

Обоснование подбора оборудования системы активной вентиляции барабанной гелиосушилки

Ченин А.Н.

Аннотация. Произведен расчет конструктивных параметров и обоснован подбор оборудования системы активной вентиляции барабанной гелиосушилки зерна. Сделан вывод о том, что использование электронагревателя при длительных неблагоприятных погодных условиях нерационально из-за большого потребления электроэнергии, поэтому для сушки зерна в таких условиях рекомендуется использовать только систему активного вентилирования. Систему электроподогрева рекомендуется использовать при непродолжительных неблагоприятных погодных условиях, а также на первой стадии сушки при нормальных погодных для более быстрого разогрева зерна и интенсификации процесса сушки. Рекомендуемая скорость движения сушильного агента в сушильной камере составляет 1,5 м/с, что позволяет эффективно отводить избыточную влагу с верхних слоев высушиваемого материала, при этом, не охлаждая его. Опытным путем установлено, что необходимая скорость сушильного агента в вытяжной трубе равна 0,8 м/с. Обоснована мощность нагревательного элемента 7157 Вт для объема сушильного барабана 300 кг зерна.

Ключевые слова: барабанная гелиосушилка, сушка зерна, сушильный агент, активная вентиляция.

Для цитирования: Ченин А.Н. Обоснование подбора оборудования системы активной вентиляции барабанной гелиосушилки // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 1. С. 42–48.

Justification for the selection of equipment for the active ventilation system of a drum solar dryer

Chenin A.N.

Abstract. The design parameters are calculated and the selection of the equipment for the active ventilation system of the drum helium dryer of grain is justified. It is concluded that the use of an electric heater under long-term adverse weather conditions is irrational due to the high consumption of electricity, therefore, it is recommended to use only an active ventilation system to dry grain under such conditions. It is recommended to use the electric heating system in case of short unfavorable weather conditions, as well as at the first stage of drying in normal weather conditions for faster heating of the grain and intensification of the drying process. The recommended speed of movement of the drying agent in the drying chamber is 1.5 m / s, which makes it possible to effectively remove excess moisture from the upper layers of the dried material, while not cooling it. It has been experimentally established that the required speed of the drying agent in the chimney is 0.8 m / s. The power of the heating element is 7157 W for the volume of the drying drum of 300 kg of grain.

Keywords: drum solar dryer, grain drying, drying agent, active ventilation.

For citation: Chenin A.N. Justification for the selection of equipment for the active ventilation system of a drum solar dryer. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2021. Vol. 8. No. 1. pp. 42–48. (In Russ.).

Введение

Для снижения энергозатрат при сушке зерна и семян сельскохозяйственных культур предложена барабанная гелиосушилка (рис. 1), которая хорошо

себя зарекомендовала при работе в благоприятных погодных условиях [1, 3].

В условиях ночного времени, переменной облачности, пасмурной погоды, при разряженном аккумуляторе теплоты сушильный агент (атмос-



Рис. 1. Опытный образец барабанной гелиосушилки

ферный воздух) недостаточно подогревается в горизонтальном воздушном солнечном коллекторе. При этом тяга в вытяжной трубе (в виде вертикального солнечного коллектора) снижается, соответственно уменьшается скорость движения сушильного агента в сушильной камере, что не обеспечивает требуемого отвода влаги от высушиваемого материала.

Для обеспечения работы гелиосушилки в таких условиях она дооборудуется резервными системами подогрева сушильного агента в виде ТЭНа под сушильным барабаном и активной вентиляции в виде вентилятора в вытяжной трубе. Однако точные характеристики этих систем не определены.

Цель исследования. Обоснование параметров оборудования резервных систем подогрева и активной вентиляции сушильного агента.

Объекты и методы исследований

Для расчета и подбора оборудования резервных систем необходимо задаться начальными данными. Расчет будем производить для образца

сушилки с сушильным барабаном вместимостью 300 кг зерна. Для выбора вентилятора принимаем скорость сушильного агента, равную скорости в солнечный день при использовании лишь солнечных коллекторов и аккумулятора теплоты. Как показывают исследования (рис. 2), средняя скорость движения сушильного агента при таких условиях и днем, и ночью находится в пределах от 0,7 до 0,8 м/с.

Исходными данными для расчета мощности нагревательного элемента являются температуры сушильного агента на входе в сушилку и в сушильной камере. Как показывают экспериментальные исследования (рис. 3), горизонтальный коллектор с аккумулятором теплоты повышает температуру сушильного агента в среднем на 15°C, что необходимо обеспечить и при работе резервной системы подогрева сушильного агента при неблагоприятных условиях.

Подбор вентилятора системы активного вентилирования необходимо выполнить на основе аэродинамического расчета воздуховода, которым в данном случае будет являться вертикальный солнечный коллектор прямоугольного сечения в виде вытяжной трубы.

Аэродинамический расчет нашего воздуховода будет сводиться к определению размеров его поперечного сечения, а также потерь давления при прохождении всех участков. Исходными данными для расчета являются необходимый расход сушильного агента в канале (или скорость его движения) и температура сушильного агента.

При движении сушильного агента по воздуховоду будем рассматривать три вида давления: статическое, динамическое и полное.

Полное давление $P_{\text{п}}$ равно сумме статического $P_{\text{ст}}$ и динамического $P_{\text{д}}$ давлений:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{д}}, \text{Па} \quad (1)$$

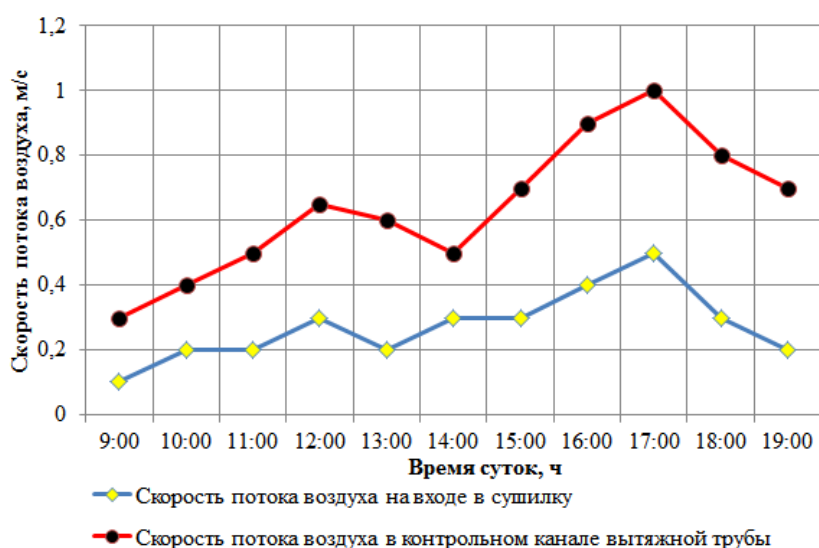


Рис. 2. Экспериментальные значения скорости движения сушильного агента

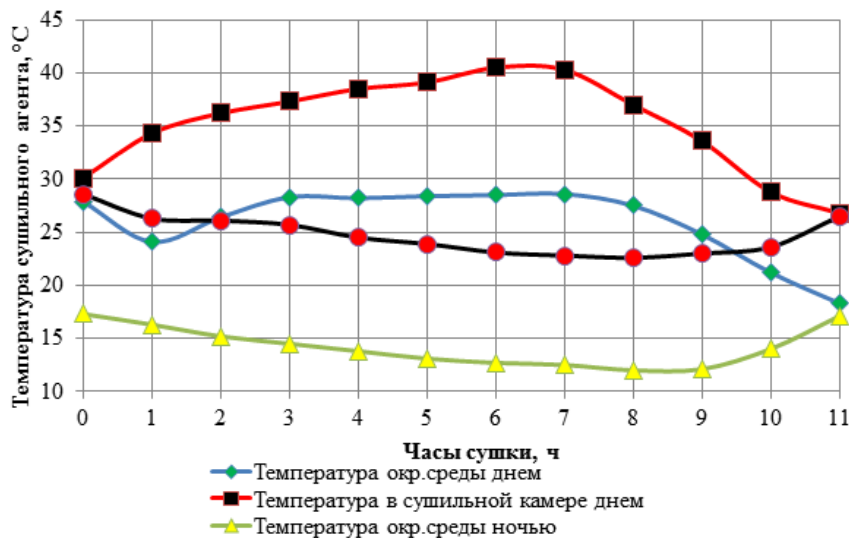


Рис. 3. Экспериментальные значения температуры сушильного агента

При скорости движения сушильного агента в сечении v , м/с, динамическое давление P_d , Па, равно:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность сушильного агента в воздуховоде, кг/м³.

Плотность сушильного агента зависит от его температуры и запыленности. Среднюю температуру сушильного агента принимаем равной 30°C. Высушиваемый материал перед сушкой проходит первичную обработку, а это значит, что запыленностью сушильного агента можно пренебречь. Исходя из этих данных принимаем плотность сушильного агента равную 1,121 кг/м³. Опытным путем установлено, что необходимая скорость в вытяжной трубе равна 0,8 м/с. Исходя из принятых параметров, динамическое давление P_d составит 0,36 Па.

Статическое давление $P_{ст}$, Па, равно давлению на стенки воздуховода или же сумме потерь давления на трения при движении воздуха по воздуховоду $P_{тр}$ и потерь на местное сопротивление $Z_{пот}$.

Для нахождения статического давления, создаваемого в воздуховоде системы активной вентиляции, необходимо рассмотреть движение сушильного агента в сечении вытяжной трубы и диффузора вытяжного вентилятора (рис. 4). Заданы длина отрезка ($l = 2,1$ м), ширина вытяжной трубы ($b = 1,84$ м), толщина вытяжной трубы ($c = 0,25$ м), периметр сечения ($\Pi = 4,18$ м) и скорость сушильного агента ($v = 0,8$ м/с) проходящего по воздуховоду. Статическое давление в сечении 1-1 равно P_1 , в сечении 2-2 – P_2 .

Площадь прямоугольного поперечного сечения вытяжной трубы находим по формуле:

$$f = b \cdot c, \text{ м}^2 \quad (3)$$

Расход сушильного агента через вытяжную трубу определяем по формуле:

$$L = f \cdot v, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4)$$

На объем сушильного агента, проходящего в вытяжной трубе между рассматриваемыми сечениями, действует сила $(P_1 - P_2) \cdot f$, уравновешиваемая силой сопротивления трения сушильного агента о стенки воздуховода.

Если обозначить касательное напряжение у поверхности стенки, возникающее при движении воздуха, τ_0 , то силу сопротивления можно определить так: $\tau_0 \cdot l \cdot \Pi$. Следовательно, для установившегося движения

$$(P_1 - P_2) \cdot f = \tau_0 \cdot l \cdot \Pi, \quad (5)$$

откуда

$$\tau_0 = \frac{(P_1 - P_2) \cdot f}{l \cdot \Pi}. \quad (6)$$

Известно, что касательное напряжение пропорционально динамическому давлению перемещающейся среды

$$\tau_0 = \psi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (7)$$

где ψ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения к формуле Вейсбаха.

Сопоставляя выражения (4) и (5) и, исходя из того, что $\lambda_{тр} = 4 \cdot \psi$, получим формулу Вейсбаха-Дарси для воздухопроводов с сечением прямоугольной формы:

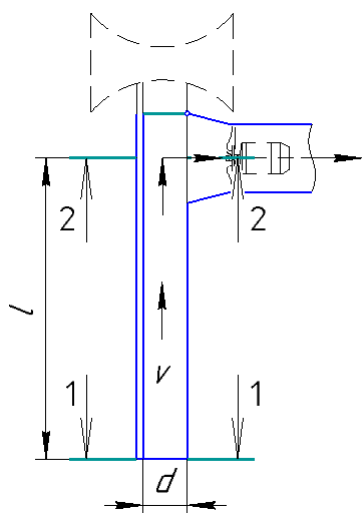


Рис.4. Участок воздуховода 1-1 – 2-2

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{1 \cdot \Pi}{4f} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (8)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трения.

Коэффициент сопротивления трения в общем случае является сложной величиной, зависящей от режима движения воздуха в воздуховоде и шероховатости стенок воздуховода, формула для нахождения которого равна:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{D_{\text{г}}} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (9)$$

где $\Delta_{\text{э}}$ - абсолютная эквивалентная шероховатость материала, из которого изготовлена вытяжная труба (асбестоцементные листы;

$D_{\text{г}}$ - гидравлический диаметр воздуховода прямоугольного сечения, м;

Re - число Рейнольдса.

Гидравлический диаметр воздуховода прямоугольного сечения находится по формуле:

$$D_{\text{г}} = \frac{4f}{\Pi}. \quad (10)$$

Число Рейнольдса для воздуховода прямоугольного сечения находим по формуле:

$$\text{Re} = \frac{LD_{\text{г}}}{\nu f}, \quad (11)$$

где ν - кинематическая вязкость воздуха ($1,78 \cdot 10^{-5}$ Па·с).

Зная значения вышеописанных параметров, находим потери давления на трение при движении воздуха по воздуховоду: $P_{\text{тр}} = 0,22$ Па.

