг/с; этот зазор принять методом интерполирования.

### 6.10. Положение отсекателя

Рабочая кромка отсекателя должна быть расположена с зазором 5 мм относительно бичей барабана и концов лопастей отбойного битера, чтобы предотвратить занос соломы на повторный обмолот и перекрыть путь воздушному потоку, созданному отбойным битером, в наклонную камеру и далее к шнековому транспортеру жатки.

### 6.11. Уплотнительные устройства

Предусмотреть соответствующие уплотнительные устройства в сопряжении наклонной камеры и транспортной доски с корпусом молотилки, а также исключить потери зерна в зазор между входным щитком и задней плоскостью камнеулавливателя.

## 7. Соломотряс клавишный

### 7.1. Требования к соломотрясу:

- максимальное выделение зерна из соломистого вороха, чтобы уменьшить потери свободного зерна в солому;
- минимальное выделение сбоины, половы и других примесей, чтобы снизить загрузку очистки незерновой частью урожая;
- незабываемость жалюзи клавиш солоmistым ворохом, чтобы создать самые благоприятные условия выделения зерна.

### 7.2. Коэффициент сепарации

$$\mu_c = \frac{\mu_c^0 h_c^0}{h_c} \text{ 1/см,}$$

где  $\mu_c^0 = 0,018$  1/см - стандартный коэффициент сепарации;

$h_c^0 = 0,2$  м - стандартная толщина слоя соломистого вороха на соломотрясе;

$h_c$  - действительная толщина соломистого вороха, м.

$$h_c = \frac{q\beta}{B_c U_c \gamma_c} \text{ м,}$$

где  $B_c$  - ширина соломотряса, м; принять равной ширине молотилки  $B_m$ ;

$U_c$  - средняя скорость перемещения соломистого вороха по поверхности клавиш, принять  $U_c = 0,35...0,40$  м/с;

$\gamma_c$  - плотность соломистого вороха на клавишах с учетом его вспушенности, принять  $\gamma_c = 20$  кг/м<sup>3</sup>.

### 7.3. Длина соломотряса

$$l_c = \frac{1}{\mu_c} \ln\left(\frac{d}{y_c}\right) \text{ м,}$$

где  $d = (0,05...0,15)q(1-\beta)$  - секундная подача зерна на соломотряс, кг/с;

$$y_c = \frac{q(1-\beta)\eta_c}{100} \text{ кг/с - секундный сход свободного зерна в солому;}$$

$\eta_c$  - потери свободного зерна в солому, принять  $\eta_c = 0,5$  %.

## 8. Очистка

### 8.1. Требования к очистке:

- чистота зерна в бункере не ниже 97 % для хлебных злаков и 95 % для крупяных, бобовых, масличных культур и семенников трав;
- потери зерна в полу (свободным зерном и в колосьях) не более 0.5 %;
- минимальное поступление полноценного зерна в колосовой шнек;
- полное выделение недомолоченных колосьев.

### 8.2. Ширина решета

$$B_p = \alpha_p B_m \text{ м,}$$

где  $\alpha_p = 0,9...0,95$  - коэффициент, учитывающий уменьшение рабочей ширины очистки за счет конструкции отливов для устройства уплотнений решетчатого стана с боковинами молотилки и крепления подвесок нижнего решетчатого стана, принять  $\alpha_p = 0,9$ ;

$B_m$  - ширина молотилки, м; пренебрегая зазорами между барабаном и боковинами молотилки, принять  $B_m = l_6$ .

### 8.3. Длина решета

$$l_p = \frac{q(1-k_0\beta)}{B_p q_F} \text{ м,}$$

где  $k_0 = 0,6...0,9$  - коэффициент, учитывающий состав зернового вороха; меньшие значения для зернового вороха с большим количеством сбоины и зеленых примесей принять  $k_0 = 0,6$  - для самых тяжелых условий работы;

$q_F = 1,5...2,5$  кг/с на кв. м - допустимая удельная нагрузка на единицу площади решета; меньшие значения для зернового вороха с большим количеством сбоины и зеленых примесей; принять  $q_F = 1,5$  кг/с на кв.м - для самых тяжелых условий работы.

#### 8.4. Длина удлинителя верхнего решета

$$l_y = \alpha_y l_p,$$

где  $\alpha_y = 0,25...0,35$  - коэффициент, учитывающий количество сбоины и зеленых примесей в зерновом ворохе; принять  $\alpha_y = 0,35$  для самых тяжелых условий работы.

В удлинителе предусмотреть жалюзи поперечные и продольные, чтобы обеспечить лучшее выделение колосьев, располагающихся поперек и вдоль молотилки.

#### 8.5. Скатная доска колосового шнека

Предусмотреть устройство для изменения скорости воздушного потока на обдув удлинителя.

### 9. Вентилятор очистки

#### 9.1. Требования к вентилятору:

- оптимальное расслаивание, “взвешивание” зернового вороха над верхним решетом;
- равномерное обдувание решет по всей их длине;
- оптимальное разделение воздушного потока на обдуве пальцевой решетки транспортной доски, верхнего и нижнего решет очистки;
- изменение скорости воздушного потока в пределах, обеспечивающих оптимальные условия работы очистки в самых легких и в самых тяжелых условиях.

#### 9.2. Подача воздуха

$$Q_v = \frac{\varepsilon'(1 - \beta)q}{\delta} \text{ м/с,}$$

где  $\varepsilon' = 0,15...0,25$  - коэффициент, учитывающий массовую долю пыли в зерновом ворохе; принять для самых тяжелых

желых условий уборки  $\varepsilon' = 0,25$ ;  
 $\delta = 0,2 \dots 0,3$  - коэффициент, учитывающий плотность воздуха и его концентрацию (неравномерность распределения в выходной горловине); для общепринятой двухрешетной очистки принять  $\delta = 0,2$  для самых тяжелых условий работы.

### 9.3. Диаметр входного отверстия кожуха

$$D_{вх} = \sqrt{\frac{2Q_{вх}}{\pi V_{вх}}} \text{ м,}$$

где  $V_{вх}$  - скорость воздушного потока во входном отверстии вентилятора; принять  $V_{вх} = 8$  м/с.

### 9.4. Внутренний диаметр лопастного колеса

$$D_1 = 0.95 D_{вх}.$$

### 9.5. Наружный диаметр лопастного колеса

$$D_2 = 1.6 D_{вх}.$$

### 9.6. Расположение входного отверстия

Входное отверстие расположить эксцентрично лопастному колесу, что создаст более выровненный скоростной поток воздуха по ширине очистки и повысит к. п. д. вентилятора.

Лопатки-направители вентилятора делят выходную горловину на три равные части и служат для снижения турбулентности потока воздуха.

### 9.7. Расположение решет относительно вентилятора

Решета по высоте расположить так, чтобы 10 % воздушного потока пошло на обдув пальцевой решетки транспортной доски, 50 % - на обдув верхнего и 40 % - на обдув нижнего решет очистки.

Решета расположить под углом  $0 \dots 5^\circ$  к горизонту.

## 10. Копнитель

### 10.1. Требования к копнителю:

- формирование копны с подпрессовкой;

- иметь предохранительное устройство от излишней подпрессовки копны;
- иметь устройство, сигнализирующее об оптимальной подпрессовке копны;
- иметь устройство регулировки степени подпрессовки копны;
- выгруженная копна не должна терять своей формы.

### **10.2. Емкость камеры копнителя**

Принять с помощью линейного интерполирования в пределах  $V_k = 2...8 \text{ м}^3$  для подачи  $q = 2...10 \text{ кг/с}$ . В ряде случаев можно принять и другую емкость, исходя из принятой технологии уборки копен и наличной соломоуборочной техники.

### **10.3. Ширина камеры копнителя**

Так как копнитель имеет ширину, расширяющуюся в сторону заднего клапана, то принять ее среднее значение, равное

$$B_k = 1.2B_m.$$

### **10.4. Высота камеры копнителя**

Принять конструктивно, с учетом расположения концов клавиш соломотряса и механизма соломонабивателя, учтя что  $B_k$  является величиной усредненной. Нижнюю линию провести так, чтобы боковая площадь копны осталась равновеликой.

### **10.5. Длина камеры копнителя**

$$L_k = \frac{V_k}{B_k H_k} \text{ м.}$$

Так как длина камеры не постоянная, часть ее располагается под клавишами соломотряса, то вычисленное значение считать усредненным, по которому и ориентироваться при вычерчивании схемы копнителя. Принять  $L_k \approx H_k$ .

### **10.6. Конструкция пальцев днища копнителя**

Пальцы днища копнителя предусмотреть двухшарнирными, чтобы обеспечить полный контакт копен с поверхностью поля, чем будет предотвращено их растягивание.

### **10.8. Положение переднего конца днища копнителя**

Передний конец днища копнителя должен быть ниже заднего обреза лотка половонабивателя на 40...50 мм.

### 10.9. Положение отсекателя

Отсекатель расположить так, чтобы коленчатый вал соломонабивателя за него не задевал.

### 10.10. Расположение щитка сброса соломы

Щиток сброса соломы расположить так, чтобы зазор между ним и клавишей соломотряса был 10...15 мм, а с граблиной соломонабивателя - 5...10 мм.

## 11. Бункер

### 11.1. Требования к бункеру[3]:

- объем бункера должен быть равен или кратен грузоподъемности транспортных средств, отвозящих зерно;
- время наполнения бункера должно быть продолжительным, чтобы уменьшить частоту простоев комбайна из-за выгрузки зерна;
- время выгрузки зерна из бункера должно быть возможно минимальным, чтобы снизить простои комбайна на выгрузке зерна;
- выгрузка зерна из бункера должна быть полной;
- иметь специальное сигнальное устройство заполнения бункера зерном.

### 11.2. Объем бункера

$$V_{\delta} = 0,1 \frac{ABv_{np}(1-\beta)t_{\delta}}{\rho_{\delta}\psi_{\delta}} \cdot \text{м}^3,$$

где **A**- урожайность, т/га;

**B**- ширина захвата жатки, м;

**V<sub>np</sub>**- скорость комбайна на прямом комбайнировании, м/с

**t<sub>δ</sub>** - время заполнения бункера, с; принять **t<sub>δ</sub>** = 1800...2400 с;

**ρ<sub>δ</sub>** - плотность зерна в бункере, кг/м<sup>3</sup>, принять **ρ<sub>δ</sub>** = 800 кг/м<sup>3</sup>;

**ψ<sub>δ</sub>** - коэффициент заполнения бункера зерном, принять **ψ<sub>δ</sub>** = 0.9.

Вычисленное значение подкорректировать, приняв равным или кратным грузоподъемности транспортных средств, отвозящих зерно. У комбайнов с пропускной способностью  $q \leq 4$  кг/с можно предусмотреть объем бункера с учетом самовыгрузки зерна в месте его временного складирования.