

УДК: 645:83.64

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЫШКИ СМЕСИТЕЛЯ НА ОСЕВУЮ СКОРОСТЬ КОРМОВОЙ МАССЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Эшдавлатов Эшпулат Узокович - доктор технических наук (DSc) профессор,
ORCID: 0000-0003-4676-4199, E-mail: eeshpulat@umail.uz

Суюнов Алишер Абдигопорович - доктор философии по техническим наукам (PhD),
ORCID: 0009-0004-5803-9597, E-mail: asuyunov@mail.ru

Шодиев Шахриёр Номоз угли - докторант (PhD),
ORCID: 0009-0004-9640-7944, E-mail: shahriyor.shodiyev@mail.ru

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматривается актуальность приготовления кормовой смеси на уровне зоотехнического спроса из комбикорма с грубыми и сочными кормами и отходами кормопроизводства, имеющая важное значение для повышения продуктивности скота на сегодняшний день, подготовка ее поточным способом и использование в ней энергоэффективного и ресурсосберегающего непрерывно работающего смесителя. Обоснована необходимость разработки крышки, определяющей форму камеры смесителя, теоретически и практически определены параметры крышки, по результатам исследования теоретически обосновано, что время нахождения кормовой смеси в смесительной камере составляет 2,47 с, осевая скорость 0,81 м/с, а производительность работы смесителя-15,5 т/ч.

Ключевые слова: корм, смесь, смеситель, камера смешивания, непрерывность, крышка, шнек, производительность.

UO'K: 645:83.64

ARALASHTIRGICH QOPQOG'I PARAMETRLARINING OZUQA MASSASINIG O'Q BO'YICHA TEZLIGIGA VA ISH UNUMIGA TASIRI

Eshdavlatov Eshpo'lat Uzoqovich - texnika fanlari doktori (DSc) professor

Suyunov Alisher Abdig'opporovich - texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Shodiyev Shahriyor Nomoz o'g'li - doktorant (PhD)

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada bugungi kunda chorva mollari mahsuldorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega bo'lgan dag'al va shirali ozuqalar hamda ozuqabop sanoat chiqindilari bilan kombikormadan zootexnik talab darajasida ozuqa aralashmasi tayyorlashning dolzarbligi, uni oqimli usulda tayyorlash va unda energiya va resurstejamkor uzluksiz ishlovchi aralashtirgichdan foydalanish asoslangan, aralashtirgich kamerasi shaklini belgilovchi qopqoqni ishlab chiqishning zarurati, qopqoqning parametrlari nazariy va amaliy jihatdan aniqlangan, tadqiqot natijalariga ko'ra aralashtirish kamerasida ozuqa aralashmasining bo'lish vaqti 2,47 s, o'qiy tezligi 0,81 m/s va aralashtirgich ish unumi 15,5 t/h ni bo'lishi nazariy jihatdan asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: ozuqa, aralashma, aralashtirgich, aralashtirish kamerasi, uzluksiz, qopqoq, shnek, ish unumi.

UDC: 645:83.64

INFLUENCE OF MIXER HOUSING PARAMETERS ON THE AXIAL SPEED OF THE FEED MASS AND WORK PRODUCTIVITY

Eshdavlatov, Eshpulat Uzokovich - Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor

Suyunov, Alisher Abdigopporovich - Doctor of Philosophy in Technical Sciences

Shodiev, Shahriyor Nomoz ugli – Doctoral student (PhD)

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *The article substantiates the relevance of preparing a feed mixture at the level of zootechnical demand from mixed feed with coarse and juicy feeds and feed production waste, which is important for increasing livestock productivity today, preparing it in a flow-through manner and using an energy-efficient and resource-saving continuously operating mixer, justifies the need to develop a lid that determines the shape of the mixer chamber, the lid parameters theoretically and practically determined, according to the results of the study theoretically justified, that the residence time of the nutrient mixture in the mixing chamber is 2.47 s, the travel speed is 0.81 m/s, and the mixer's operating capacity is 15.5 t/h.*

Keywords: *feed, mixture, mixer, mixing chamber, continuity, cover, auger, productivity, power.*

Введение

В новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи, в том числе “увеличение доходов крестьян и фермеров не менее чем в 2 раза за счет интенсивного развития сельского хозяйства на научной основе, доведение годового прироста сельского хозяйства не менее чем до 5%” [1]. При реализации этих задач важной является разработка технических средств, обеспечивающих качественное перемешивание кормов поточным способом в кормозаготовительных цехах животноводческих ферм, комплексов, кластеров и самостоятельных предприятий по производству кормосмесей. В частности, особое внимание уделяется созданию энергоэффективных и ресурсосберегающих устройств, позволяющих смешивать комбикорм с грубыми и сочными кормами, отходами кормопроизводства на уровне зоотехнического спроса.