Потери давления в местных сопротивлениях участка, обозначаемые $Z_{\text{пот}}$, Па, равны

$$Z_{\text{пот}} = \sum \xi \cdot P_{\text{д}} \quad (12)$$

где $\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

Сушильный агент по пути своего следования по вытяжной трубе к вытяжному вентилятору встретит следующие местные сопротивления: поворот потока сушильного агента под 90° , сужение потока в боковое отверстие, сужение в диффузоре. Найдя значения данных коэффициентов по справочной таблице, получаем $Z_{\text{пот}} = 7,94$ Па.

Зная все значения давлений и сопротивлений, находим $P_{\text{п}} = 8,52$ Па.

Используя каталог осевых вентиляторов и зная расход сушильного агента (производительность) и полное давление, выбираем осевой вентилятор общетехнического назначения ВО-4 (рис.5) со следующими характеристиками: частота вращения 1000 мин/мин⁻¹, установленная мощность $0,18$ кВт,

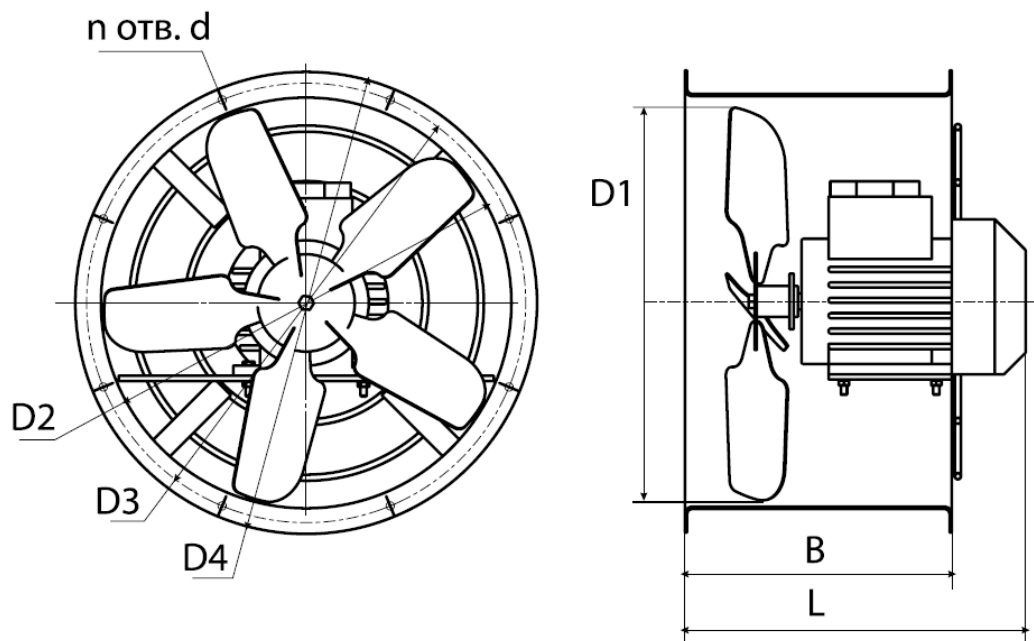


Рис. 5. Вид осевого вентилятора общетехнического назначения

Таблица 1 - Габаритно-присоединительные размеры выбранного вентилятора

Модель вентилятора	Размеры, мм								Количество лопаток
	D1	D2	D3	D4	L	B	d	n	
ВО-4	396	400	428	450	350	270	8	8	5

потребляемая мощность 0,32 кВт, полное давление 10-40 Па, производительность 1200-2200 м³/час.

Режим работы вентилятора можно регулировать с помощью линейного автотрансформатора.

Габаритные размеры выбранного вентиляторы внесены в табл.1.

Подбор мощности нагревательного элемента проводят по следующей формуле:

$$P = k \cdot \left(\frac{Q_{\text{нагр}}}{t} + Q_{\text{пот}} \right), \text{Вт} \quad (13)$$

где k – коэффициент, учитывающий запас мощности (принимается 1,2...1,3);

$Q_{\text{нагр}}$ – необходимое количество теплоты для дополнительного подогрева сушильного агента, Дж;

t – время работы нагревателя, с;

$Q_{\text{пот}}$ – потери теплоты через ограждения, Вт.

Необходимое количество теплоты для дополнительного нагрева $Q_{\text{нагр}}$ определим из следующих соображений.

