

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

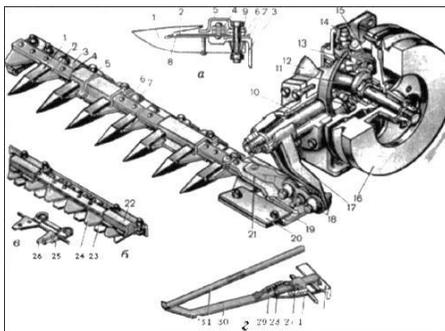
Инженерно-технологический институт

Кафедра технических систем в агробизнесе, природообустрой-  
стве и дорожном строительстве

**Кузнецов В.В.**

**Анализ процесса работы  
сегментно-пальцевого режущего аппарата  
и определение его основных рабочих характеристик**

Методическое пособие и рабочая тетрадь  
к практическому занятию  
по дисциплине «Сельскохозяйственные машины»  
для студентов ВУЗов очного и заочного обучения  
по направлению бакалавриат 35.03.06 «Агроинженерия»,  
профиль образовательной программы «Технические системы  
в агробизнесе»



Брянск 2018

УДК 631.354.6 (076)

ББК 40.728

К 89

**Кузнецов, В. В. Анализ процесса работы сегментно-пальцевого режущего аппарата и определение его основных рабочих характеристик:** методическое пособие и рабочая тетрадь / В. В. Кузнецов. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 20 с.

Методическое пособие в форме рабочей тетради к практическому занятию «Проектирование звена зубовой бороны» по дисциплине «Сельскохозяйственные машины» для студентов ВУЗов очного и заочного обучения по направлению бакалавриат 35.03.06 «Агроинженерия», профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе» помогает студенту получить практические навыки по компетенциям ПК-2, ПК-4, ПК-5, ПК-8 рабочего плана дисциплины.

Рецензент: к.т.н., доцент С. И. Будко

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института от 21.02.2018 года, протокол №7.*

© Кузнецов В.В., 2018

© Брянская ГАУ, 2018

## Анализ процесса работы сегментно-пальцевого режущего аппарата и определение его основных рабочих характеристик

**Цель работы.** Проанализировать исходные данные.

Приобрести практические навыки определения кинематических характеристик режущих элементов сегментно-пальцевого режущего аппарата графо-аналитическим способом, выявить зависимость показателей его работы от конструктивных и режимных параметров. Исследовать качество технологического процесса и методы подготовки к профессиональной эксплуатации.

### Теоретическая часть

Сегмент ножа режущего аппарата участвует в сложном движении. Оно складывается из относительного движения по уравнению  $X = r(1 - \cos \omega t)$  и переносного по уравнению

$$Y = V_m \cdot t \quad (1)$$

где  $r$  - радиус кривошипа, м;

$\omega$  - угловая скорость кривошипа, рад / с;

$V$  - скорость движения машины, м /с;

$t$  – время движения, с.

Любая точка сегмента будет двигаться по синусоиде, и лезвие сегмента при своем движении покрывает площадь, ограниченную синусоидами и прямой, проходящей по оси пальца (противорежущей пластины). Эта площадь называется площадью подачи и определяется из зависимости:

$$F = LS \quad (2)$$

где  $L$ - перемещение машины за один ход ножа, м;

$S$  - ход ножа, м.

Наибольшая часть площади подачи, на которой сегмент срезает стебли за один ход ножа у одного из пальцев, считается расчетной нагрузкой на лезвие, определяется типом режущего аппарата и связана с площадью подачи зависимостью

$$F_H = \kappa F \quad (3)$$

Для аппарата нормального резани с одинарным пробегом ножа  $F_H = F$  и  $\kappa = 1$ . У двухпробежных аппаратов  $\kappa = 0,32$ .

### Практическая часть

**Содержание работы.** Для заданных условий и типа режущего аппарата построить диаграммы движения активной части лезвия сегмента; графо-аналитическим способом определить диапазон скоростей сегмента в процессе резания, слагающую скорость резания вдоль лезвия; построить эпюру длины стерни; построить графики рабочих скоростей резания, изменения слагающей скорости ножа вдоль лезвия.

