

УДК 621.67:628.163

UDC 621.67:628.163

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ОТКАЧКИ МЕДА****METHODS AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES FOR SUBSTANTIATION OF ELECTRIC DRIVE RATIONAL OPERATING MODE FOR HONEY OUTPUT CENTRIFUGE**

Овсянников Дмитрий Алексеевич  
к.т.н., доцент

Ovsiannikov Dmitry Alexeevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Хорошунув Николай Геннадиевич  
аспирант  
*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

Khoroshunov Nikolay Gennadievich  
Postgraduate student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье представлены: методика и результаты экспериментальных исследований по обоснованию рационального режима работы электропривода центрифуги для откачки меда из соторамок. Получена эмпирическая модель влияния температуры меда в диапазоне от 20 до 30 °С, и влажности меда в диапазоне от 17 до 21 % на начальную скорость вращения центрифуги. Рациональный режим работы электропривода центрифуги для откачки меда, включает откачку медовых рамок в 3 этапа. Для каждого из этапов обоснована частота вращения барабана центрифуги с учетом температуры и влажности откачиваемого меда. Приведен пример использования модели. Даны рекомендации по применению результатов исследования

Hereby are represented: method and results of experimental research for substantiation of rational operating mode for honey centrifuge electric drive. Empiric model of influence of honey temperature (from 20 to 30 °C) and honey humidity (from 17 to 21%) on initial rotating speed of centrifuge was worked out. Rational operating mode of honey centrifuge electric drive consists of 3 stages of honey output. Rotating speed of drum with allowance to the honey temperature and humidity for each stage was substantiated. There is an example of model using. Recommendations for application of research results are given

Ключевые слова: КАЧЕСТВО ОТКАЧКИ МЕДА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРИФУГИ, МЕДОГОНКА, ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

Keywords: QUALITY OF HONEY OUTPUT, PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS, EXPERIMENTAL RESEARCHES, RATIONAL OPERATING MODE OF CENTRIFUGE ELECTRIC DRIVE, CENTRIFUGE, ROTATING SPEED

Существующие в настоящее время хордиальные медогонки с электроприводом предусматривают откачку меда в два этапа: сначала полную откачку с одной стороны соторамки, а затем полную откачку со второй стороны [2;3;4;5;6;7]. Именно по этой причине в настоящее время снижается эффективность процесса откачки меда: степень откачки не превышает 85%, а разрушения соторамок составляют до 30 % [2; 10].

Для повышения эффективности процесса откачки следует использовать технологию с тремя этапами: первый этап – откачка первой стороны соторамки – извлекается 15% от общей массы меда в рамке; второй этап –

переворот и откачка меда со второй стороны соторамки – 50% меда; третий этап – переворот и откачка первой стороны соторамки - 35% меда [8; 9;10].

Для разработки эффективного электропривода медогонки необходимо определить влияние физико-химических свойств меда на начальную скорость вращения медогонки. Экспериментальные исследования предназначены для подтверждения теоретических положений и получения упрощенного эмпирического выражения определяющего требуемую скорость откачки меда на первом этапе.

Для достижения цели произведено планирование эксперимента [1;11]. В качестве независимых переменных приняты основные физико-химические свойства меда:  $x_1$  – влажность меда,  $\psi, \%$  (4 уровня – 17;18; 19;20);  $x_2$  – температура меда,  $t, ^\circ\text{C}$  (4 уровня – 20;25; 28;30). В качестве зависимой переменной принята минимальная начальная скорость вращения медогонки ( $n$ , об/мин), требуемая для откачки меда на первом этапе. Таким образом, получаем матрицу для описательного эксперимента  $4^2$  с двумя зависимыми переменными. Повторность опыта трехкратная.