Поступающий из горизонтального гелиоколлектора сушильный агент заполняет объем сушильной камеры, подогревается, проходит через сушильный барабан с пересыпающим слоем зерна и удаляется в вытяжную трубу. Таким образом, принимаем время дополнительного подогрева сушильного агента равным времени его прохода через вытяжную трубу в объеме, равном объему сушильной камеры.

Объем сушильной камеры (рис.6) находим по формуле:

$$V_k = abh - \pi d^2 b, \text{ м}^3 \quad (14)$$

где a – длина сушильной камеры, м;

b – ширина сушильной камеры, м;

h – высота сушильной камеры, м;

d – диаметр сушильного барабана, м.

Задаемся конструктивными параметрами сушильной камеры: $a=1,5\text{м}$, $b=1,84\text{м}$, $c=0,25\text{м}$, $d=0,7\text{м}$, $h=3,3\text{м}$.

Время прохождения данного объема сушильного агента через вытяжную трубу

$$t = \frac{V_k}{L}, \text{с} \quad (15)$$

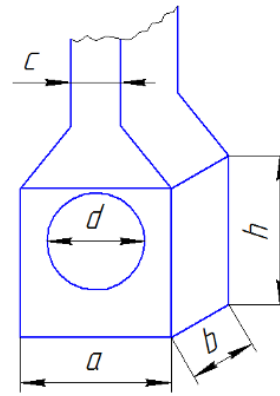


Рис. 6. Схема к определению объема сушильной камеры

За время t сушильный агент получит дополнительное количество теплоты

$$Q_{\text{нагр}} = V_k c_{c.a} (T_2 - T_1), \quad (16)$$

где $c_{c.a}$ – объемная теплоемкость сушильного агента, Дж/(м³·°С);

T_2 – конечная температура нагрева, °С;

T_1 – температура сушильного агента на входе в сушильную камеру, °С.

Общее количество потерь теплоты от ограждающих конструкций сушильной камеры находим по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = S \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{R_{\text{общ}}}, \text{Вт} \quad (17)$$

где S – площадь ограждающих консуий сушильной камеры, м (23,58 м²);

$R_{\text{общ}}$ – общие потери в окружающую среду ограждающих конструкций сушильной камеры, (м²·°С) / Вт .

Общие потери в окружающую среду ограждающими конструкциями находим по формуле:

$$R_{\text{общ}} = R_M + R_B + R_H, \quad (18)$$

где R_M - термическое сопротивление материала, (м²·°С) / Вт

R_B - термическое сопротивление внутренней поверхности стены, (м²·°С) / Вт

R_H - термическое сопротивление наружной поверхности стены, (м²·°С) / Вт .

Термическое сопротивление материала находим по формуле:

$$R_M = \frac{c_M}{\lambda}, \quad (19)$$

где c_m - толщина материала конструкции (асбестоцементные листы 8 мм), м;

λ - теплопроводность материала, Вт / (м² · °С)

(0,4 Вт / (м² · °С)).

Термическое сопротивление внутренней поверхности стены:

$$R_B = 1/a_B, \quad (20)$$

где a_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (принимается по табл. 4 СП 50.13330.2012, равняется 8,7 Вт / (м² · °С)).

Термическое сопротивление наружной поверхности стены:

$$R_H = 1/a_H, \quad (21)$$

где a_H - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции (принимается по табл. 6 СП 50.13330.2012, равняется 23 Вт / (м² · °С)).

Зная коэффициент, учитывающий запас мощности k , количество теплоты для дополнительного подогрева сушильного агента $Q_{нагр}$, количество теплоты, теряющееся через ограждающие конструкции сушильной камеры $Q_{пот}$ и время, затрачиваемое на подогрев

сушильного агента t , находим мощность нагревательного элемента $P = 7157$ Вт.

Результаты и их обсуждение

Исходя из расчетов вытяжного вентилятора и электронагревателя, можно сделать вывод, что использование электронагревателя при длительных неблагоприятных погодных условиях нерационально, так как будет потребляться большое количество электроэнергии, поэтому для сушки зерна в таких условиях рекомендуется использовать только систему активного вентилирования, чтобы избежать самосогревания зерна и увеличить отъем влаги из зерновой массы. Систему электроподогрева рекомендуется использовать при непродолжительных неблагоприятных погодных условиях, а также на первой стадии сушки при нормальных погодных для более быстрого разогрева зерна и интенсификации процесса сушки. Кроме того, как показали опыты, процесс сушки лучше проходит при скорости движения сушильного агента, равной 1,5 м/с, что позволяет эффективно отводить избыточную влагу с верхних слоев высушиваемого материала, при этом, не охлаждая его. Выбранный нами вентилятор позволяет поддержать данный режим.

Выводы

Таким образом, предлагаемая методика позволяет произвести подбор оборудования для резервных систем и оптимизировать режимы их работы.

Литература

- [1] Байдаков Е.М., Купреенко А.И., Исаев Х.М.О., Ченин А.Н. Разработка барабанной гелиосушилки зерна и обоснование ее конструктивно-технологических параметров / Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 6. С. 10-16.
- [2] Купреенко, А.И. К определению продолжительности процесса сушки зерна в гелиосушилке / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, Е.М. Байдаков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения.- Сб. науч. работ. - Брянск: Изд. Брянская ГСХА, 2012. - С. 59-63.
- [3] Купреенко, А.И. К обоснованию площади коллекторов гелиосушилки / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, Е.М. Байдаков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - Сб. науч. работ. - Брянск: Изд. Брянская ГСХА, 2012. - С. 63-68.
- [4] Купреенко, А.И. Возобновляемые источники энергии как основа энергосберегающих технологий

References

- [1] Baydakov E.M., Kupreenko A.I., Isaev Kh.M.O., Chenin A.N. Development of a drum solar dryer for grain and substantiation of its design and technological parameters / Technology of wheeled and tracked vehicles. 2014. No. 6. S. 10-16.
- [2] Kupreenko, A.I. To the determination of the duration of the grain drying process in the heliodushilke / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, E.M. Baydakov // Design, use and reliability of agricultural machines. Coll. scientific works. - Bryansk: Ed. Bryansk State Agricultural Academy, 2012. - S. 59-63.
- [3] Kupreenko, A.I. To the substantiation of the area of the heliodryers Kupreeenko, H.M. Isaev, E.M. Baydakov // Design, use and reliability of agricultural machines. Coll. scientific works. - Bryansk: Ed. Bryansk State Agricultural Academy, 2012. - S. 63-68.
- [4] Kupreenko, A.I. Renewable energy sources as the basis for energy-saving technologies / A.I. Kupreenko, V.I. Chashchinov E.M., Baydakov / Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex: Materials of the interregional scientific-

- / А.И. Купреенко, В.И. Чащинов Е.М., Байдаков / Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых. – Ч. II. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009. – С. 181-186.
- [5] Купреенко А.И. Экономическая эффективность барабанной гелиосушки зерна / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, Е.М. Байдаков/ Научный журнал «Вестник Брянской ГСХА», № 5, 2012. – с. 41-44.
- [6] Пат. на полезную модель 159524 РФ, МКИЗ F26B 9/06, F26B 3/28. Гелиосушка / В.И. Чащинов, А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, Е.М. Байдаков, А.Н. Ченин. - № 2015132774/06; заявлено 05.08.15; опубл. 10.02.16, Бюл. № 4.
- [7] Уравнение теплового баланса воздушного гелиоколлектора с аккумулятором теплоты. / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, Х.М. Исаев, А.Н. Ченин, Г.В. Шкуратов. // Тракторы и сельхозмашины, № 4, 2016. – С. 33-36.
- practical conference of young scientists. - Part II. - Voronezh: FGOU VPO VGAU, 2009. - S. 181-186.
- [5] A. I. Kupreenko Economic efficiency of a drum grain dryer / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, E.M. Baydakov / Scientific journal «Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy», No. 5, 2012. - p. 41-44.
- [6] Pat. for utility model 159524 RF, MKI3 F26B 9/06, F26B 3/28. Heli dryer / V.I. Chashchinov, A.I. Kupreeenko, H.M. Isaev, E.M. Baydakov, A.N. Chenin. - No. 2015132774/06; declared 08/05/15; publ. 02/10/16, Bul. No. 4.
- [7] Heat balance equation for an air solar collector with a heat accumulator. / A.I. Kupreeenko, V.F. Komogortsev, H.M. Isaev, A.N. Chenin, G.V. Shkuratov. // Tractors and agricultural machines, No. 4, 2016. - P. 33-36.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Ченин Алексей Николаевич кандидат технических наук доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: +7(483) 412-47-59 E-mail: aleksej.chenin@mail.ru</p>	<p>Chenin Alexey Nikolaevich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Life Safety and Engineering Ecology» Bryansk State Agrarian University Phone: +7(483) 412-47-59 E-mail: aleksej.chenin@mail.ru</p>
---	--