Однако в данных исследованиях недостаточно изучены вопросы разработки и научно-технологического обоснования непрерывно действующих смесительных технических средств, обеспечивающих непрерывность технологического процесса, энергоэффективность и ресурсосбережение, высокую производительность и качество кормосмеси в кормовых цехах животноводческих ферм с вводом тепла и жидкости в процессе смешивания.

Материал и методы

Как известно, одним из основных факторов, влияющих на процесс смешивания, является форма камеры смешивания. Особенно это характерно для блендеров, имеющих рабочий орган с дроссельной заслонкой.

Смесители, имеющие рабочий орган с зазором, можно разделить на две группы: медленно движущиеся смесители, у которых нет зазора в верхней части рабочего органа, и быстро движущиеся смесители, у которых есть зазор в верхней части рабочего органа.

В мешалках первой группы процесс перемешивания осуществляется в основном за счет воздействия рабочего органа на частицы компонентов корма и введения их друг в друга.

Некоторыми исследователями [2, 3] было высказано предположение, что в смесителях второй группы процесс перемешивания происходит в основном за счет хаотического движения подающей массы, отбрасываемой вверх, многократно ударяющейся о крышку и возвращающейся из нее, а также направления рабочего органа к выпускному отверстию, поскольку в крышке есть зазор над рабочим органом и поверхности возврата.

По результатам теоретического исследования смесителя непрерывного действия требуется уточнение формул производительности труда и энергопотребления, при которых обеспечивается непрерывность выполняемого в нем технологического процесса, качество смеси и ресурсосбережение.

Целью исследовательской работы является научное обоснование параметров и режимов работы технических средств, обеспечивающих непрерывность, энергоэффективность и ресурсосбережение, высокую производительность и качество технологического процесса приготовления кормовой смеси поточным способом в цехах животноводческих ферм и комплексов, кластеров и самостоятельных предприятий-производителей кормовых смесей.

Результаты исследования

Производительность работы смесителя непрерывного действия со шнековым рабочим органом в общем случае можно определить по следующему выражению [2, 3, 15, 19].

$$Q = 3,6 A \gamma \varphi_H V_n, \quad (1)$$

где A – поверхность кундалангового сечения смесительной камеры, м^2 ; γ – объемная плотность питательной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; φ_H – коэффициент заполнения; V_n – осевая скорость массы, $\text{м}/\text{с}$.

Эта формула может быть правильной только в том случае, если смесь движется вперед, как гайка, в результате вращательного движения шнека в направляющей, образующей оболочку шнека. В предложенном нами варианте конструктивные особенности мешалки требуют внесения ряда изменений в определение скорости считывания массы и производительности работы. В предлагаемом смесителе шнек с двумя входами является основным рабочим органом. За каждым его шагом следует разрыв шириной в один шаг и разрыв в верхней части. Траектория движения, образуемая при подбрасывании подающей массы вверх вместе с ее поступательным и вращательным движением в шнеке, поглощает путь, по которому она движется, и осевая скорость V_n может быть определена как [15, 16, 17, 18].

$$V_n = \frac{S}{T}, \quad (2)$$

при этом T – общее время, необходимое для прохождения шнеком одного шага питательной массы, с.

Мы можем поместить значение (2) в выражение (1) по выражению

$$Q = 3,6 A \gamma \varphi_H \frac{S}{T}, \quad (3)$$

Для определения времени t рассмотрим траекторию частиц корма внутри смесительной камеры (рис.1).

Движение частиц можно рассматривать как состоящее из двух частей: оно происходит в нижней и полый частях оболочки мешалки над шнеком. Мы рассматриваем движение частиц в этих частях по отдельности и определяем время, необходимое для их движения.

