

ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СУШИЛКИ

А.С. Ключников
инженер кафедры механизации сельскохозяйственного производства
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА

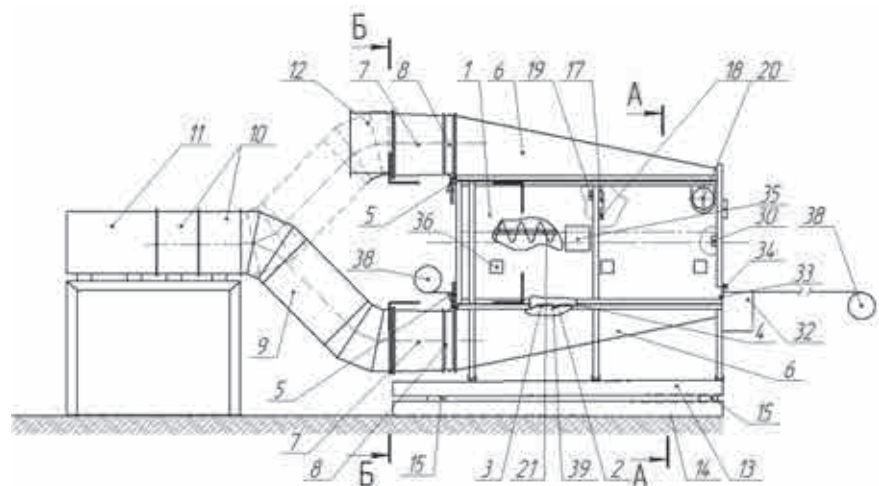


Сушка, универсальная сушилка, сушка продукции растениеводства, энергосберегающая сушка, энергосбережение, технология производства сухого травяного корма

Drying, universal drier, drying of plant growing products, energy-saving drier, energy-saving, technology of dry grass feed production

Резкое снижение себестоимости сушки и повышение качества высушенного материала может быть достигнуто значительным увеличением использования сушильного оборудования. Разработанная нами универсальная энергосберегающая сушилка рассчитана на круглогодочную эксплуатацию. Её используют для производства сухого травяного корма с 20 мая по 10 сентября, а с 11 сентября по 19 мая – для сушки различного сортимента пиломатериалов древесины. Примерно в течение 10 дней в сушилке удаляют влагу у семенного вороха кормовых культур. В случае неблагоприятных погодных условий сушилка успешно удаляет влагу у любой семенной массы, которая убрана и измельчена кормоуборочным комбайном. Аналогично удаляется влага у зернового вороха или у измельчённой хлебной массы любой зерновой культуры. Сушильную камеру можно применять и для сушки льновороха, льнотресты, льносоломы, а также урожая любой полевой культуры.

Новизна разработки подтверждена патентом на изобретение №2496069, патентообладателем которого является автор статьи [1]. Сушилка (рис. 1) состоит из сушильной камеры 1, топочного блока 11, поворотного патрубка 9, двух диффузоров 7, двух воздухоподводящих каналов 6, двух вытяжных вентиляторов 12, загрузочных шнеков 20 и 21, отгрузочного лотка 32, датчиков 17, 18, 19, 28, 30 системы автоматизированного контроля, адаптера, включающего поддон 37, рельсовый путь 40 и две электролебёдки 38.



a)