Экспериментальные исследования осуществлялись с 15 по 25 мая в период медосбора с белой акации. Пчелы приносят в улей нектар влажностью 50% и за 6 суток превращают его в зрелый мед влажностью до 21 %. Зрелый мед с белой акации обладает наименьшей влажностью, которая может составлять 15 %. Контроль влажности меда в ульях осуществляли портативным рефрактометром во второй половине периода медосбора при снижении показаний привеса контрольного улья менее 2,5 кг в сутки. Для реализации 16 опытов с трехкратной повторностью отобрали 144 рамки в 4 этапа по мере уменьшения влажности. Погода в мае месяце позволяет охладить отобранные рамки в полевых условиях с 31  $^\circ\text{C}$  до требуемой для опытов температуры.

Откачка меда осуществлялась в 3-х рамочной медогонке М-3 с электроприводом постоянного тока (рисунок 1), который позволял точно установить требуемую частоту вращения барабана центрифуги, которая измерялась инфракрасным частотомером *Omega 16*.



Рисунок 1 – Изображение экспериментально оборудования

Частоту вращения центрифуги быстро увеличивали до 70 об/мин, а затем ступенчато изменяли на 2-3 об/мин. Факт начала откачки меда фиксировался двумя способами. Первый заключался в снижении показаний амперметра через 10 секунд после достижения установившейся скорости. Второй метод органолептический, визуально определяли вылет капель меда на стенки емкости центрифуги, который сопровождался характерным шумом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изображение вращающегося барабана центрифуги М-3 с соторамками с фиксацией факта начала откачки меда.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 2. Корреляционный и регрессионный анализ факторов и определение значимости коэффициентов уравнений были проведены при помощи программы STATISTICA 6.0. Корреляционный анализ произведен методом Пирсона. Аппроксимация была проведена методом полинома[1;11]. На базе регрессионного анализа построена модель, которая в общем виде будет представлена в виде полинома второй степени:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_4x_1x_2 + b_3x_1^2 + b_5x_2^2, \tag{1}$$

где  $b_0 \dots b_5$  – коэффициенты модели.

Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 1

Таблица 1 – Регрессионный анализ влияния влажности и температуры меда на начальную частоту вращения центрифуги ( $y_i$ )

общий коэффициент корреляции $R = 0,98$ ; общий коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$ ; критерий Фишера $F(5,10) = 78,24$ ; уровень значимости $p < 0,00000$ ; стандартная ошибка оценки: 5,93						
	Коэффициент регрес-	Стандартная ошибка	Сдвиг и нестандарт-	Стандартная ошибка оцен-	Критерий Стьюдент-	$p$ – уровень зна-

	сии при переменной	оценки коэффициентов регрессии	тизированный коэффициент эмпирической формулы	ки сдвига и нестандартизованного коэффициента эмпирической формулы	та $t(51)$	чимости
Сдвиг			3405,944	540,3830	6,30283	0,000089
$x_1$	-8,1680	2,093804	-217,174	55,6711	-3,90102	0,002956
$x_2$	-11,1922	1,204896	-88,330	9,5092	-9,28892	0,000003
$x_1x_2$	7,6218	0,895199	3,000	0,3524	8,51412	0,000007
$x_1^2$	4,7850	2,065801	3,437	1,4841	2,31627	0,043045
$x_2^2$	3,4479	0,877136	0,547	0,1391	3,93083	0,002816

В результате регрессионного анализа построена математическая модель, описывающая взаимодействие факторов и наблюдаемой величины, которая представлена в виде уравнения регрессии:

$$y_1 = 3406 - 8,168x_1 - 11,192x_2 + 7,621x_1x_2 + 4,785x_1^2 + 3,448x_2^2. \quad (2)$$

Уравнение регрессии позволяет оценить степень влияния независимых переменных и их сочетаний на зависимую переменную. Каждый из коэффициентов регрессии в уравнении (2) отражает уровень изменения начальной частоты вращения при изменении одного из физико-химических параметров меда на единицу. Коэффициент детерминации составил 96%, что говорит о хорошем качестве построенной модели. Он показывает, что 96% изменчивости минимальной частоты вращения медогонки требуемой для эффективной откачки меда на первом этапе объясняется влиянием влажности и температуры меда, а доля вариации зависимой переменной  $y_1$ , определяемая выражением  $1 - R^2$  и составляющая 4 %, оказывается необъяснённой. Согласно результатам регрессионного анализа (таблица 1) наибольшее влияние на минимальную частоту вращения центрифуги требуемую для эффективной откачки на первом этапе оказывает температура меда  $x_2$  с высоким уровнем значимости  $p = 0,000003$ . Влажность меда  $x_1$ , с уровнем значимости  $p = 0,002956$ , оказывает меньшее влияние, чем  $x_2$ . Установлено что нельзя пренебречь сочетанием независимых переменных

$(x_1; x_2)$ , влияние которых крайне значимо ( $p = 0,000007$ ). Полученные результаты свидетельствуют о правильности планирования эксперимента.