Общее время, необходимое для прохождения шнеком одной ступени питательной массы, можно определить следующим образом (Рис.1)

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (4)$$

где T_1 – время, необходимое частицам питания, чтобы пройти путь к движению вместе с оберткой шнека, с; T_2 – время, необходимое частицам питания, чтобы пройти путь (путь АС, СК и КМ) от точки выстрела вверх до обратного падения в шнек, с; T_3 – время, необходимое частицам питания для движения вместе с ним (путь МГ) после того, как они упадут обратно в шнек, с; T_4 – время, необходимое шнеку, чтобы дождаться следующего входа и соприкоснуться с частицами пищи, с.

Время затрачиваемое частицами корма на шнеке T_1 , изучается большинством исследователей [2, 3, 8, 9, 10, 11, 19, 20] и рекомендуется определить следующим образом

$$T_1 = \frac{S \sin(\alpha_v + \beta_o)}{\omega r \sin \alpha_v \sin \beta_o}. \quad (5)$$

При определении времени движения частиц корма в свободном пространстве над шнеком T_2 при движении частиц, выброшенных из точки а (рис.1) в пространстве смесительной камеры, учитываем, что по мере приближения частицы к точке а сила трения между обмоткой шнека исчезает, так же как и сила трения между частицей и внутренней поверхностью корпуса. В этот момент продольная скорость частицы V_{oc} также уменьшается, поэтому частица также отбрасывается вверх в положении, перпендикулярном радиусу шнека, что означает, что в этом движении частицы не имеют продольного смещения.

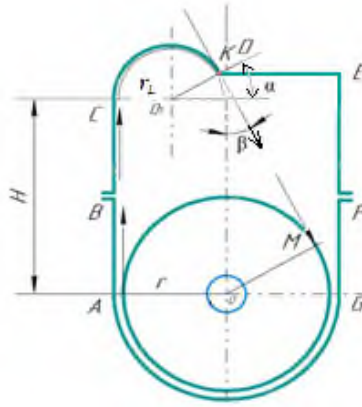


Рис. 1. Траектория движения частиц корма в блендере с крышкой полуцилиндрической части.

Без учета силы сопротивления воздуха время T_2 можно определить по траектории движения выброшенных частиц в пространстве смесительной камеры, как показано на рисунке 1.

$$T_2 = t_{21} + t_{22} + t_{23}, \quad (6)$$

где t_{21} -время движения выброшенной частицы корма к крышке, с; t_{22} -время перемещения выброшенной частицы корма по внутренней поверхности полукруглой части крышки, с; t_{23} -время движения частицы питания в пространственном пространстве от полуцилиндрической части крышки до шнека, с.

$$t_{21} = \frac{1}{g} (\omega r - \sqrt{\omega^2 r^2 - 2gH}). \quad (7)$$

Время перемещения частицы подачи, выброшенной из шнека, по внутренней поверхности цилиндрической части крышки определяет t_{22}

$$t_{22} = \frac{r_1(\pi - \alpha)}{\omega r}. \quad (8)$$

Определение времени перемещения частицы питания в пространственном пространстве от полуцилиндрической части крышки до шнека t_{23}

$$t_{23} = \frac{s}{\omega r}, \quad (9)$$

$$t_{23} = \frac{\sqrt{((r - r_1)(1 + \cos \alpha))^2 + (H + (r_1 - r) \sin \alpha)^2}}{\omega r}, \quad (10)$$

$$T_2 = \frac{1}{g} (\omega r - \sqrt{\omega^2 r^2 - 2gH}) + \frac{r_1(\pi - \alpha)}{\omega r} + \frac{\sqrt{((r - r_1)(1 + \cos \alpha))^2 + (H + (r_1 - r) \sin \alpha)^2}}{\omega r}. \quad (11)$$

Время, необходимое частице для перемещения из точки М в точку G, T_3 было определено исследователями [1, 6, 7, 12, 13, 14] и получили как,

$$T_3 = \frac{\rho}{\omega} = \frac{\pi - 2 \arctg H / r}{\omega}. \quad (12)$$

Когда истекает время нахождения частицы в первой обмотке шнека, частица выходит из-под действия первой обмотки, и определенный T_4 через некоторое время входит в область, на которую действует вторая обмотка. Потому что исследователи обнаружили, что вторая обмотка смещена на угол $\frac{2\pi}{Z}$ относительно первой обмотки [1, 2, 3] и мы получили следующее,

$$T_4 = \frac{2\pi}{Z \cdot \omega}, \quad (13)$$

где: Z – количество входов обмотки.