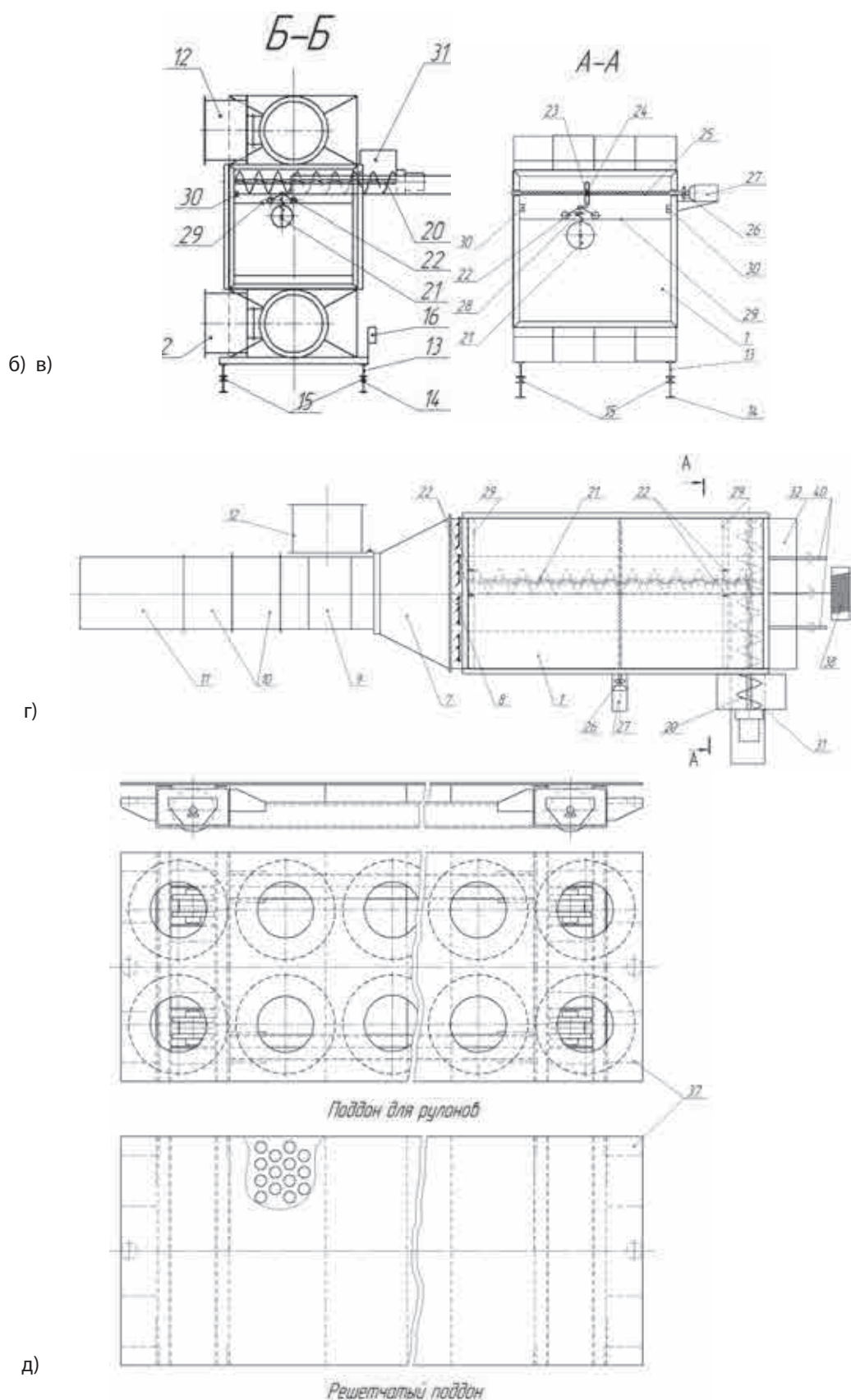


Рисунок 1 – Узлы сушильной камеры: а) общий вид сбоку; б) поперечный разрез по Б-Б; в) разрез по А-А – механизм перемещения тележечного конвейера; г) вид сверху; д) сменные поддоны, общий вид сбоку и сверху; 1 – камера; 2 – решетка воздухораспределительная; 3 – каретка; 4 – ползун; 5 – рычаг;

6 – канал воздухоподводящий; 7 – диффузор верхний и нижний; 8 – заслонка жалюзийная; 9 – патрубок поворотный; 10 – вентилятор осевой; 11 – блок топочный; 12 – вентиляторы вытяжные верхний и нижний; 13 – рама; 14 – подрамник; 15 – датчики сенсорные; 16 – система взвешивания автоматизированная; 17 – датчик электронный относительной влажности; 18 – датчик электронный температуры; 19 – датчик электронный скорости движения; 20 – шнек поперечный; 21 – шнек продольный; 22 – конвейер тележечный; 23 – кулиса; 24 – гайка; 25 – винт; 26 – муфта; 27 – мотор-редуктор; 28 – датчик уровня; 29 – направляющая; 30 – выключатели конечные; 31 – лоток загрузочный; 32 – лоток отгрузочный; 33 – окно выгрузки; 34 – заслонка; 35 – окно смотровое; 36 – пробоотборник; 37 – поддон; 38 – электролебёдка; 39 – отверстия воздухораспределительных решеток 2; 40 – путь рельсовый.

