

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А.Костычева

## Кафедра электроснабжения

# Разработка энергосберегающей технологии очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений

*Автор: Будзинский Богдан Михайлович*

*Руководитель: д.т.н., доцент Каширин Д.Е.*

**Цель работы.** Совершенствование энергосберегающей технологии переработки и очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений.

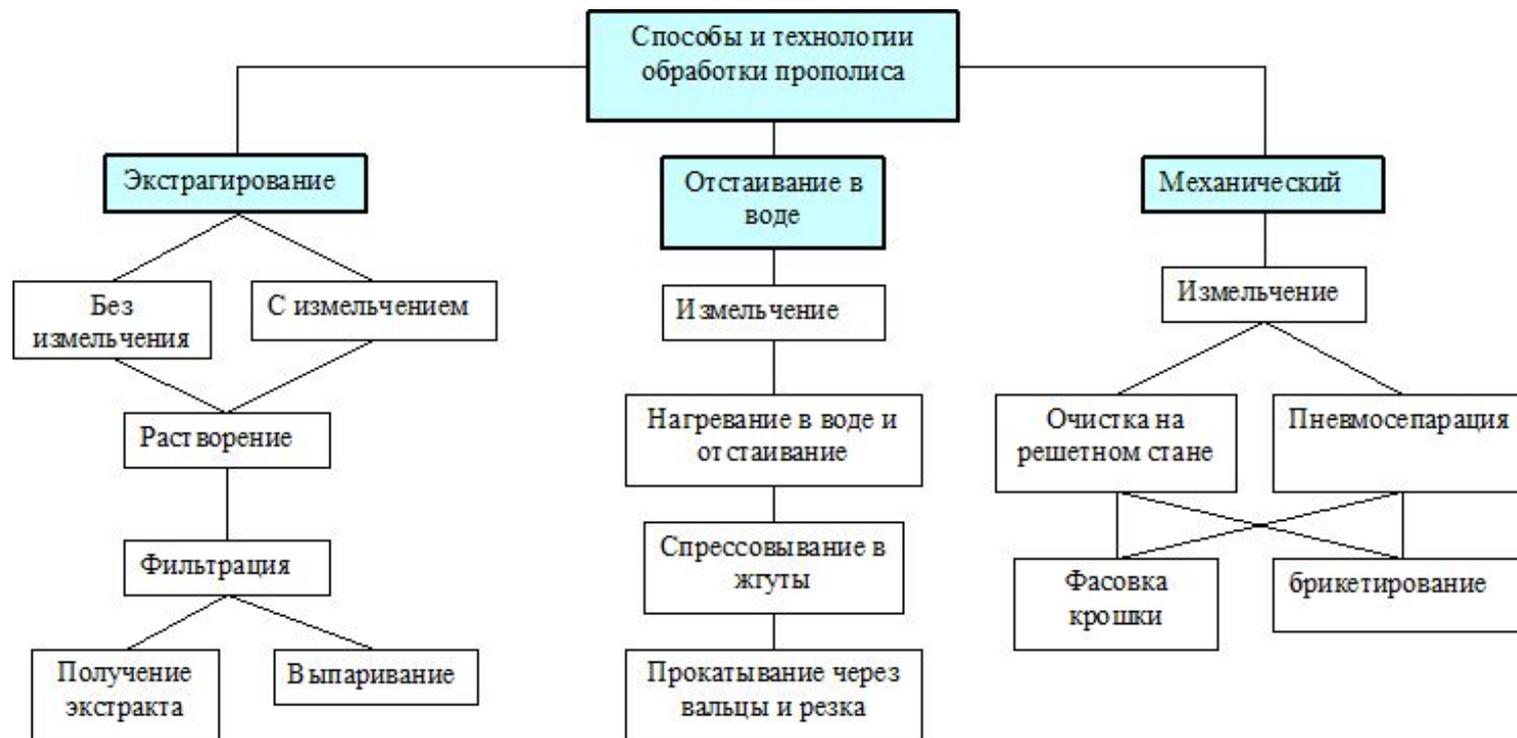
**Профессиональные задачи, решаемые в исследовании:**

1. Совершенствование энергосберегающих технологий очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений;
2. Теоретически обосновать режимы очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений, обеспечивающие минимальную энергоемкость технологического процесса;
3. Экспериментально подтвердить рациональные режимы очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений, обеспечивающие минимальную энергоемкость технологического процесса
4. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