Подставляя в формулу (3) определенные значения T_1 , T_2 , T_3 и T_4 , определяем общее время.

Значение общего времени T , необходимого для того, чтобы масса корма прошла один шаг шнека, будет выглядеть следующим образом:

$$T = \frac{S \sin(\alpha_v + \beta_0)}{\omega r \sin \alpha_v \sin \beta_0} + \frac{1}{g} (\omega r - \sqrt{\omega^2 r^2 - 2gH}) + \frac{r_1(\pi - \alpha)}{\omega r} + \frac{\sqrt{((r - r_1)(1 + \cos \alpha))^2 + (H + (r_1 - r) \sin \alpha)^2}}{\omega r} + \frac{\pi - 2 \arctg \frac{H}{r}}{\omega} + \frac{2\pi}{Z\omega} \quad (14)$$

Определим осевую скорость подачи массы, подставив значение T в Формулу (1) в определенное общее время.

$$V_n = S / \left\{ \frac{S \sin(\alpha_v + \beta_0)}{\omega r \sin \alpha_v \sin \beta_0} + \frac{1}{g} (\omega r - \sqrt{\omega^2 r^2 - 2gH}) + \frac{r_1(\pi - \alpha)}{\omega r} + \frac{\sqrt{((r - r_1)(1 + \cos \alpha))^2 + (H + (r_1 - r) \sin \alpha)^2}}{\omega r} + \frac{\pi - 2 \arctg \frac{H}{r}}{\omega} + \frac{2\pi}{Z\omega} \right\} \quad (15)$$

Анализ результатов исследования

Суммарное время, необходимое для прохождения подающей массы через один шаг шнека T и осевую скорость подающей массы V , подставляют в формулу (1) значение, представляющее изменение траектории движения подающих частиц, когда верхняя сторона смесителя оборудована полуцилиндрической и горизонтальной секционной крышкой, и подставляют в уточненную формулу рабочего продукта Q , выражающую влияние параметров смесителя и режима работы рабочего органа, находим [7, 16, 23]

$$Q = 3,6A\gamma\varphi_H S / \left\{ \frac{S \sin(\alpha_v + \beta_0)}{\omega r \sin \alpha_v \sin \beta_0} + \frac{1}{g} (\omega r - \sqrt{\omega^2 r^2 - 2gH}) + \frac{r_1(\pi - \alpha)}{\omega r} + \frac{\sqrt{((r - r_1)(1 + \cos \alpha))^2 + (H + (r_1 - r) \sin \alpha)^2}}{\omega r} + \frac{\pi - 2 \arctg \frac{H}{r}}{\omega} + \frac{2\pi}{Z\omega} \right\} \quad (16)$$

где: A – поверхность поперечного сечения смесительной камеры, m^2 ;

γ – объемная плотность кормовой смеси, kg/m^3 ;

φ_H – коэффициент заполнения;

S – шаг шнековой обмотки, mm ;

ω – угловая скорость шнека, rad/c ;

r – радиус шнека, m ;

α_v – угол подъема винтовой линии шнека, $град$;

β_0 – угол между векторами скорости V_0 и $V_{пер}$, $град$;

H – высота отталкивающей рабочей поверхности от оси шнека, m ;

Z – шнек, количество входов;

r_1 – радиус образующего полуцилиндрическую часть крышки, m ;

φ – угол, образующий полуцилиндрическую дугу крышки, $град$;

α – угол между полуцилиндрической дугой крышки и горизонталью, $град$.

На основании литературных данных и проведенных нами исследований принятые как, $H = 0,35 m$, $\alpha_v = 19^\circ$, $\beta_0 = 51^\circ$, $r = 0,2 m$, $S = 0,4 m$, $Z = 2$, $r_1 = 0,1 m$, $\varphi = 153^\circ$, $\alpha = 27^\circ$, $\omega = 33,49 s^{-1}$, $\varphi_n = 0,15$, $A = 0,13 m^2$ и $L = 2 m$ расчеты по выражению (16) и построенный графический анализ показали, что при объемной массе кормов $\gamma = 120-600 kg/m^3$ теоретическая производительность смесителя находится в пределах $Q = 7-24 t/ч$.

На рис.2 приведен график зависимости времени нахождения кормовой смеси в смесительной камере, осевая скорость их и частота вращения шнека от производительности смесителя.

При изменении частоты вращения шнека с $n=200$ об/мин до $n=320$ об/мин соответственно увеличивались скорость поступательного движения кормовой массы в смесительной камере и производительность смесителя, при этом время нахождения кормовой смеси в смесительной камере соответственно уменьшалось. При дальнейшем увеличении частоты вращения шнека и доведении ее до $n=350-400$ об/мин можно видеть, что скорость поступательного движения кормовой массы в смесительной камере и производительность смесителя также уменьшаются, а время нахождения кормовой смеси в смесительной камере - среднее. Следовательно, мы принимаем $n=320$ об/мин как оптимальное значение частоты вращения шнека. При этом установлено, что время нахождения кормовой смеси в смесительной камере составляет $T_{\text{общ}}=2,47$ с, осевая скорость $v_{\text{ос}}=0,81$ м/с, а рабочая производительность смесителя $Q=15,5$ т/ч.

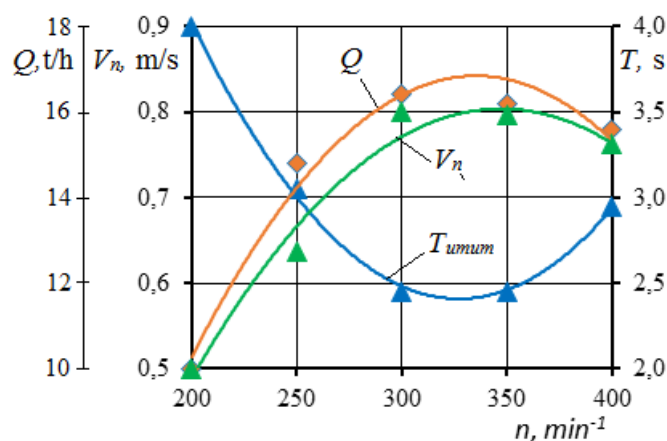


Рис. 4. Графики зависимости времени нахождения кормовой смеси в смесительной камере, осевая скорость и производительность смесителя от частоты вращения шнека

Заключение

Теоретически обосновано, что усовершенствованный кормосмеситель оснащен коробообразной крышкой, состоящей из полуцилиндрической и горизонтальной частью с верхней стороны, образующей свободное пространство над шнеком и позволяющей контролировать технологический процесс, обеспечивая получение качественной кормовой смеси на уровне зоотехнического требования, энерго- и ресурсосбережение, высокую производительность.

Установлено, что время нахождения кормовой смеси в смесительной камере составляет $T_{\text{общ}}=2,47$ с, осевая скорость $v_{\text{ос}}=0,81$ м/с, а рабочая производительность смесителя $Q=15,5$ т/ч.

На основании проведенных нами исследований были определены следующие параметры и режимы работы: $H = 0,35 \text{ m}$, $\alpha_v=19^\circ$, $\beta_0=51^\circ$, $r=0,2 \text{ m}$, $S=0,4 \text{ m}$, $Z=2$, $r_l=0,1 \text{ m}$, $\varphi=153^\circ$, $\alpha=27^\circ$, $\omega=33,49 \text{ s}^{-1}$, $\varphi_n=0,15$, $A=0,13 \text{ m}^2$ и $L=2 \text{ m}$. Результаты расчета показывают что при объемной массе кормовой смеси $\gamma=120-600 \text{ кг/м}^3$ теоретическая производительность смесителя составляет $Q=7-24$ т/ч, при этом требуемая мощность для выполнения технологического процесса $N_{\text{т.пр}}=0,45-1,52$ кВт. Качество полученной кормосмеси составило 93%.

Литература

- [1] Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 "О стратегии развития нового узбекистана на 2022-2026 годы".
- [2] Погосян Э.М. Исследование и обоснование основных параметров смесителя кормов непрерывного действия. – Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Ереван, 1980.16с.
- [3] Думикян Х.О. Разработка шнекового смесителя кормов непрерывного действия и уточнение его основных параметров применительно к увлажнению стебелчатых кормов

- целью их брикетирований. – Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Ереван, 1983.16с.
- [4] Севров К.П. Работа смесителей и методика расчета их основных параметров при перемешивании минеральных смесей с органическими вяжущими материалами.- Саратов, 1962. – 178 с.
- [5] Жевлаков П.К. Исследование процессов смешивания кормов. – Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Л., 1958.
- [6] Эшдавлатов Э.У., Хамроев О.Ж. Оптимальный угол наклона отражающей плоскости крышка смесителя. Журнал. Наука, техника и образование. Москва 2016. № 6 (24) 37-39
- [7] Эшдавлатов Э. У., Аликулов С. Р. Определение осевой скорости кормовой массы в смесителе непрерывного действия. Журнал. Наука, техника и образование. Москва 2016. № 7 (25) Стр.43-46
- [8] Эшдавлатов Е.У., Суюнов А.А., Юсупов А.Е., Джураев Б.Б. Water steam consumption and feeding selection device calculation into the mixing chamber. Published by Novateur Publication India's Journal NX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal ISSN: 2581-4230, Website: journalnx.com, 19th Aug. 2020
- [9] Маматов Ф.М., Эшдавлатов Е.У., Суюнов А.А. The Shape of the Mixing Chamber of the Continuous Mixer // Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, 07-Special Issue, 2020. DOI:
- [10] Маматов Ф.М., Эшдавлатов Е.У., Суюнов А.А. Continuous Feed Mixer Performance // [Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems \(JARDCS\)](#). – Volume-12, 07-Special Issue, 2020. DOI:10.5373/JARDCS/V12SP7/20202343. ISSN 1943-023X
- [11] Эшдавлатов Э.У., Суюнов А.А. Повышение интенсивности процесса непрерывного смешивания кормов. Универсум: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 4(85) <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11592>
- [12] Кукта Г.М. Технологические характеристики смесителей кормов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. № 7. С. 29-33.
- [13] Эшпулат Эшдавлатов, Алишер Суюнов и Ислон Чориев Intensity of the continuous feed mixing process in the mixer. E3S Web of Conferences 264, 04037 (2021) CONMECHYDRO – 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404037>
- [14] Эшдавлатов Э.У., Маматов Ф.М., Эшдавлатов А.А., Суюнов А.А., Юсупов Ф.Ф. Drum dispenser of feed additives // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1284(2023)01212 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1284/1/012012
- [15] Сыроватка В.И., Алябьев Е.В. Методика проведения испытаний машин для смешивания кормов. - М., ВИЭС1, 1970.- 123 с.
- [16] Корнеев Г.В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения. Теория и основы проектирования.-Киев.: Машгиз, 1961.-231 с.
- [17] Лучинский Н.Д. Механика как фундамент инженерных знаний. –М.: Колос, 1982.-232 с.
- [18] Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В двух томах. Под редакцией инж. А. В. Красниченко. том-2. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва. 1961. 862 с.
- [19] Григорев А.М. Винтовые конвейеры. -М.: Машиностроение, 1972.-184 с.
- [20] Анурев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 3. - 8-изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. - М: Машиностроение, 2001. - 864 с: ил.
- [21] Коновалов В. В. Снижение энергозатрат на смешивание концентрированных кормов разработкой и применением смесительного агрегата с комбинированными рабочими органами. Автореф. дисс. на соис.уч.ст. к.т.н. Пенза –2018. -16 с.
- [22] Хохлова Й. В. Исследование процессов смешивания сыпучих материалов в лопастных смесителях непрерывного действия. Автореф. Дисс. на соис. уч.ст. д.т.н. Иванова-2009.
- [23] <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/june-2013>
- [24] Сыроватка В.И. и др. Механизация приготовления кормов. – Справочник. - М.: Агроиздат, 1985. – 368 с.
- [25] Potato digger with latticed plowshares and oscillating rods Mamatov, F.M., Karimov, A.A. E3S Web of Conferences, 2023, 401, 04029