Сушилка работает следующим образом. Перед сушилкой направляющие 29 закрепляют от воздухораспределительных решёток 2 на такой высоте, которая обеспечивает оптимальную толщину загружаемого материала суши. Верхний вытяжной вентилятор 12 соединяют с верхним диффузором 7, а поворотный патрубок 9 крепят к нижнему диффузору 7. Загруженный в лоток 31 ворох или измельчённый материал направляют в сушильную камеру 1 шнеками 20 и 21. В процессе загрузки при срабатывании датчика уровня 28 от контакта с влажным материалом у передней стенки камеры 1 управляемая муфта 26 включает в работу моторредуктор 27, который вращает винт 25, и гайка 24 в кулисе 23 переводит тележечный конвейер 22 и лоток загрузочный 31 на фиксированное расстояние в поперечном направлении камеры 1 для поэтапной загрузки с одинаковым по высоте слоем материала у всей площади камеры. По окончании загрузки конечные выключатели 30 отключают мотор-редуктор 27 и шнеки 20 и 21. Процесс заполнения сушильной камеры 1 материалом контролируют и визуально, через смотровые окна 35, которые смонтированы с обеих её сторон. Автоматизированную систему взвешивания 16 переводят с блокировки на автоматический режим. Согласно выбранному режиму устанавливают указанное в документации положение заслонок 8 и кареток 3, у которых ползуны 4 перемещают рычагами 5. Включают в работу вентиляторы 10 и 12, а затем топочный блок 11. Сушильный агент по патрубку 9 поступает в диффузор 7 и воздухоподводящий канал 6 через отверстия 39 воздухораспределительных решеток 2 в материал суши. Решетки 2 меняют направление движения сушильного агента с горизонтального на вертикальное, то есть на 90°. Клиновидная форма канала 6 обеспечивает равномерность распределения сушильного агента по длине камеры 1, так как скорость движения сушильного агента у всех отверстий 39 одинаковая. Равномерность распределения сушильного агента по площади и объёму сушильной камеры

регулируют включением или отключением одного из двух вентиляторов 10, изменением частоты вращения у второго вентилятора 10, заслонками 8, каретками 3 с рычагами 5 и толщиной слоя материала суши. Во время конвекции сушильный агент выполняет следующие функции:

- 1) нагревает материал;
- 2) перемещает влагу из внутренних слоёв материала к наружным;
- 3) испаряет влагу с поверхности материала суши;
- 4) удаляет влагу с превращением её в пар из сушильной камеры, участвуя в теплообмене.

Удаление влаги с поверхности материала, которая омывается сушильным агентом, происходит при любой её температуре в пределах от 0 до 100 °С, но с постоянным расходом теплоты – 2260 кДж/кг. Поэтому выгоднее сушить при невысоких значениях температуры, сокращая затраты на нагрев материала. При невысоких температурах сушильного агента значительно выше коэффициент теплопередачи K , который определяют по формуле:

$$K = \frac{q}{\Delta T};$$

где q – плотность потока энергии, Вт/м²; ΔT – температурный напор между средой сушильного агента и поверхностью материала, °С.

Перемещение влаги из внутренних слоёв материала, который является изотропной средой, определяет закон Фурье, согласно которому вектор плотности теплового потока пропорционален и противоположен по направлению градиенту температуры наружных и внутренних слоёв компонентов материала. Предлагаем за всё время суши перемещать влагу только в одном направлении – от внутренних слоёв к наружным естественным путём без энергозатрат. Для этого сушка должна быть трёхэтапной. На первом этапе материал постепенно прогревают пошаговым во времени наращиванием температуры сушильного агента от окружающей до выбранной для данного материала из диапазона от 30 до 60 °С.