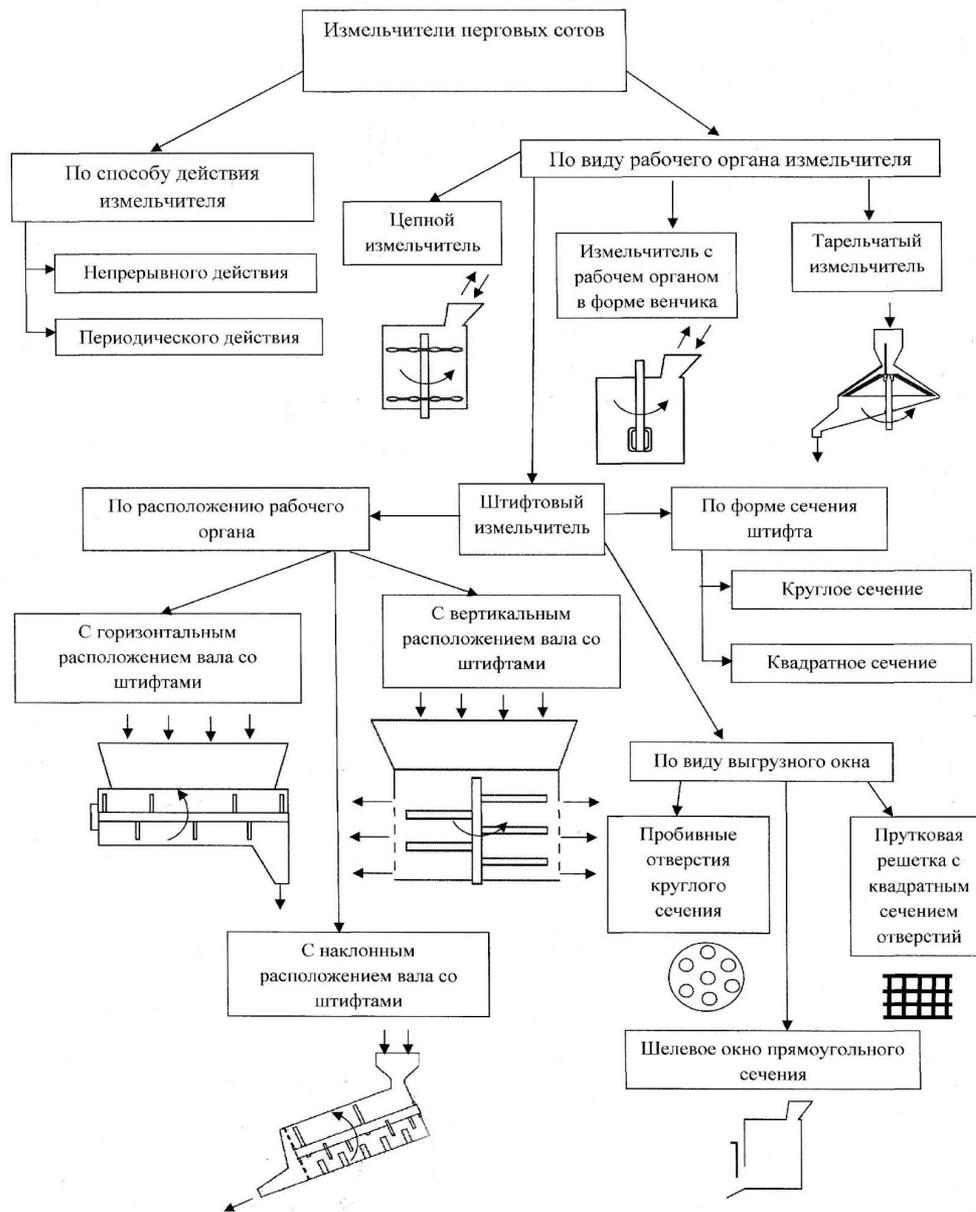
**Выносятся на защиту:**

- 1. Результаты систематизации и анализа технологических операций известных способов очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений;
- 2. Новые технические решения, на основе которых создано эффективное энергосберегающее оборудование для очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений;
- 3. Результаты теоретического и экспериментального исследования процесса очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений;
- 4. Оценка экономической эффективности и применяемости результатов работы в механизации переработки продуктов пчеловодства

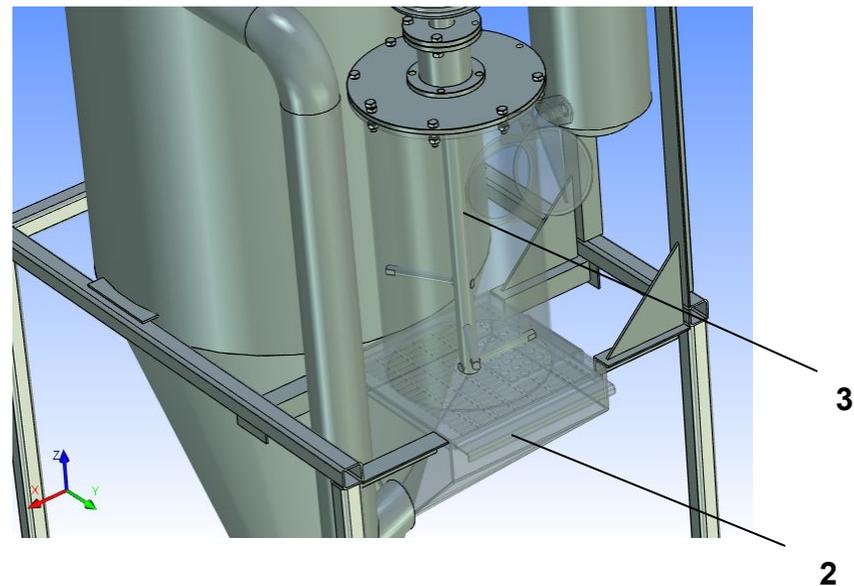
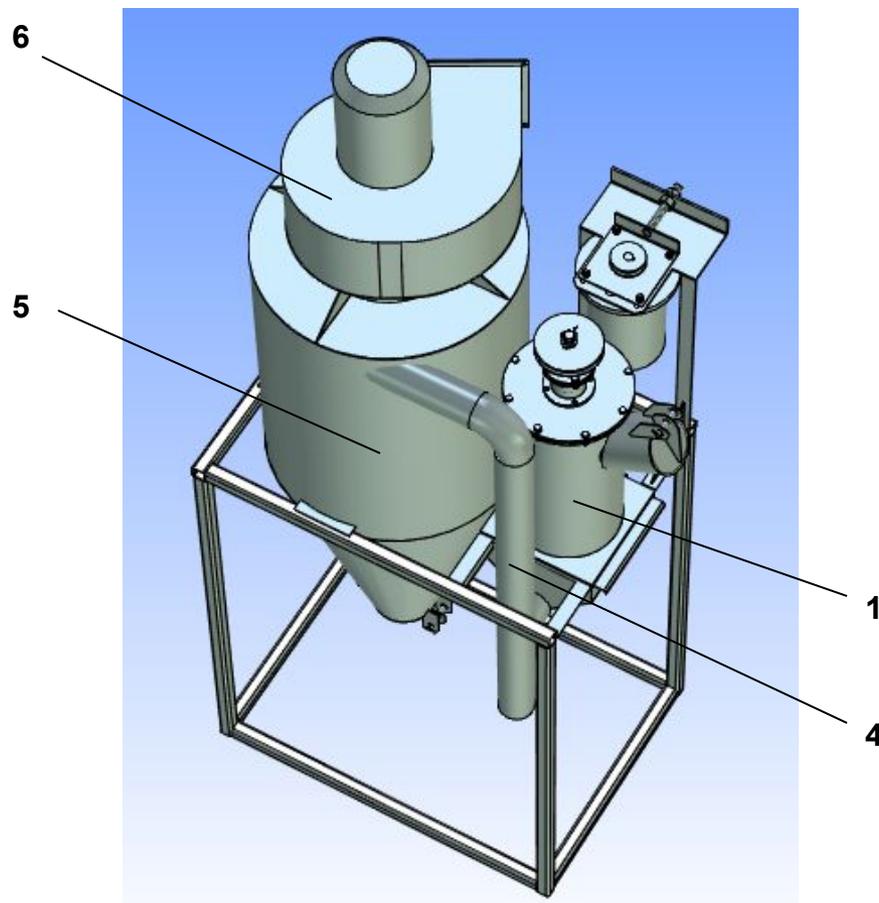
# Способы переработки продуктов пчеловодства с целью очистки от органических загрязнений (переработка прополиса)



# Классификация устройств для измельчения пчелиных сотов



# Схема установки для очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений



- 1** – корпус рабочей камеры; измельчителя
- 2** – решето;
- 3** – рабочий вал с закрепленными штифтами
- 4** – аспирационный канал;
- 5** – циклон;
- 6** – вентилятор циклона.

# Теоретическое исследование процесса измельчения продуктов пчеловодства

## Обозначени

$v$  – скорость подвода измельченных частиц к сепарирующей поверхности;  
 $k_{сеп}$  – коэффициент сепарации;  
 $w$  – угловая скорость;  
 $D_{корп}$  – диаметр корпуса измельчителя ( $R_{корп} = D_{корп} / 2$ );  
 $H_{корп}$  – длина корпуса измельчителя ;  
 $D_{отв}$  – диаметр круглых отверстий сепарирующей поверхности;  
 $M_{отв}$  – количество таких отверстий;  
 $N$  – количество частиц на единицу объема корпуса измельчителя (объемная плотность)

$W$  – средняя мощность, подводимая к ротору измельчителя;  
 $k_{кпд}$  – КПД измельчителя;  
 $J_{воздух}$  – момент инерции воздуха, заключ. внутри рабочей камеры;  
 $J_{сом}$  – момент инерции всех измельченных кусков сотов внутри рабочей камеры;  
 $m$  – масса куса сота;  
 $S$  – площадь поверхности корпуса измельчителя ;  
 $p$  – процент отсепарированных частиц (не менее) по условию окончания работы.

$$S = \pi \cdot D_{\text{отв}} \cdot H_{\text{отв}}$$

$$J_{\text{воздух}} = \frac{\pi H_{\text{отв}} \rho R_{\text{отв}}^4}{2}$$

$$J_{\text{сом}} = \frac{175MR_{\text{отв}}^2}{224}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k_{\text{кпд}} W}{50(J_{\text{воздух}} + J_{\text{сом}})}}$$

**Стохастическое уравнение, описывающее траекторию движения куса измельчаемого продукта (случайный процесс)**

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 \rho}{dt^2} = -mg \cos \varphi + k \frac{d\rho}{dt} - \alpha \frac{d\rho}{dt} \alpha \Delta t f(\rho; D), \\ m \left( \rho \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{d\rho}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right) = -mg \sin \varphi + \frac{4}{\pi d} \frac{\Omega - \omega}{\Omega} M \alpha \Omega \rho \Delta t f(\rho \sin(\Omega t - \varphi)) + \\ + k \left( \rho \frac{d\varphi}{dt} - k_{\text{увл}} \Omega \rho \right). \end{array} \right.$$

# Теоретическое исследование процесса выхода измельченного продукта из рабочей камеры измельчителя

## Уравнение баланса количества измельченных

$$N(t + \Delta t) = N(t) - \Delta N(t)$$

### частиц

Первая модель выхода измельченного продукта из рабочей камеры

**Исходные предположения о модели:**

**Уравнение сепарации**

$$N(t) = N_0 e^{-k_{\text{н\ddot{a}i}} v S t}$$

- Скорость кусков сот постоянна и равна  $\mathbf{v}$
- Направление скорости перпендикулярно перфорированной поверхности корпуса измельчителя (видимое отверстие – круг диаметром  $D_{\text{оме}}$ )
- Куски измельченного продукта – идеальные шары диаметром  $\mathbf{d}$

**Оценка времени работы измельчителя**

$$t_0 = \frac{\ln \frac{100}{100-p}}{k_{\text{н\ddot{а}i}} v S}$$

**Оценка параметров модели**

$$v = \frac{7\omega R_{\text{ei}\ddot{o}i}}{8} \quad k_{\text{н\ddot{а}i}} = \frac{M_{\text{i}\ddot{o}a} \Delta^2}{D_{\text{ei}\ddot{o}i} H_{\text{ei}\ddot{o}i}}$$

Вторая модель выхода измельченного продукта из рабочей камеры

**Исходные предположения о модели:**

**Уравнение сепарации**

$$N(t) = N_0 e^{-k_{\text{н\ddot{а}i}} v \cos \alpha S t}$$

- Скорость кусков сот постоянна и равна  $\mathbf{v}$
- Направление скорости составляет с нормалью к поверхности рабочей камеры измельчителя угол  $\alpha$  (видимое отверстие – эллипс с полуосями  $(D_{\text{оме}}/2)$  и  $(D_{\text{оме}} \cos \alpha)/2$ )
- Куски измельченного продукта – идеальные шары диаметром  $\mathbf{d}$

**Оценка времени работы измельчителя**

$$t_0 = \frac{\ln \frac{100}{100-p}}{k_{\text{н\ddot{а}i}} v \cos \alpha S}$$

**Оценка параметров модели**

$$v = \frac{7\omega R_{\text{ei}\ddot{o}i}}{8} \quad k_{\text{н\ddot{а}i}} = \frac{M_{\text{i}\ddot{o}a} (D_{\text{i}\ddot{o}a} - d)^2}{4D_{\text{ei}\ddot{o}i} H_{\text{ei}\ddot{o}i}} \cos \alpha$$

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальное определение рациональных конструктивно-технологических параметров установки



### Варьируван

- частотой вращения рабочего вала;
- схемой размещения штифтов на рабочем вале;
- геометрическими размерами штифтов;
- степенью загрузки рабочей камеры продуктом

### Факторы и уровни их

Уровень и интервал варьирования	Факторы		
	Диаметр штифтов D, мм	Частота вращения рабочего вала n, об/мин	Расстояние между штифтами h, мм
	X1	X2	X3
Верхний уровень (-1)	10	546	5
Основной уровень (0)	14	580	15
Нижний уровень (+1)	18	614	25
Интервал варьирования	4	34	10

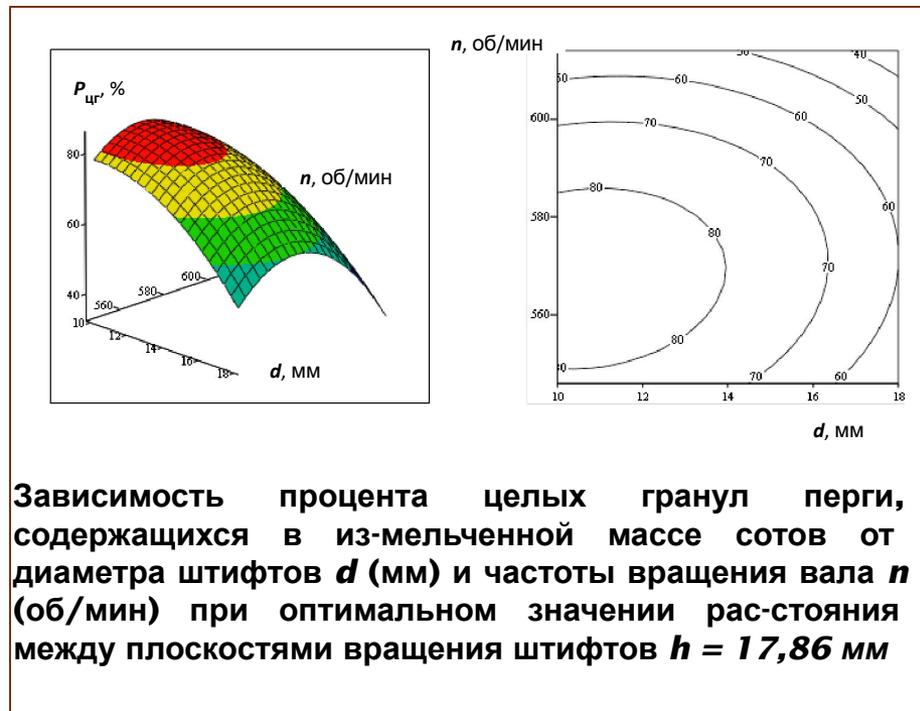
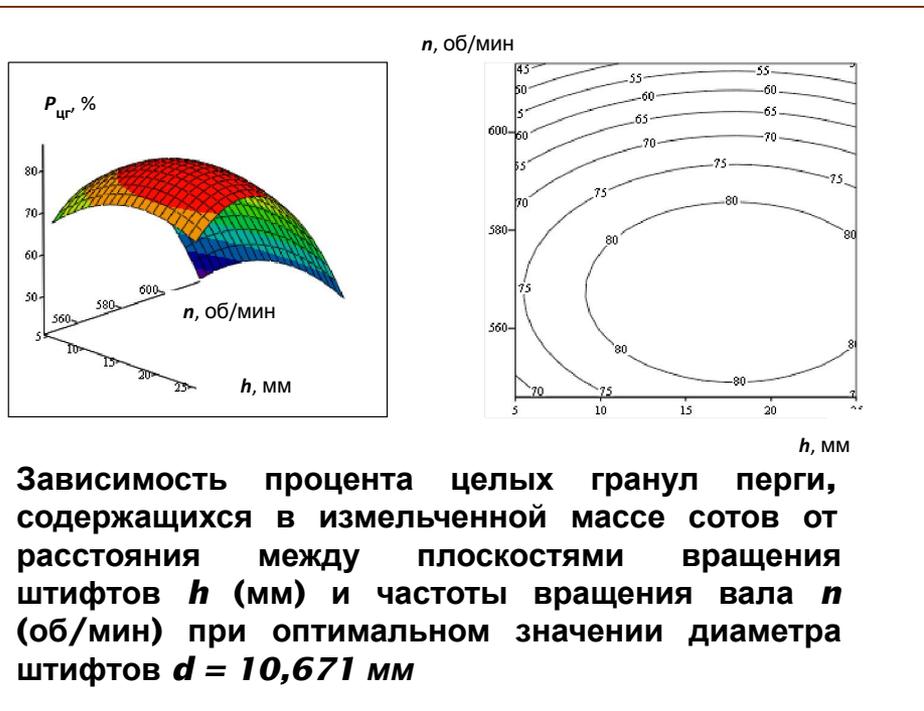
Процентное содержание целых гранул перги, находящейся в измельченной воскоперговой массе, определяли в соответствии с известной методикой используя следующую формулу: 
$$P_{цр} = \frac{M_5}{M_6 + M_5 + M_3} \cdot 100$$

где:  $M_6$  – масса перги, оставшейся на решетке классификатора, имеющего диаметр отверстий 6 мм;

$M_5$  – масса перги, оставшейся на решетке классификатора с диаметром отверстий 5 мм;

$M_3$  – масса перги, оставшейся на решетке классификатора с диаметром отверстий 3 мм.

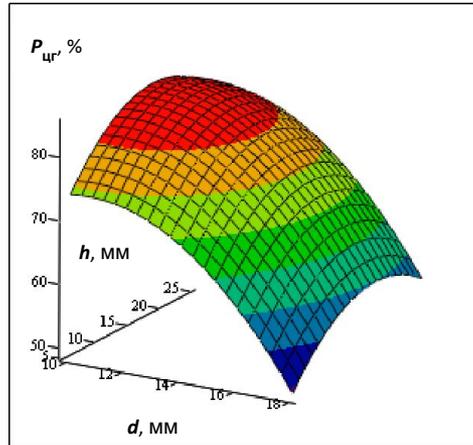
# Результаты экспериментального определения рациональных конструктивно-технологических параметров установки для очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений (при измельчении кусков пчелиных сотов)



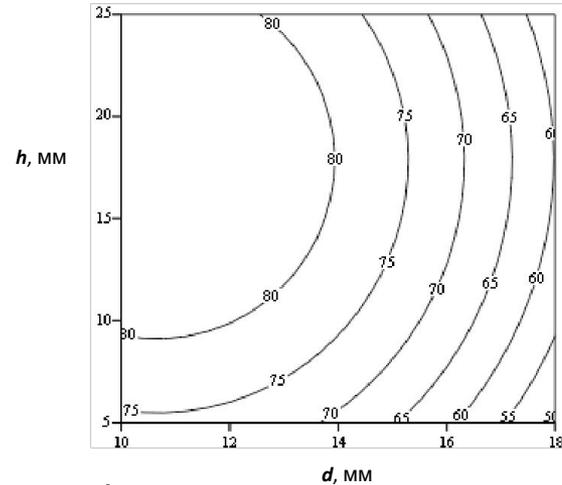
$$P_{\text{цгр}} = -4624 + 2,331 \cdot h + 16,525 \cdot n + 0,018 \cdot d \cdot n - 0,469 \cdot d^2 - 0,065 \cdot h^2 - 0,014728 \cdot n^2$$

где:  $P_{\text{цгр}}$  – процент целых гранул перги, содержащейся в измельченной массе сотов, %;  $d$  – диаметр штифтов, мм;  $h$  – расстояние между плоскостями вращения штифтов, мм;  $n$  – частота вращения рабочего вала, об/мин.

**Функция достигает максимального значения 85% в точке ( $d = 10,671$  мм;  $h = 17,86$  мм;  $n = 567$  об/мин)**



z3



z3

**Зависимость процента целых гранул перги, содержащихся в измельченной массе сотов от диаметра штифтов  $d$  (мм) и расстояния между плоскостями вращения штифтов  $h$  (мм) при оптимальном значении частоты вращения вала  $n = 567$  об/мин**



## Методика определения влияния начального размера частиц прополиса и продолжительности измельчения на энергоемкость и степень измельчения

Уровень и интервал варьирования.	Факторы	
	Начальный размер частиц ( $D$ ), мм.	Продолжительность измельчения ( $t_{изм}$ ), с.
Верхний уровень (+1)	9	15
Основной уровень (0)	6	9
Нижний уровень (-1)	3	3
Интервал варьирования	3	6

Удельная энергоемкость процесса измельчения вычислялась по формуле:

$$A = \frac{N_n - N_{xx}}{Q},$$

где  $A$  – удельная энергоемкость, кВт·ч/т;

$N_n$  – полная мощность, потребляемая электроприводом измельчителя, кВт;

$N_{xx}$  – мощность, потребляемая электроприводом измельчителя при холостом ходе, кВт;

$Q$  – производительность измельчителя, т/ч.

Получаемая измельченная масса подвергалась ситовому анализу по стандартной методике с целью определения модуля помола и степени измельчения.

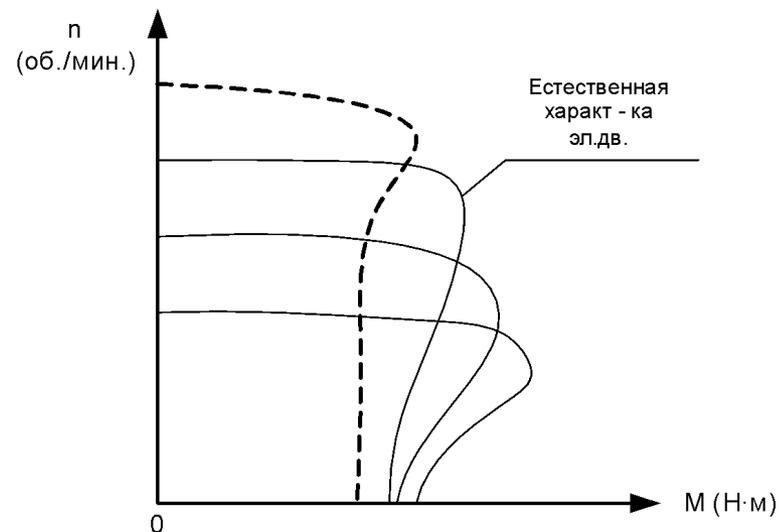
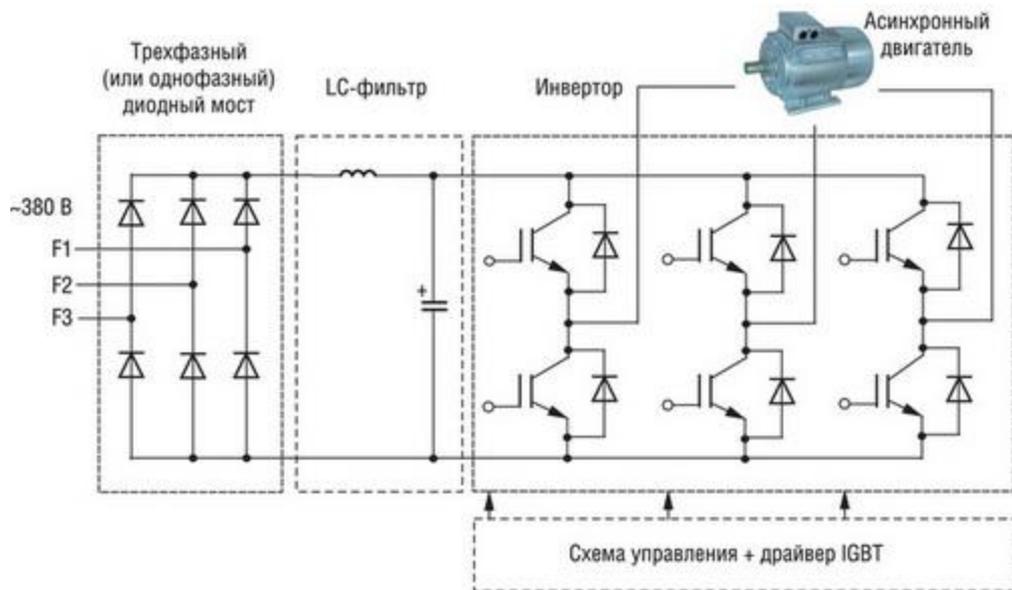
Графическая зависимость энергоемкости процесса измельчения прополиса от начального размера частиц и времени измельчения

Графическая зависимость степени измельчения прополиса от начального размера частиц и времени измельчения

**К электрическому приводу измельчителя, установки для очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений предъявляются следующие требования:**

- возможность бесступенчато регулировать частоту вращения рабочего вала измельчителя от 100 до 5000 об/мин;
- близкая к линейной, жесткая механическая характеристика электропривода

Жесткая механическая характеристика электропривода необходима для обеспечения высокой стабильности частоты вращения ротора измельчителя при значительных изменениях величины тормозящего момента рабочего вала, что требуется для обеспечения качественного измельчения



Семейство регулировочных характеристик асинхронного короткозамкнутого электродвигателя при использовании частотного регулятора

# Механические характеристики электродвигателей постоянного тока

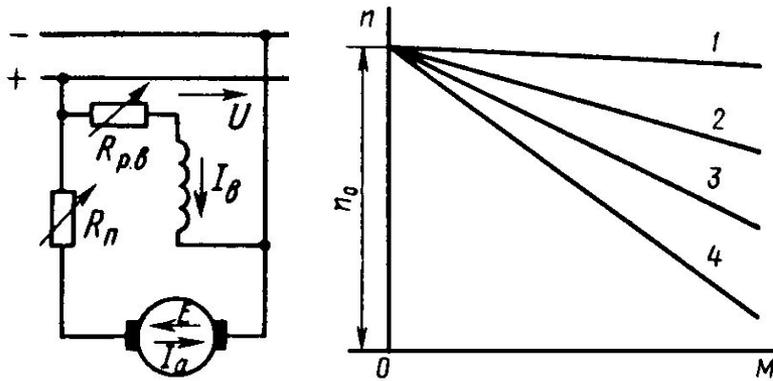


Схема замещения и механические характеристики электродвигателя с параллельным возбуждением

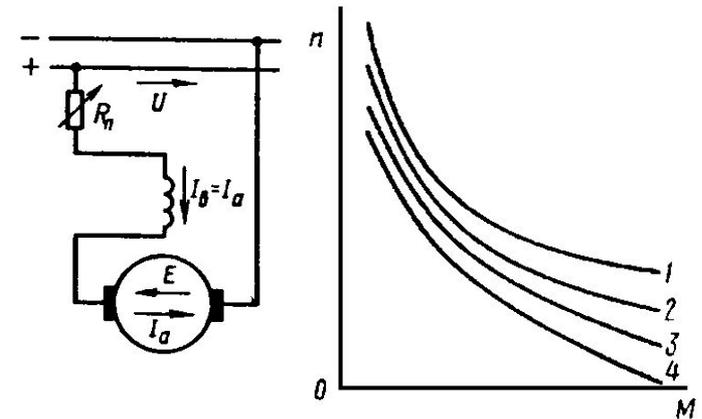


Схема замещения и механические характеристики электродвигателя с последовательным возбуждением

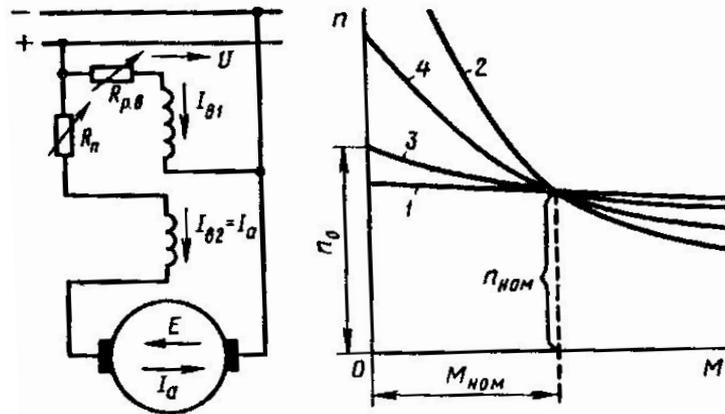
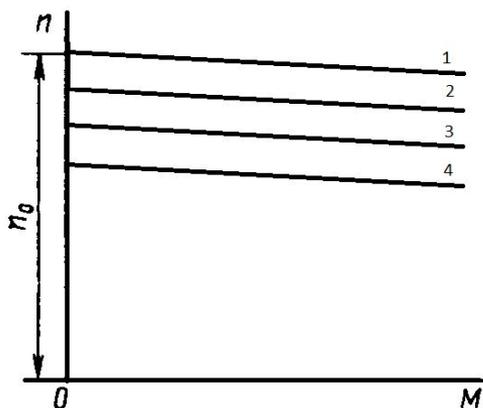


Схема замещения и механические характеристики электродвигателя смешенного возбуждения

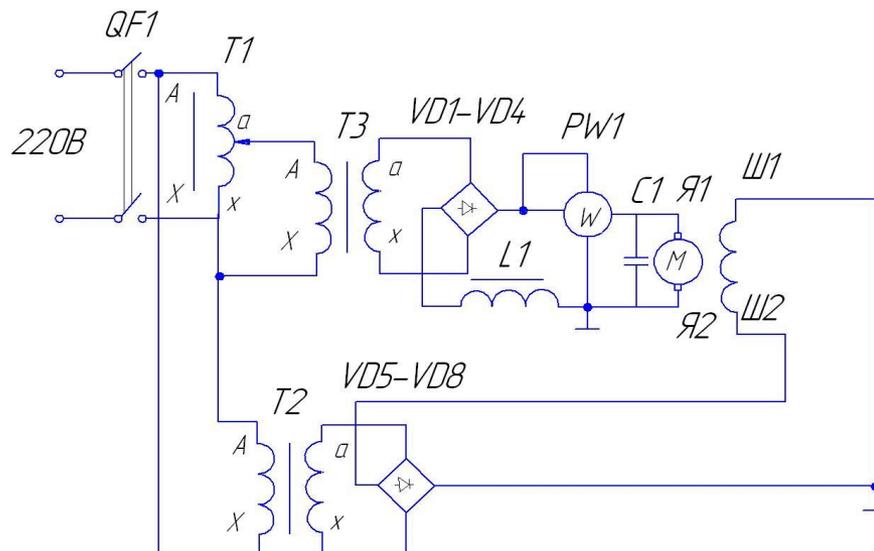
# Принципиальная электрическая схема блока питания электродвигателя измельчителя, установки для очистки продуктов пчеловодства от органических загрязнений



Механические  
характеристики

электродвигателя постоянного  
тока с

независимым питанием  
роторной и статорной обмотки



QF1 - защитный аппарат;

T1 - автотрансформатор, предназначенный для регулирования частоты вращения ротора электродвигателя;

T3 - трансформатор питания якорной обмотки электродвигателя;

VD1-VD4 - выпрямитель якорной обмотки электродвигателя;

PW1 - ваттметр;

L1 - дроссель;

C1 - конденсатор;

Я1-Я2 - якорная обмотка электродвигателя;

T2 - трансформатор питания статорной обмотки электродвигателя;

VD5-VD8 - выпрямитель статорной обмотки электродвигателя;

Ш1-Ш2 - статорная обмотка электродвигателя.

## Математическое моделирование основных параметров электропривода

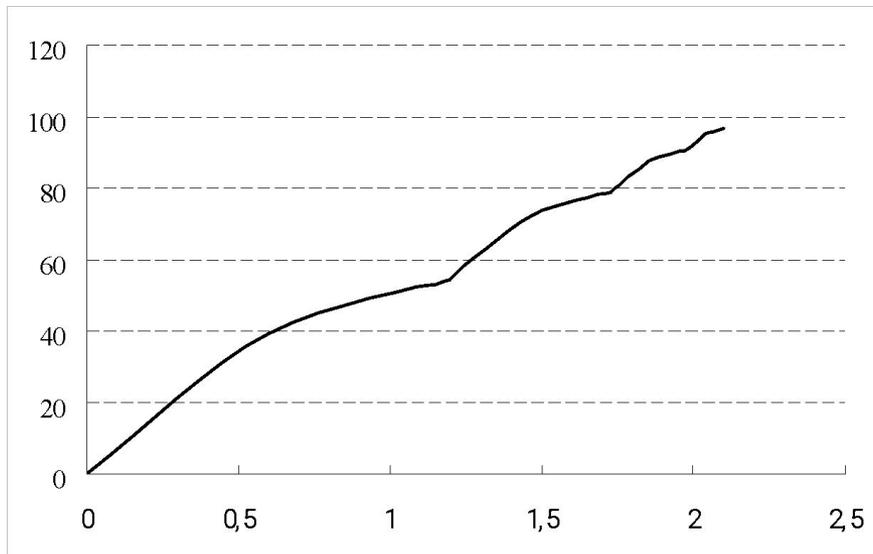


График переходного процесса  $\omega(t)$

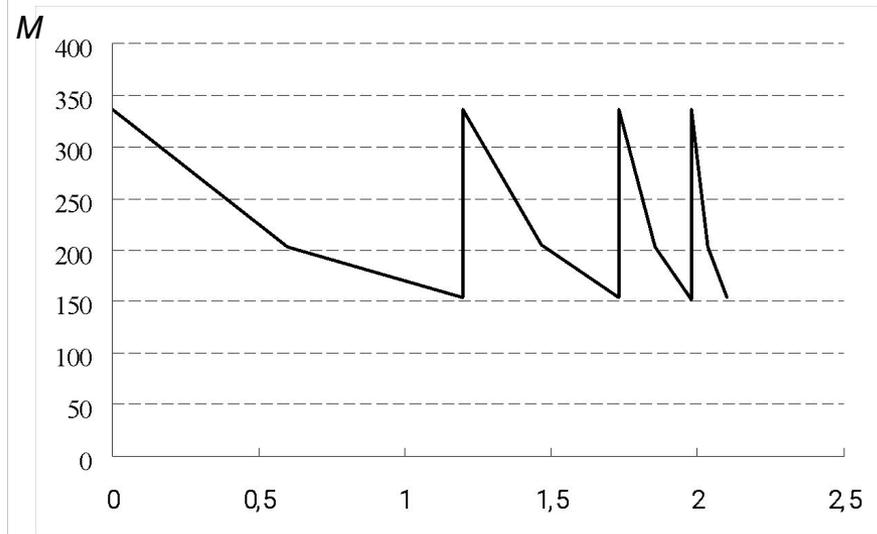


График переходного процесса.  $M(t)$

## Экономические показатели

<b>Годовая экономия, руб.</b>	<b>10 968</b>
<b>Годовая экономия, %</b>	<b>88,4</b>
<b>Срок окупаемости, лет</b>	<b>1,53</b>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Срок окупаемости вложений в модернизацию процессов извлечения перги из сотов и переработки прополиса слабо зависит от величины годового объема переработки, что позволяет использовать предлагаемые установки как на крупных, так и на мелких пасеках. Так, замена АИП-50 предлагаемой установкой для извлечения перги из сотов вертикального типа с сепаратором окупится примерно через 1,5 года.
2. Технология обработки прополиса должна содержать следующие операции: охлаждение прополисового сырья до температуры минус 5 – 10<sup>0</sup>С, измельчение охлажденного прополисового сырья при этой же температуре, отделение примесей от прополиса воздушным сепарированием при скорости воздушного потока 5 – 8 м/с, нагрев очищенного прополиса до температуры 25<sup>0</sup>С, брикетирование до плотности брикетов 1120 – 1170 м<sup>3</sup>.
3. Наилучшим способом измельчения прополисового сырья до размеров частиц, не превышающих 2,5 мм, является дробление. Для этого может быть использована предложенная нами установка производительностью до 100 кг/ч, с удельными затратами энергии 5 кВт·ч/т.
4. При увеличении среднего размера частиц необходимо увеличивать скорость воздушного потока. Лучшая очистка прополиса происходит после предварительного разделения измельченного прополиса на фракции по размерам частиц. При среднем размере частиц 2,5 мм скорость воздушного потока должна быть 8 м/с, а при среднем размере частиц 0,25 мм – 5,2 м/с.

*Доклад окончен.*  
*Спасибо за внимание.*