С позиции дальнейшего применения наибольшую ценность представляет эмпирическая математическая модель, представленная полиномом второй степени в выражении (3). Данная математическая модель позволяет определить требуемую минимальную частоту вращения центрифуги при различных параметрах меда, подставляемых в абсолютных единицах.

$$y_1 = 3406 - 217,2x_1 - 88,3x_2 + 3x_1x_2 + 3,437x_1^2 + 0,547x_2^2. \quad (3)$$

Анализ экспериментально полученных наблюдаемых значений переменной  $y_1$  и предсказанных регрессионной моделью представлен в таблице 2 и графически изображен на рисунке 3.

Таблица 2 – Данные анализа адекватности полученной модели переменной  $y_1$

N=16	влажность меда, $\psi, \%$ ; $x_1$	температура меда, $t, ^\circ C$ ; $x_2$	$x_1 x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	Наблюдаемые значения $y_1$	Предсказанные значения $y_1$	Разница	Ст. ошибка пред. значений
1	17	20	340	289	400	189,0	179,6	9,4	4,9
2	17	25	425	289	625	110,0	116,0	-6,0	3,6
3	17	28	476	289	784	86,0	91,0	-5,0	3,3
4	17	30	510	289	900	82,0	79,7	2,3	4,3
5	18	20	360	324	400	137,0	142,8	-5,8	3,5
6	18	25	450	324	625	92,0	94,2	-2,2	3,0
7	18	28	504	324	784	80,0	78,1	1,9	2,5
8	18	30	540	324	900	77,0	72,9	4,1	3,3
9	19	20	380	361	400	108,0	112,8	-4,8	3,5
10	19	25	475	361	625	81,0	79,2	1,8	3,0
11	19	28	532	361	784	76,0	72,1	3,9	2,5
12	19	30	570	361	900	74,0	72,9	1,1	3,3
13	20	20	400	400	400	91,0	89,7	1,3	4,9
14	20	25	500	400	625	77,0	71,1	5,9	3,6
15	20	28	560	400	784	73,0	73,0	0,0	3,3

16	20	30	600	400	900	72,0	79,8	-7,8	4,3
Minimum	17	20	340	289	400	72,0	71,1	-7,8	2,5
Maximum	20	30	600	400	900	189,0	179,6	9,4	4,9
Mean	18,5	25,75	476,3	343	677	94,1	94,1	0,0	3,6
Median	18,5	25,75	476,3	343	677	81,5	79,8	1,2	3,4

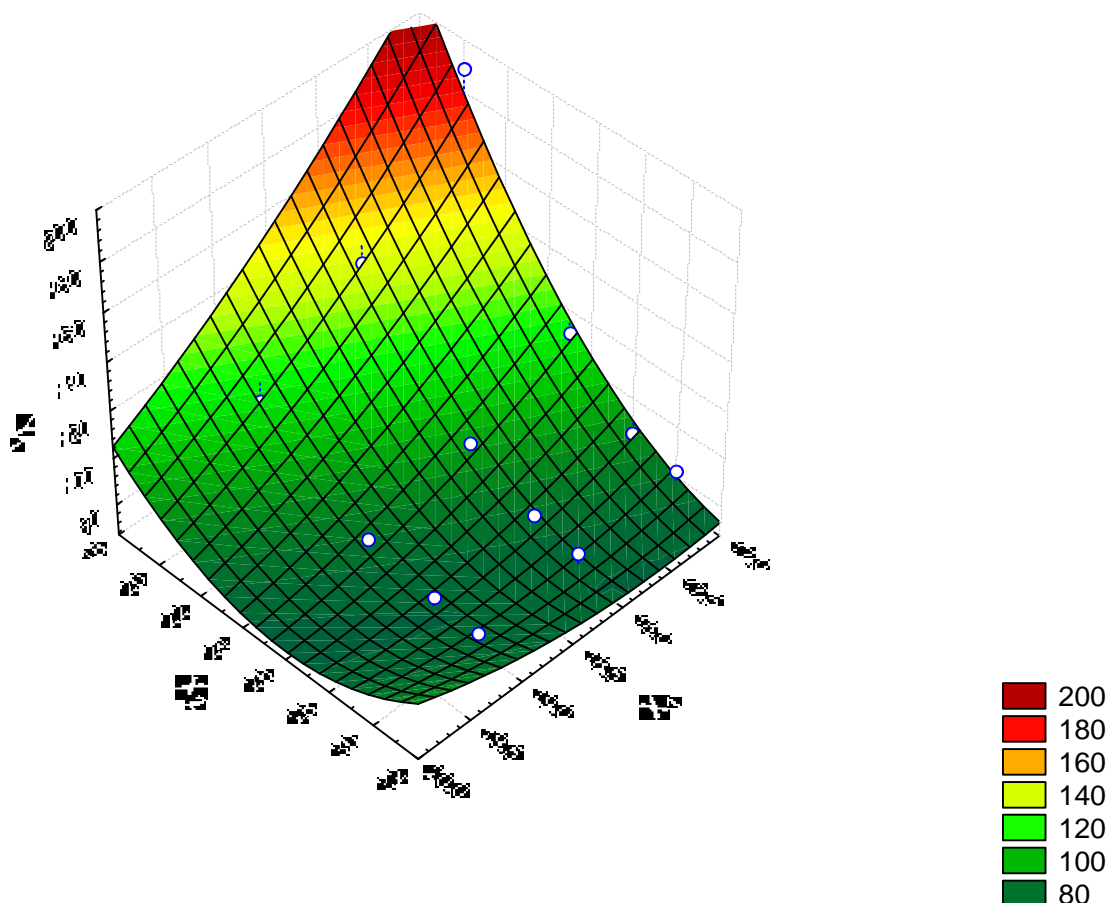


Рисунок 3 – Диаграмма влияния влажности и температуры меда на значение параметра минимальной частоты вращения центрифуги

Диаграмма влияния влажности и температуры меда на проекцию поля параметра минимальной частоты вращения центрифуги представлена на рисунке 4.

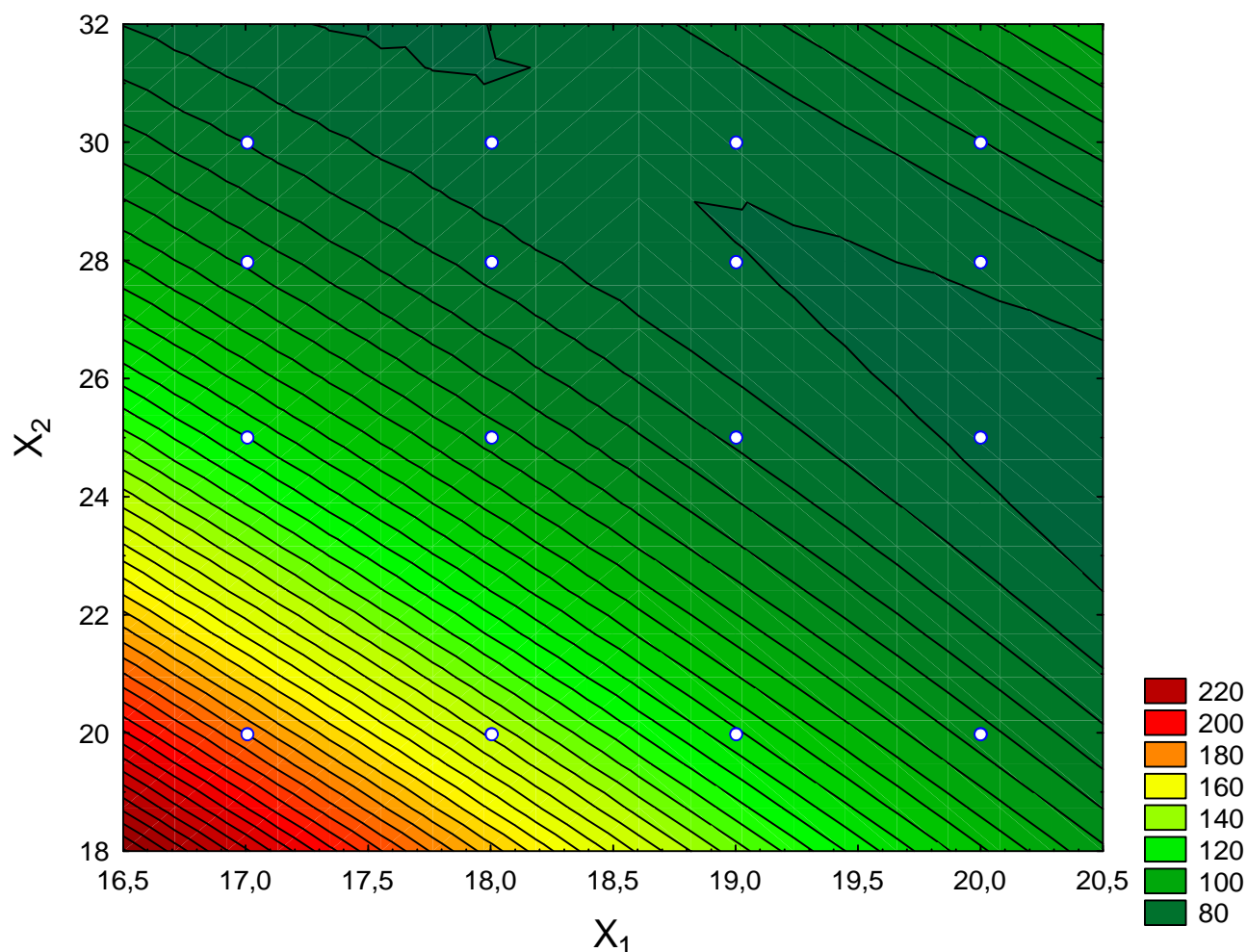


Рисунок 4 – Диаграмма влияния влажности и температуры меда на проекцию поля параметра минимальной частоты вращения центрифуги

Полученная математическая модель (3) влияния влажности меда и температуры меда на значение параметра минимальной частоты вращения центрифуги обеспечивает достаточно точное прогнозирование результатов воздействия основных физико-химических свойств меда на зависимую переменную при любых значениях  $x_1$  и  $x_2$ .

Модель обосновывает требуемую для эффективной откачки меда на первом этапе минимальную частоту вращения центрифуги. Логично предположить, что минимальная частота вращения барабана, требуемая для эффективной откачки на каждом из этапов будет разной. Изменение



начальной частоты вращения будет зависеть от массы оставшегося меда в рамках. Таким образом, диапазон регулирования частоты вращения для каждого из этапов можно представить следующим образом:

$$1 \text{ этап - от } n_{\min 1} = y_1 \quad \text{до } n_{\max 1} = \frac{y_1}{0,85} = n_{\min 2} \quad , \quad (4);$$

$$2 \text{ этап - от } n_{\min 2} = \frac{y_1}{0,85} \quad \text{до } n_{\max 2} = \frac{y_1}{0,35} = n_{\min 3} \quad , \quad (5);$$

$$3 \text{ этап - от } n_{\min 3} = \frac{y_1}{0,35} \quad \text{до } n_{\max 3} \quad , \quad (6);$$

В основе определения верхнего предела частоты вращения  $n_{\max 3}$  лежит многолетний опыт пчеловодов, который доказывает, что данный показатель не должен превышать 280 об/мин [3;10]. Это связано с пределом прочности воцин в соторамках. Если число оборотов выше указанного предела, то происходит физическое разрушение конструкции соторамки: воцина отслаивается от удерживающих ее элементов. Данный факт приводит к порче соторамок и приводит к необоснованным материальным и экономическим затратам.

Таким образом, получаем, что крайние показатели общего диапазона вращения будут определяться минимальной скоростью, при которой начинается откачка меда и максимальной при которой увеличиваются риски порчи соторамок и влекущая за собой экономические и инвентарные издержки. При использовании формул 4,5,6 получили соотношение начальных скоростей вращения по этапам откачки – 1:1,18:2,85. Например, для меда влажностью 18,5 % и температурой 30°C с использованием полученных выражений установлены следующие диапазоны частот вращения по этапам: 1 этап – от 71 до 83 об/мин; 2 этап – от 83 до 202 об/мин; 3 этап – от 202 до 280 об/мин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получена эмпирическая модель влияния температуры меда в диапазоне от 20 до 30 °С, и влажности меда в диапазоне от 17 до 21 % на начальную скорость вращения центрифуги. Обоснован рациональный режим работы электропривода центрифуги для откачки меда, включающий откачку медовых рамок в 3 этапа. Для каждого из этапов обоснована частота вращения барабана центрифуги с учетом температуры и влажности откачиваемого меда. Результаты исследований могут быть использованы для построения нагрузочной диаграммы и правильного выбора электродвигателя, а также для программирования микроконтроллера реализующего рациональный режим регулируемого электропривода центрифуги для откачки меда.

### *Библиографический список*

1. Блохин В. Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / Блохин В. Г., Глудкин О. П., Гуров А. И., Ханин М. А.; под ред. Глудкина О. П. - М.: Радио и связь, 1997. — 232 с.: ил.
2. Овсянников Д.А. Экологически чистые и энергоэффективные методы повышения производительности труда в пчеловодстве / Д.А. Овсянников, Н.Г. Хорошунов // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. 4-я Российской научн.-практич. Конф. Сб. научн. Трудов.: Ставрополь, 2010 г.
3. Овсянников Д.А. Экологически чистые методы повышения производительности труда в пчеловодстве / Д.А. Овсянников, Н.Г. Хорошунов // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность № 1-2 (4-5) 2010, С. 134-136.
4. Овсянников Д.А. Экспериментальные исследования влияния температуры и влажности меда на начальную скорость вращения центрифуги / Д.А. Овсянников, Н.Г. Хорошунов // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. 4-я Российской научн.-практич. Конф. Сб. научн. Трудов.: Ставрополь, 2010 г.
5. Оськин С.В. Анализ поведения меда в сотах в процессе откачки/ С.В.Оськин, Н.Г. Хорошунов // Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК. 3-я Российская научн.-практич. Конф. Сб. научн. Трудов.: Ставрополь, 2005 г.
6. Оськин С.В. Динамика меда в сотах соторамок/ С.В.Оськин, Н.Г. Хорошунов // Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК. 3-я Российская научн.-практич. Конф. Сб. научн. Трудов.: Ставрополь, 2005 г.
7. Оськин С.В. Многоскоростной электропривод центрифуг в пчеловодстве./ С.В. Оськин, Н.Г. Хорошунов// Электромеханические преобразователи энергии

- «ЭМПЭ- 4». Материалы 3-й межвузовской научно-мет. конф.: Краснодар, 2004, КВАИ.
8. Оськин С.В. Определение функциональной зависимости скорости начала откачки меда от радиуса вращения сота с медом относительно оси вращения барабана/ С.В.Оськин, Н.Г. Хорошунов// Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК. 3-я Российская научн.-практич. Конф. Сб. научн. Трудов.: Ставрополь, 2005 г.
  9. Туников Г. М. Технология производства и переработки продукции пчеловодства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Туников Г. М., Кривцов Н. И., Лебедев В. И. и др. – М.: Колосс, 2001. – 176 с.
  10. Хорошунов Н.Г. Обоснование частоты вращения центрифуги для откачки меда// Механизация и электрификация сельского хозяйства.№9, 2007, С.40-41.
  11. Электронный учебник StatSoft, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook>.