Отработавший сушильный агент вытяжной вентилятор 12 направляет наружу. Непрерывный контроль и корректирование параметров сушильного и отработавшего агентов от датчиков 17, 18, 19 совместно с автоматизированной системой взвешивания 16 материала сушки позволяют компьютерной программе оптимизировать процесс сушки. Выбранную оптимальную температуру не меняют на протяжении всего второго этапа. В середине сушки, которую определяют по дисплею автоматизированной системы взвешивания 16, меняют направление движения сушильного агента на противоположное для получения одинаковой конечной влажности у материала сушки. Отключают вентиляторы 10, 12 и топочный блок 11. На шарнирах поворачивают в сторону верхний вытяжной вентилятор 12. Патрубок 9 присоединяют к верхнему диффузору 7, а к нижнему диффузору 7 поворачивают и крепят вытяжной вентилятор 12. Процесс сушки продолжают включением вентиляторов 10, 12 и топочного блока 11 при выбранной температуре сушильного агента второго этапа сушки. На третьем этапе сушки, который по времени равен первому, проводят пошаговое во времени уменьшение температуры сушильного агента до её значения у окружающей среды. Этот трёхэтапный способ сушки обеспечивает неменяющееся нужное направление движения влаги внутри каждого компонента материала, когда в нём градиент температуры близок к минимальному значению. А это резко сокращает затраты энергии на перемещение влаги по слоям каждого компонента материала к его поверхности и повышает показатели качества готовой продукции. Любой исходный материал сушат за одну загрузку без лишних перевалок и дорогостоящих промежуточных операций: охлаждения, отволаживания, кондиционирования, термовлагообработки.

Как только материал сушки достигает кондиционной влажности, которую определяют по дисплею автоматизированной системы взвешивания 16, от сенсорных датчиков 15, расположенных между рамой 13 и подрамником 14, топочный блок 11, вентиляторы 10 и 12 отключают. На шарнирах поворачивают в сторону нижний вытяжной вентилятор 12, поворотный патрубок 9 присоединяют к нижнему диффузору, а к верхнему диффузору поворачивают и крепят вытяжной вентилятор 12. Включают вентиляторы 10 и подают не нагретый окружающий воздух по каналу 6 в камеру 1. Этим воздухом, выходящим из воздухораспределительной решетки 2, осуществляют

дальнейшее охлаждение и выгрузку высушенного материала через открытое заслонкой 34 окно выгрузки 33, в отгрузочный лоток 32. В конце выгрузки заслонку 34 окна выгрузки 33 закрывают. Шнеки 20 и 21 формируют новый ровный заданный слой сырого материала в камере 1, а потом включают вентиляторы 10, 12 и топочный блок 11 для продолжения сушки вновь загруженного влажного материала.

Перед сушкой рулонов, тюков, мешков и пиломатериалов древесины (несыпучих материалов) необходимо провести переоборудование сушилки, которое заключается в следующем. В начале демонтируют поперечный шнек 20, а затем продольный 21 совместно с тележечным конвейером 22 и механизмом его перемещения 23, 24, 25, 26, 27. Перед сушильной камерой 1 на рельсовый путь 4 устанавливают на роликах поддон 37 для сушки рулонов, диаметр которых определяет ширина сушильной камеры 1. Загруженный насыпучим материалом поддон 37 через открытую дверь задвигают в сушильную камеру 1 с помощью электролебёдки 38. Герметичность соединения поддона 37 со стенками камеры 1 обеспечивают лабиринтные уплотнения. Сушку в рулонах проводят в принятом выше порядке. Поддон 37 с высушенным насыпучим материалом выдвигают из камеры 1 другой электролебёдкой 38.

Разработанная нами сушилка обеспечивает оптимизацию технологии изготовления сухих травяных кормов. Повышение эффективности сушки при производстве сухих травяных кормов невозможно без комплексного пересмотра всего технологического процесса. Первый шаг – предварительное подвяливание скошенной травы в поле в течение 3-4-х часов. За это время, по нашим данным, начальная влажность свежескошенной массы снизилась с 78-75% до 57-55% к окончанию подвяливания. Таким образом, за 3-4 часа исходная свежескошенная масса теряет в среднем до 66% влаги, которую нужно было бы удалить в сушилке. Подвяливание зеленой скошенной массы клевера с исходной влажностью от 78-75% до 57-55% позволило снизить затраты энергии на получение единицы искусственно высушенных травяных кормов в среднем на 59,41%, а время искусственной сушки – на 15,10% без потерь питательных веществ (табл. 1) [2]. Второй шаг – уменьшение длины измельчённых частиц материала с 35...25 до 5 мм. Эта операция, по данным наших исследований, позволяет снизить экспозицию сушки в 1,26...1,56 раза, а энергозатраты – в 1,31...1,55 раза [3].