**Исходные данные.** Основные размеры сегментов и вкладышей, необходимые для построения графика пробега активной части лезвия приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Для выполнения работы задаются следующие исходные данные;  $V_m$  - скорость машины, м/с;  $\omega$  - угловая скорость кривошипа, рад/с;  $S$  - ход ножа, мм; тип режущего аппарата:  $H$  - нормальный,  $D$  - двухпробежный;  $h$  - высота установки ножа, см. Примерные величины исходных данных приведены в таблице 2.

## Порядок выполнения работы

Для построения графика пробега активной части лезвия находят подачу машины  $L$  (перемещение машины за один ход ножа) по формуле

Таблица 1 - Варианты исходных данных

Тип режущего аппарата.	$h_c$ , мм	$f$ , мм	$l$ , мм	$t$ , мм	$h'$ , мм	$b_1$ , мм	$b_2$ , мм	Тип машины
Нормальный с одинарным пробегом ножа, Р-3	75	21	16	76	57	22	22	Самоходные комбайны
Р-1	80	25	16	76	59	37	21	Косилки.
Р-3	85	34	12	90	59	37	21	Жатки для грубостебельных культур.
Нормальный с удвоенным пробегом ножа.	75	21	17	76	57	22	22	Жатки
	70	22	15	50	57	37	21	Косилки

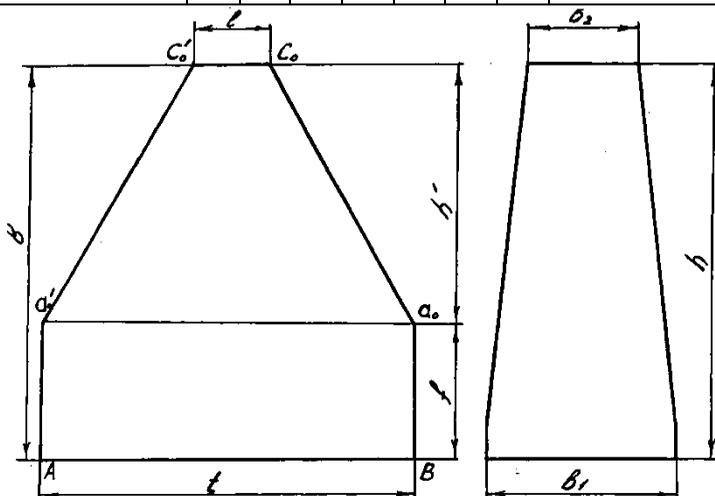


Рисунок 1 – Схема вкладыша и сегмента

Таблица 2 - Режимы работы режущего аппарата

№ п.п	Скорость движения машины, $V_M$ , м/с	Угловая скорость вала кривошипа, $\omega$ , рад/с	Высота среза, $h$ , см
1.	1,2 – 1,5	47 – 55	13 – 25
2.	1,2 – 3,3	70- 110	4-7
3.	1,8-3,0	55 – 65	6-20
4.	1,5 – 3,0	40 – 65	4-8

$$L = \frac{\pi \cdot V_M}{\omega}, \text{ м} \quad (4)$$

$$L =$$

где  $V_M$  - скорость машины, м / с;

$\omega$  - угловая скорость кривошипа, рад / с.

Далее выбирают масштаб построения и наносят положение сегмента и следы противорежущей пластины пальца (рис. 2).

Для аппарата нормального резания вычерчивают положение одного сегмента, а для аппарата с двойным пробегом ножа - положение двух рядом расположенных сегментов за четыре последовательных хода ножа

$$L =$$

Высота сегмента равна

$$h' = e - f. \quad (5)$$

$$h' =$$

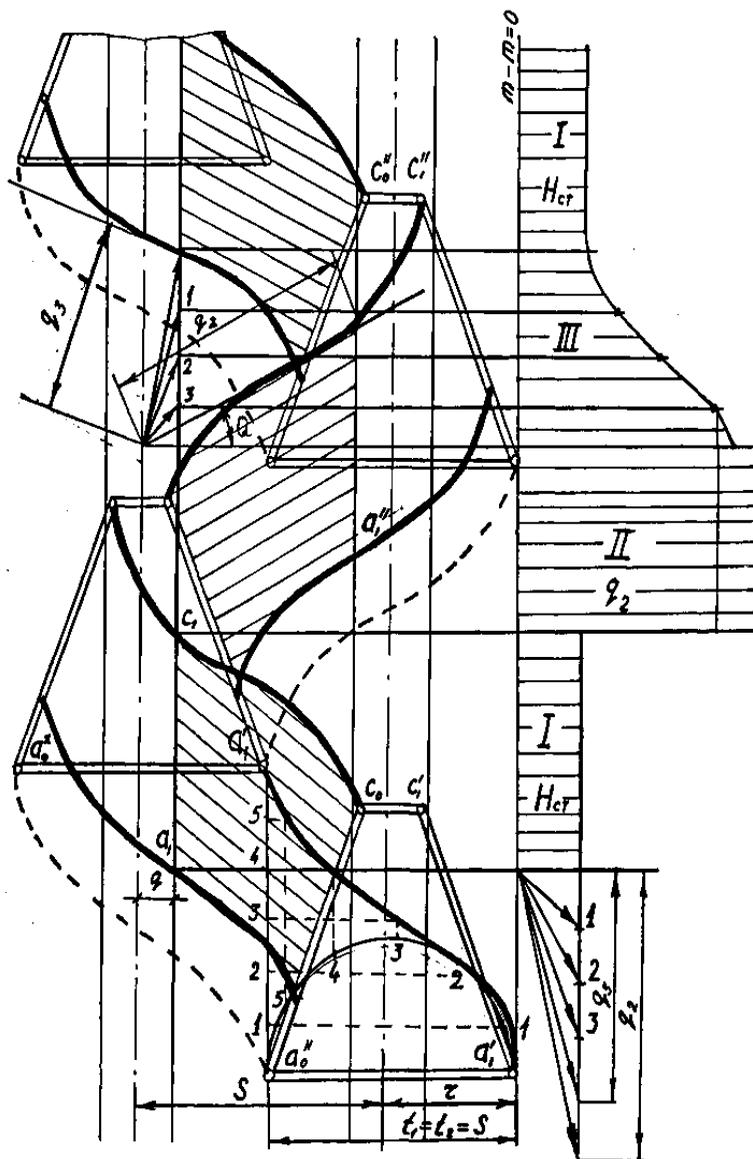


Рисунок 2 - Схема построений диаграммы движения сегмента и эпюры длины стерни

Из нижней точки лезвия сегмента проводят полуокружность радиусом  $r = \frac{S}{2}$  ( $S$ - ход ножа ) и делят её и подачу  $L$  на шесть равных частей, нумеруя точки. Точки пересечения горизонталей и вертикалей, проведенных из одноименных точек подачи  $L$  и полуокружности, являются точками синусоиды, по которой движется любая точка сегмента при его перемещении из одного крайнего положения в другое.

Во время пробега, при прямом ходе, активным является отрезок лезвия  $a_0'' c_0$  (рис. 2), а при обратном ходе будет активной часть лезвия  $a'_1 c'_1$ .

Строят траектории абсолютного движения точек  $a_0''$ ,  $c_0''$ ,  $a'_1$   $c'_1$ . По построенной синусоиде вырезают шаблон и, пользуясь им, вычерчивают синусоиды, по которым будут двигаться точки  $a_0''$ ,  $c_0''$ ,  $a'_1$   $c'_1$ . Вычерчивают положение вкладышей пальцев и заштриховывают площади, на которых активные части лезвия захватят и срежут стебли при прямом и обратном ходе.

График изменения высоты стерни строят для стеблей, расположенных на различных площадях. Наибольший интерес представляют растения, максимально отгибающиеся при срезе (расположенные вдоль оси пальцев).

По графику пробега активной части лезвия строят график изменения высоты стерни для растений, расположенных вдоль кромки противорежущей пластины. Для этого наносят ширину вкладышей, приняв ее постоянной и равной  $b_0$ :

$$b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad (6)$$

$$b_0 =$$

Проводят линию одной из кромок вкладыша ( $m-m$ ) и отмечают границы зон стеблей, которые срезаются без отгиба, с поперечным отгибом и с продольным отгибом. Высота стерни в группе на отрезке  $a_1c_1$  будет равна заданной высоте установки ножа над почвой. Для определения высоты стерни группы растений срезаемых с поперечным отгибом рассуждают следующим образом. Стебли второй группы не попадают под лезвие при его прямом ходе. Все они отклоняются к кромке противоположного вкладыша и срезаются у нее при обратном ходе ножа. Приблизительно считают - все растения этой группы будут отгибаться по касательной к синусоиде движения сегмента, имеющей минимальный угол наклона. Тангенс угла наклона этой касательной определяется по формуле

$$\operatorname{tg} Q_{\min} = \frac{\alpha}{\pi r} \quad (7)$$

где  $Q$  ~ угол наклона касательной в точке перегиба синусоиды, град;

$a$  - подача машины, м;

$r$  - радиус кривошипа, м.

Для определения величины отгиба  $q_2$  строят прямоугольный треугольник с катетами  $\pi r$  и  $L$  в зоне расположения растений второй группы. Гипотенуза этого треугольника даст направление отгиба стеблей, а отрезок, заключенный между осью симметрии одного пальца и режущей кромкой вкладыша соседнего пальца, будет величиной отгиба  $q_2$ .

Чтобы определить высоту стерни  $H_{cm}$  для этой группа растений, надо отрезок  $q_2$  из графика пробега активной части лезвия перенести на график стерни, отложив его перпендикулярно высоте установки ножа над полем. Гипотенуза треугольника, кате-

ты которого равны величине отгиба  $q_2$  и высоте установки ножа  $h$ , определяет высоту стерни  $H_{ст}$  для этой группы растений.

Для определения высоты стерни для растений, срезаемых с продольным отгибом, рассуждают следующим образом, Так как эти растения отгибаются на различную величину, то и высота стерни для них будет различной. Чтобы получить высоту стерни у этой группы растений, разбивают отрезок  $bd$  вдоль кромки вкладыша, на котором стебли отгибаются в продольном направлении, на котором стебли отгибаются в продольном направлении, на несколько частей горизонтальными линиями. Соединяют точку  $d$  с точками пересечения горизонтальных линий и оси симметрии пальца (точки 1, 2, 3 и т.д.).

Величину продольного отгиба стебля, оказавшегося на одной из частей отрезка (2-й, 1-й и т.д.), откладывают перпендикулярно высоте установки ножа  $h$ . Гипотенузы треугольников, у которых один катет равен высоте установки ножа  $h$ , а другой - различным значениям продольного прогиба, определяют длину оставшихся после среза частей растений. Полученные величины высоты стерни переносят на участок графика, где эти стебли расположены. В результате построений получают график изменения высоты стерни при срезе с продольным отгибом.

График изменения рабочей скорости резания строится в функции от перемещения ножа по формуле  $V_H = \omega \sqrt{2xr - x^2}$ . Выбрав масштаб  $\lambda = \omega$  и выражая скорость ножа изменением координаты  $Y$ , получим формулу

$$Y = \frac{V_H}{\omega} = \sqrt{2xr - x^2} \quad (8)$$

Это уравнение окружности радиусом  $r$  с центром, смещённым относительно начала координат на величину радиуса.

Скорость резания определяют в следующем порядке (рис.3). Сначала вычерчивают положение вкладыша и лезвия соседнего сегмента для аппарата нормального резания с одинарным пробегом ножа; положение лезвия сегмента и двух вкладышей - для двухпробежного (рис. 4).

Радиусом  $r$  проводят окружность так, чтобы крайняя нижняя точка активной части лезвия  $a_0$  совпала с началом координат (началом дуги полуокружности). Ординаты полуокружности в масштабе изображают скорости ножа (резания), соответствующие его перемещению.

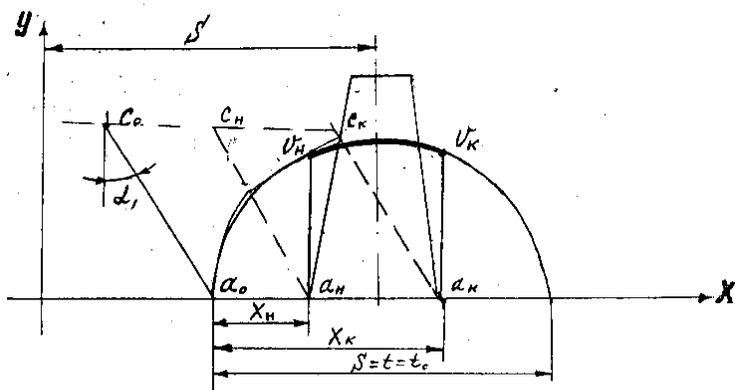


Рисунок 3 – Схема к определению диапазона скоростей резания аппаратом с одинарным пробегом ножа

Процесс резания растений осуществляется по принципу ножниц, поэтому срезание растений начнется в тот момент, когда лезвие сегмента  $a_0c_0$  встретится с лезвием вкладыша пальца, и закончится, когда точка  $c_0$  лезвия коснется вкладыша пальца. Через точки встречи лезвий сегмента и вкладыша проводят линии, параллельные лезвию  $a_0c_0$  до пересечения с осью абсцисс. Ординаты точек  $a_n$  и  $a_k$  являются искомыми скоростями начала  $V_n$  и конца  $V_k$  резания в масштабе  $\omega = 1$ .

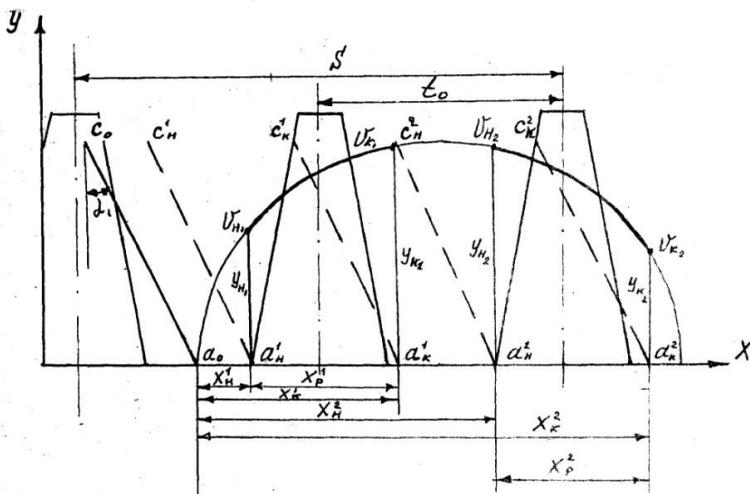


Рисунок 4 – Схема к определению диапазона скоростей резания аппаратом с двойным пробегом ножа

Таким же образом находят скорости и при обратном ходе ножа.

В режущем аппарате с двойным пробегом ножа определяют скорости начала  $V_H$  и конца  $V_K$  у среднего и у крайнего пальцев.

Численное значение всех скоростей резания получают умножением величины соответствующей ординаты  $Y$  графика на масштаб, т.е.:

$$V_H = y_H \cdot \omega, \text{ м/с} \quad (9)$$

$$V_H =$$

$$V_K = y_K \cdot \omega, \text{ м/с} \quad (10)$$

$$V_K =$$

Изменение скорости резания в процессе работы режущей пары характеризуется отрезком дуги полуокружности, заключенным между ординатами  $Y_H$  и  $Y_K$

График слагающей скорости ножа вдоль лезвия строят с использованием формулы

$$V_n = V_H \cdot \sin \alpha - V_M \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

где  $V_H$ - скорость ножа в относительном движении, м / с;

$V_M$ - скорость машины, м /с;

$\alpha$  - угол лезвия сегмента с направлением перемещения машины, град.

Так как скорость ножа в функции от его перемещения выражается формулой

$$V_H = \omega \sqrt{2xr - x^2} \quad (12)$$

то

$$V_n = \omega \sqrt{2xr - x^2} \cdot \sin \alpha - V_M \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

В координатах  $X$  и  $Y$  первый член уравнения представляет собой эллипс (рис.5), а второй член - прямую, параллельную оси абсцисс.

В зависимости от заданных значений  $V_M$  и  $\omega$ , график может иметь три различных вида. По виду графика можно судить о качестве работы режущего аппарата. Если слагающая скорости ножа вдоль лезвия за время хода ножа меняет направление, то это способствует равномерному распределению растений по лезвию и качественному срезу.

Если направление не меняется ( $V_{Л}$ ), то качество работы режущего аппарата неудовлетворительное.

Если по заданным исходным данным получается вид графика с постоянным направлением скорости вдоль лезвия, студент обязан решить, за счет каких параметров исходных данных

и в каком размере нужно их заменить, чтобы характер графика соответствовал качественной работе режущего аппарата, и проделать эти расчеты.

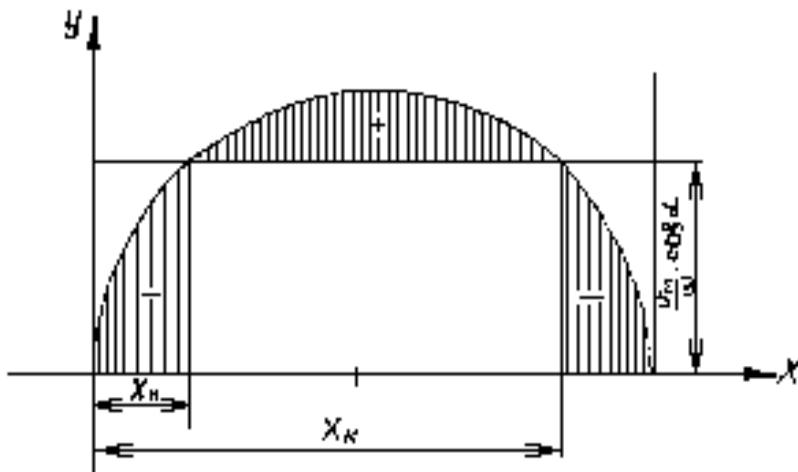


Рисунок 5 – График составляющих слагаемой скорости резания вдоль лезвия

Ординаты, представляющие разность расстояний от оси абсцисс до точек эллипса и от оси допрямой, являются значениями величин скоростей ножа вдоль лезвия сегмента. Начало и конец резания отмечаются на графике соответствующими координатами, взятыми из графика скорости резания. Численные значения соответствующей скорости ножа вдоль лезвия  $V_{Л}$  получим, если ординаты, соответствующие  $X_n$  и  $X_k$  умножим на масштаб  $\omega \cdot \sin \alpha$  со своими знаками.

**Содержание отчёта.** Графическая часть отчёта выполняется на листе координатной бумаги формата А3 или А4. На нем размещают: графики пробега активной части лезвия; площади подачи и изменения высоты стерни; графики рабочих скоростей

резания и изменения слагающей скорости ножа вдоль лезвия сегмента, а также чертеж режущей пары.

В описательной части отчёта указывают название работы, номер варианта, цель и содержание работы, приводят все требуемые расчёты.

### **Задача №1**

Определите, способен ли к самоочищению сегментно-пальцевый аппарат нормального резания с одинарным пробегом ножа, если угол наклона лезвия  $\alpha = 60^0$ , скорость комбайна равна 1,7 м/с, угловая скорость кривошипа привода ножа  $\omega = 60 \text{ с}^{-1}$ , ход ножа  $S = 76,2 \text{ мм}$ .

### **Решение задачи №1**

## Задача №2

Определить площадь участка, с которого стебли будут срезаны за один ход ножа, и установить тип режущего аппарата, если известно, что режущий аппарат перемещается со скоростью  $v=5,4$  км/ч, частота вращения кривошипного вала  $450 \text{ мин}^{-1}$ , ход ножа  $76,2$  мм, шаг сегмента  $76,2$  мм, шаг пальцев  $76,2$  мм.

## Решение задачи №2

## Контрольные вопросы

1. Запишите соотношение хода сегмента, межпальцевых и межсегментных расстояний для режущих аппаратов нормально-го резания одно и двухпробежных, низкого резания и среднего резания.

2. Запишите выражение зависимости перемещения ножа в поперечном направлении, его скорости и ускорения от угла поворота кривошипа.

3. Запишите уравнение зависимости поперечной скорости ножа от его перемещения.

4. Приведите график зависимости поперечной скорости ножа от его перемещения.

5. Объясните с использованием схемы порядок определения поперечной скорости сегмента в начале и в конце резания.

6. Объясните с использованием схемы порядок построения диаграммы движения сегмента.

7. Покажите на схеме границы участка, на котором происходит срезание растений без существенных отклонений.

8. Покажите на схеме границы участка, на котором происходит срезание растений с поперечным отклонением.

9. Покажите на схеме границы участка, на котором происходит срезание растений с продольным отклонением.

10. Изложите, с использованием схем порядок определения графическим методом длины стерни на участке с продольным отклонением растений.

11. Изложите, с использованием схем порядок определения графическим методом длины стерни на участке с поперечным отклонением растений.

12. Обоснуйте условие защемления растений между сегментом и пальцем.

13. Обоснуйте, с использованием схемы, рациональный угол наклона лезвия сегмента.

14. Обоснуйте, с использованием схемы, рациональную высоту сегмента.

15. Приведите диапазон технологических скоростей резания.

16. Обоснуйте, с использованием схемы, методику определения слагающей скорости резания вдоль лезвия.

17. Обоснуйте выражение для определения величины нагрузки на лезвие в количестве растений.

18. Обоснуйте выражение для определения величины нагрузки на лезвие в площади срезаемых растений.

19. Обоснуйте условие способности режущего аппарата к самоочищению.

## Список литературы

1. Кленин Н.И., Киселев С.Н. Сельскохозяйственные машины: учеб. для вузов. М.: КолосС, 2008.
2. Гаврилов К.Л. Тракторы и сельскохозяйственные машины иностранного и отечественного производства: устройство, диагностика и ремонт: учеб. пособие. Пермь: Звезда, 2010.
3. Халанский В.М., Горбачёв И.В. Сельскохозяйственные машины: учеб. для вузов. СПб.: ООО Квадро, 2014.
4. Сельскохозяйственные машины. Технологические расчеты в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. СПб.: Проспект Науки, 2011.
5. Кузнецов В.В. Сельскохозяйственные машины. Сборник задач и тестов: учебное пособие. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. 100 с.
6. Кузнецов В.В. Сельскохозяйственные машины. Сборник лекций по дисциплине: методическое пособие. Ч. 1. Брянск: Изд.-во Брянский ГАУ, 2018. 145 с.

Вариант \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент группы \_\_\_\_\_

---

Работу принял:

Дата \_\_\_\_\_

Учебное издание

Владимир Васильевич Кузнецов

**Анализ процесса работы сегментно-пальцевого  
режущего аппарата и определение  
его основных рабочих характеристик**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
И РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 26.03.2018 г. Формат 60x84. 1/16.

Бумага печатная Усл.п.л. 1,16. Тираж 25 экз. Изд. № 5615.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