Таблица 1 – Влияние исходного сырья на состав и питательность сухой измельченной массы клевера красного сорта «Конищенский» (в 1 кг абсолютно сухого вещества корма)

Вид исходного материала для искусственной сушки	Состав и питательность готовой продукции				
	сырой протеин, %	клетчатка, %	каротин, мг	обменная энергия, МДж	кормовые единицы
Зелёная масса	21,780	20,400	141,221	10,426	0,880
Подвяленная масса	19,710	18,390	204,920	10,980	0,973

Третий шаг – выбор оптимального температурного режима сушки. При увеличении температуры сушильного агента с 40 до 70 °С продолжительность сушки сокращается в 2,14...2,66 раза, но энергетические затраты на этот процесс увеличиваются в 1,31...1,55 раза.

Важно отметить, что отечественные литературные данные не учитывают влияние температуры отработавшего сушильного агента на кормовую ценность продукта. В. Мальтри указывает, что по мере увеличения температуры отработавшего сушильного агента с 80 до 180 °С, содержание переваримого протеина снижается со 100% до 48%, лизина – до 46%. При высоких температурах происходит химическая реакция между углеводами и протеинсодержащими соединениями. Эта реакция известна как реакция Майнарта. Протекание реакции, с одной стороны, обуславливает исчезновение этих соединений и приводит к

снижению в продуктах количества безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). С другой стороны, под действием этой реакции снижается как перевариваемость (БЭВ), так и содержание сырого протеина, что, в свою очередь, значительно ухудшает кормовую ценность высушенных продуктов. Уменьшение уровня лизина при сушке кормов можно также рассматривать как реакцию Майнарта [4].

По результатам аналитической работы и лабораторного исследования, нами определена оптимальная температура сушильного агента на получении сухого травяного корма (табл. 2), которая составила 50 °С.

Нами проведён сравнительный эксперимент по производству сухих зелёных кормов из измельчённой и измельчённой подвяленной массы на двух различных сушилках в сопоставимых условиях. Первой сушилкой взят серийный агре-

Таблица 2 – Влияние различного температурного режима на состав и питательность сухого измельчённого зелёного корма из клевера красного сорта «Конищенский» (в 1 кг абсолютно сухого вещества корма)

Температурный режим сушки, °С			Сырой протеин, %	Клетчатка, %	Каротин, мг	Обменная энергия, МДж	Кормовые единицы
сушильного агента на входе в камеру	отработанного сушильного агента	нагрева корма					
40	36,0	33,93	23,81	19,04	138,37	10,66	0,920
50	44,6	44,00	20,62	20,26	136,30	10,49	0,886
60	50,9	44,16	21,88	20,81	127,68	10,38	0,873
70	60,0	58,33	21,18	19,94	140,81	10,51	0,896
80	69,7	61,93	20,12	20,84	143,00	10,37	0,870
90	81,4	78,00	20,14	21,78	146,55	10,09	0,823
100	84,2	89,20	24,75	20,16	155,83	10,48	0,890

гат АВМ-1,5АГ, а второй сушилкой служила наша лабораторная установка. Результаты по готовой продукции на сравниваемых сушилках приведены в таблице 3.

Мягкие температурные режимы на новой универсальной энергосберегающей сушилке способствовали получению готовой продукции более высокого качества, так, например, в ней кормовых единиц, обменной энергии, каротина и

протеина больше, соответственно в 1,54, 1,24, 1,3 и 1,75 раза, а содержание клетчатки снизилось в 1,76 раза.

На рисунке 2 приведены существующие на сегодняшний день способы интенсификации сушки зелёных кормов.

Предложенная нами технология включает все прямые способы, косвенный способ, базирующийся на естественной подсушке в поле, и ком-

Таблица 3– Состав и питательность готовой продукции, полученной на разных сушилках (в 1 кг абсолютно сухого вещества корма)

Название сушилки	Сырой протеин, %	Клетчатка, %	Каротин, мг	Обменная энергия, МДж	Кормовые единицы
Лабораторная установка	20,00	17,30	192,40	10,94	0,970
АВМ – 1,5АГ	11,42	30,55	148,52	8,81	0,621



Рисунок 2 – Способы, интенсифицирующие процесс сушки

бинированный способ, который включает более мелкое измельчение сырья для сушки.

Дополнительно энергосберегающая сушка обеспечена тем, что оптимальное значение относительной влажности отработавшего сушильного

агента около 98% автоматически выдерживается. Для этого в процессе сушки автоматически корректируются скорость движения и температура сушильного агента. В середине процесса сушки, которую определяют по дисплею весоизмери-

тельного устройства, меняют направление движения сушильного агента на противоположное (сверху вниз). Заканчивают сушку охлаждением материала подачей только окружающего воздуха, который участвует и в выгрузке готовой продукции из сушильной камеры.

Вывод

Снижение себестоимости продукции и энергозатрат на процесс сушки до четырёх раз с повы-

шением её качества нами достигнуто круглогодичным использованием сушильного оборудования, внедрением новой технологии сушки и новой конструкции сушильной камеры.

Простота и надёжность нашей сушилки обеспечивают её безотказную работу в течение всего срока эксплуатации. Сведены до минимума затраты труда и средств на подготовку сушилки к очередному периоду работы.

Литература

1. Пат. 2496069 С2 Российская Федерация. Аэрожелоб для сушки продукции растениеводства и пиломатериалов древесины [Текст] / Дианов Л.В., Ключников А.С., Борисова М.Л.; заявитель и патентообладатель Ключников А.С. – №2012104091; заявл. 06.02.2012; опуб. 20.10.2013, Бюл. №29. – 8 с.
2. Дианов, Л.В. Энергосберегающая прогрессивная технология производства искусственно высушенных травяных кормов [Текст]: монография / Л.В. Дианов, М.М. Маслов. – Ярославль: ЯГСХА, 2007. – 142 с.
3. Ключников, А.С. Новая универсальная сушилка семенной массы [Текст] / А.С. Ключников // Ярославский агровестник. – 2016. – №10. – С. 31–34.
4. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.

References

1. Pat. 2496069 S2 Rossijskaja Federacija. Ajerozhjlob dlja sushki produkcii raste-nievodstva i pilomaterialov drevesiny [Tekst] / Dianov L.V., Kljuchnikov A.S., Borisova M.L.; zajavitel' i patentoobladatel' Kljuchnikov A.S. – № 2012104091; zajavl. 06.02.2012; opub. 20.10.2013, Bjul. № 29. – 8 s.
2. Dianov, L.V. Jenergosberegajushhaja progressivnaja tehnologija proizvodstva iskusstvenno vysushennyh travjanyh kormov [Tekst]: monografija / L.V. Dianov, M.M. Maslov. – Jaroslavl': JaGSHA, 2007. – 142 s.
3. Kljuchnikov, A.S. Novaja universal'naja sushilka semennoj massy [Tekst] / A.S. Kljuchnikov // Jaroslavskij agrovestnik. – 2016. – № 10. – S. 31–34.
4. Mal'tri, V. Sushil'nye ustanovki sel'skohozjajstvennogo naznachenija / V. Mal'tri, Je. Petke, B. Shnajder. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 525 s.

ОБЪЯВЛЕНИЕ

В издательстве ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА в 2016 г. вышла монография
**«ОРГАНИЗАЦИОННАЯ КУЛЬТУРА УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ
 И ЕЕ ФОРМИРОВАНИЕ» / М.А. Ковальчук**

Монография подготовлена для магистров очной и заочной формы обучения по направлению 38.04.01 «Экономика», для аспирантов очной и заочной формы обучения по направлению 38.06.01 «Экономика», а также для обеспечения педагогической практики вышеобозначенных магистров и аспирантов и является методическим материалом, который используется в ходе преподавания дисциплин «Педагогика высшей школы», «Публичная и научная речь». Материалы монографии также могут быть использованы в ходе преподавания дисциплины «Психология и педагогика» для бакалавров очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 36.04.02 «Зоотехния», 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза», 35.03.07 «Технология производства и переработки с/х продукции».

ISBN 978-5-98914-155-5; 94 стр.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
150042, Г. ЯРОСЛАВЛЬ, ТУТАЕВСКОЕ ШОССЕ, 58, ФГБОУ ВО ЯРОСЛАВСКАЯ ГСХА

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru