

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧЕСЫВАЮЩЕЙ ЖАТКИ
ДЛЯ УБОРКИ БЕЛОГО ЛЮПИНА**

Алдошин Н.В., РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

Мосяков М.А., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва;

Семичев С.В., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва

Основу кормовой базы для животноводческого и птицеводческого комплексов составляют зернобобовые культуры. Возделывание данного вида культур осложняется морфологическими особенностями строения растений. Общими для всех зернобобовых культур характерными особенностями являются: резко выраженная неравномерность созревания семян на каждом растении и по отдельным участкам поля, неравномерность огрубения стеблевой массы растений в период созревания, низкое расположение стручков над поверхностью почвы при небольшой высоте стеблестоя, легкая самоосыпаемость при перестое созревших растений и большая чувствительность семян к механическим повреждениям при обмолоте. Определяющим фактором успешной уборки зернобобовых культур является правильность выбора технологии и сроков её проведения. Традиционными технологиями уборки остаются прямое и раздельное комбайнирование. Применение индустриально-поточной технологии со способом очеса растений на корню не распространено на уборке зернобобовых культур. Представлена научно обоснованная конструктивная схема очесывающей жатки для уборки зернобобовых культур. Определены оптимальные конструктивно-технологические и режимные параметры функционирования очесывающей жатки на уборке белого люпина, позволяющие снизить потери и повреждения семян при уборке способом очёса растений на корню. Получены зависимости угла наклона стебля θ от относительного расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H и от относительного наклона стебля C . Приводятся результаты параметрического представления углов наклона стеблей θ , зависимости направления полета семени U от угла γ , под которым семя после взаимодействия с гребёнкой направится к поверхности обтекателя.

Ключевые слова: уборка, очес растений, зернобобовые, очесывающая жатка, белый люпин, параметры, способ.

Для цитирования: Алдошин Н.В., Мосяков М.А., Семичев С.В. Конструктивно-технологическая схема очесывающей жатки для уборки белого люпина // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 4 (29). С. 79-85.

Введение. В 2016 году зернобобовая культура белый люпин была включена в государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ [1, с. 202-206].

Возделывают белый люпин, используя систему машин, аналогичную для зерновых культур. Вегетационный период данной культуры составляет 94-140 дней, процесс уборки приходится на середину августа – конец сентября,

когда в зонах возделывания возможны осадки. Потенциальная продуктивность семян составляет в среднем 40...50 ц/га. Недостатком культуры, усложняющим процесс ее уборки, является неодновременность созревания растений, влекущая за собой повреждения семенного материала рабочими органами уборочных машин [2, с. 43-45; 3, с. 7-11].

Для решения существующей проблемы необходимо рассмотреть способ уборки растений бе-

лого люпина, в меньшей степени зависящей от погодных условий и одновременности их созревания. Одним из таких способов уборки является очес растений на корню очесывающей жаткой, навешанной на зерноуборочный комбайн.

Применяемые в данном способе уборке технические средства, представленные на рынке сельскохозяйственной техники в России, не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям сельскохозяйственного производства при уборке зернобобовых культур [4, с.173-174].

Цель исследований. Обоснование конструктивно-технологической схемы очесывающей жатки для уборки белого люпина.

Материалы и методы. При выборе схемы очесывающей жатки для уборки белого люпина к ней предъявлялись следующие требования [5, с. 79-89; 6, с. 1-11; 7]: показатели качества и надёжности выполнения технологического процесса должны отвечать агротехническим требованиям; жатка должна обладать универсальностью, обеспечивать очес стеблей и транспортирование продуктов очеса; иметь простую конструкцию, небольшие габариты и металлоёмкость; обладать минимальной энергоёмкостью; конструкция должна быть простой и безопасной в эксплуатации.

За прототип была выбрана схема устройства, однороторная очесывающая жатка с рабочими органами в виде гребёнок. В таком устройстве ротор выполняет функции как очесывающего,

так и транспортирующего рабочего органа.

Технологический процесс работы в однороторной очесывающей жатке можно представить как ряд последовательно взаимосвязанных операций, в которых выходные параметры предыдущей являются входными данными для последующих.

При движении по полю зерноуборочного комбайна с навешанной очесывающей жаткой в первую очередь растения взаимодействуют с обтекателем, который подготавливает их к подаче на ротор. При этом растения должны располагаться в зоне действия гребёнок. Так как они имеют различную высоту, необходимо правильно выбирать расстояние от обтекателя до поверхности поля, чтобы избежать потери семян недоочесом. Для этого необходимо рассмотреть процесс изгиба стебля растения под воздействием обтекателя. Введём систему координат, где ось x проходит, через точку контакта K , расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля h_0 , направленную перпендикулярно поверхности поля, а ось y совпадает с поверхностью поля [8, с. 71-75; 9, с. 248-251].

Дальнейшее изучение процесса наклона стебля обтекателем будет проводиться с условным допущением, что расстояние от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля h_0 и расстояние от нижней точки обтекателя до поверхности поля $h_{н0}$ условно равны (рис. 1).

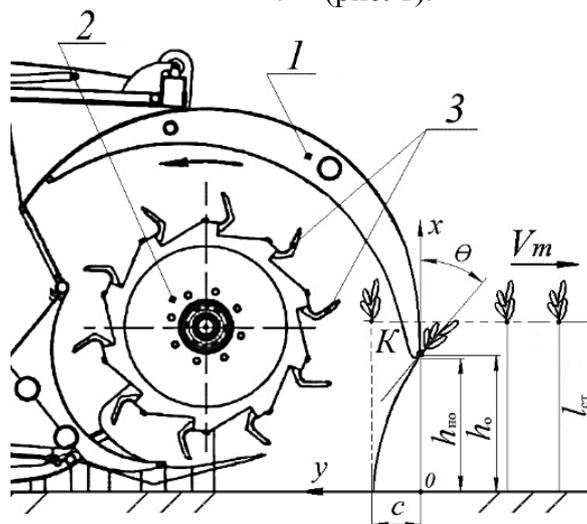


Рисунок 1 – Схема подачи растения к очесывающему ротору: 1 – обтекатель; 2 – очесывающий ротор; 3 – гребёнка

Результаты и обсуждение. Рассмотрим нагрузку на стебель при поперечном возмущении. Опишем упругую ось стебля с помощью эмпирической формулы:

$$y = c \cdot \cos\left(\frac{x}{h_0} \cdot \frac{\pi}{2}\right), \quad (1)$$

где c – величина наклон стебля, м; h_0 – расстояние от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля, м.

Для дальнейшего рассмотрения процесса изгиба стебля растения перейдем к относительным величинам:

$$H = \frac{h_0}{l_{ст}}, \quad (2)$$

где H – относительное расстояние от точки контакта K , обтекателя с растением до поверхности поля; $l_{ст}$ – средняя длина стебля растения до момента его изгиба в точке контакта K с обтекателем, м.

$$X = \frac{x}{l_{ст}}. \quad (3)$$

$$Y = \frac{y}{l_{ст}}. \quad (4)$$

$$C = \frac{c}{l_{ст}}. \quad (5)$$

$$X_{max} = H. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение (1) оси изогнутого стебля запишем:

$$Y = C \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{X}{H}\right), \quad (7)$$

Проинтегрировав уравнение (7), получим:

$$\dot{Y} = -C \cdot \frac{\pi}{2H} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{X}{H}\right). \quad (8)$$

Определим tg угла наклона стебля растения θ из уравнения (8):

$$\text{tg}\theta = -C \cdot \frac{\pi}{2H} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{X}{H}\right). \quad (9)$$

Из выражения (9) определим угол наклона стебля:

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \arctg\left|\frac{\pi}{2} \cdot \frac{C}{H}\right|. \quad (10)$$

Рассмотрим угол наклона стебля θ в точке контакта с обтекателем K , при различном значении относительного расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H . Для этого составим уравнение наклона стебля и проинтегрируем его. Длину растения в относительных величинах определим из выражения [10]:

$$1 = \int_0^H \sqrt{1 + (\dot{Y})^2} \cdot dX. \quad (11)$$

Запишем выражение (11) в виде трансцендентного уравнения:

$$F(C) = 1 - \int_0^H \sqrt{1 + (\dot{Y})^2} \cdot dX = 0, \quad (12)$$

где C – корень уравнения.

Посредством программы Mathcad 14 решим уравнение (12), полученные результаты сведем в таблицу и по полученным значениям построим график зависимости угла наклона стебля θ от относительного расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H (рис. 2).

Таблица – Результаты параметрического представления углов наклона стеблей θ , град.

№	Относительное расстояние от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H	Относительный наклон стебля C	Угол наклона растения при взаимодействии с обтекателем θ , град
1	0,10	0,99	86,3
2	0,20	0,96	82,5
3	0,30	0,93	78,4
4	0,40	0,88	70,9
5	0,50	0,82	62,9
6	0,60	0,75	53,1
7	0,70	0,66	41,2
8	0,80	0,55	35,3
9	0,90	0,39	24,7

Для обеспечения подачи растений к очесывающим гребенкам ротора необходимо правильно выбирать расстояние от обтекателя до поверхности поля. Необходимо учитывать и минимальную высоту убираемых растений, из-

бегая прямого попадания их на ротор очесывающей жатки, минуя обтекатель, что чревато выбросом продукта очёса за пределы обтекателя. Высота растений определяется исходя из морфологических признаков [11].

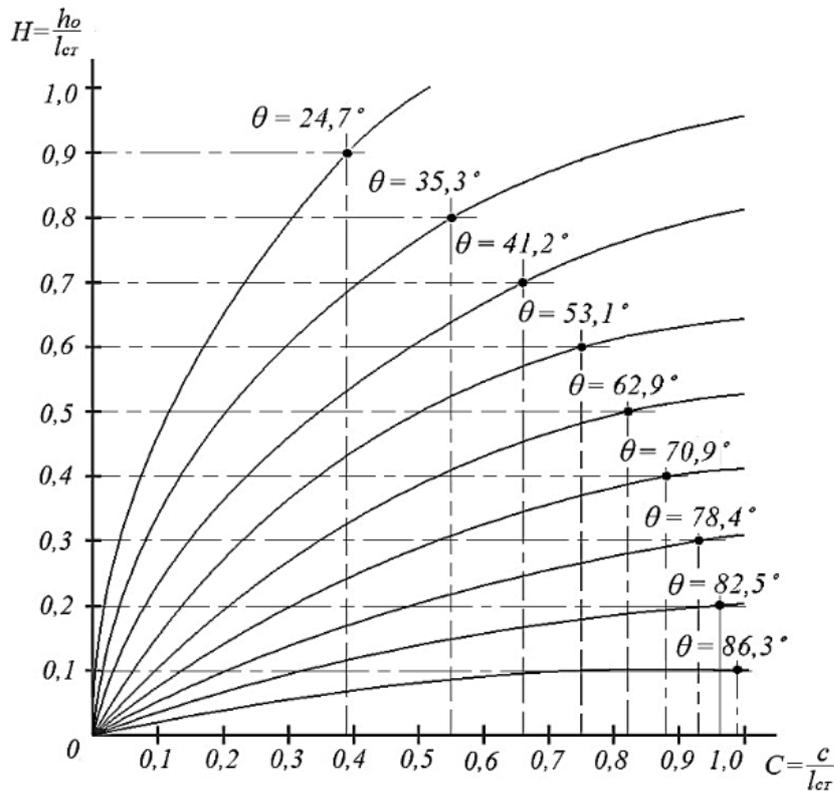


Рисунок 2 – Зависимость относительного отгиба растения H от относительного наклона стебля C при различных углах наклона стебля θ

Далее определим расстояние от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля h_0 в абсолютных величинах, подставим получившиеся значения относительного расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H в уравнение:

$$h_0 = H \cdot l_{cr}. \quad (13)$$

Подстановку значений относительного расстояния от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля H будем осуществлять исходя из данных для стеблей люпина о предельном отклонении до потери упругих свойств.

Рассмотрим взаимодействие стебля очесываемого растения с зубьями гребенки очесывающего ротора для определения направления полета семян белого люпина.

Определим угол соударения α семени о поверхность гребенки по формуле (рис. 3):

$$\alpha = 90^\circ - \varepsilon. \quad (14)$$

Угол между скоростью ротора V_r и горизонтальной осью x равен:

$$\tau = \arccos\left(\frac{H_{ж} - h_0}{R_r}\right), \quad (15)$$

где $H_{ж}$ – высота установки очесывающей жатки от центра ротора до поверхности поля, м; R_r – расстояние от центра ротора O до точки контакта на гребенке a , м.

Зная угол соударения α и значение коэффициента восстановления k , возможно определить угол отражения β :

$$\beta = \arctg\left(\frac{tg \alpha}{k}\right). \quad (16)$$

Для определения коэффициента восстановления k при ударе семян белого люпина воспользуемся справочной литературой [12].

Определим угол γ между горизонтальной осью x и вектор скорости семени U :

$$\gamma = \beta + \alpha + \tau. \quad (17)$$

Начальную скорость семени U определим, используя теорему косинусов:

$$U = V_r \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (18)$$

$$\begin{cases} x = U \cdot t \cdot \cos \gamma \\ y = U \cdot t \cdot \sin \gamma - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases}. \quad (19)$$

Определим направление полёта вектора семени U и значение угла γ , под которым семя после взаимодействия с гребёнкой направится к поверхности обтекателя.

Воспользуемся программой Mathcad 14 и проведем вычислительный эксперимент, определим траектории полёта семян при различных точках взаимодействия с поверхностью гребёнки (рис. 4).

Проанализируем представленную зависимость на рисунке 4 и сделаем вывод, что оптимальное значение угла γ , под которым семя после взаимодействия с гребёнкой направится к поверхности обтекателя, соответствует на рисунке точкам a_0 и a_1 , данный угол позволит направить семя непосредственно в обтекатель и после их взаимодействия позволит выполнить условие подачи его на шнек очёсывающей жатки [10].

Выводы. Рассмотрено функционирование очёсывающей жатки как ряд последовательных взаимозависимых этапов. Определена конструктивно-технологическая схема очёсывающей жатки для уборки белого люпина, учитывающая морфологические признаки растений и позволяющая снизить потери и повреждения семян. Параметрически представлен допустимый угол наклона растений при очёсе $\theta = 40 \dots 42^\circ$. Получены зависимости и теоретически определено расстояние от точки контакта обтекателя с растением до поверхности поля $h_0 = 0,70 \dots 0,75$ м и относительный наклон стебля $C = 0,39 \dots 0,66$. Представлен вычислительный эксперимент и определен угол, под которым семя после взаимодействия с гребёнкой направится к поверхности обтекателя $63 \dots 76^\circ$.

Список используемой литературы

1. Мосяков М.А. Технологические особенности уборки белого люпина // Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве: матер. Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Москва: Издательство ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. С. 202-206.
2. Цыгуткин А.С., Шарагин А.И. Возделывание белого люпина в условиях центрального района нечернозёмной зоны // Владимирский Земледелец. 2013. № 2-3 (68-69). С. 43-45.
3. Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В., Цыгуткин А.С. Формирование урожая семян белого люпина в условиях Центрального Черноземья // Белый люпин. 2014. № 1. С. 7-11.
4. Мосяков М.А. Анализ молотильно-сепарирующих систем зерноуборочных комбайнов // Наука молодых – агропромышленному комплексу: матер. Международной научной конференции молодых учёных и специалистов. Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016. С.173-174.
5. A. Straksas. Development of a stripper-header for grain harvesting // Agronomy research. 2006. Vol. 4(1). pp. 79-89.
6. A.F. Adisa, V.I.O. Ndirika, Y.D. Yiljep, U.S. Determination of Optimum Operational Conditions of a Grain Stripper Header for Rice Harvesting in Nigeria // International Journal of Engineering and Technology. 2012. Vol. 2(7). pp. 1-11.
7. Фусточенко А.Ю. Повышение эффективности функционирования жатки очёсывающего типа совершенствованием параметров и режимов работы обтекателя: дис... канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2015.
8. Мосяков М.А. Выбор конструктивно-технологической схемы и обоснования параметров очёсывающей жатки с построением блок-схемы ее функционирования // Знания молодых: наука, практика и инновации: матер. Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых. Киров: Издательство ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2018. С.71-75.
9. Мосяков М.А. Результаты полевых исследований уборки белого люпина модернизированной очёсывающей жаткой типа «ОЗОН» // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3(28). С. 422-429.
10. Мосяков М.А. Обоснование параметров рабочих органов очёсывающей жатки для уборки белого люпина: дис... канд. техн. наук. Москва, 2018.

11. Воронюк Б.А. и др. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. М.: Колос, 1970.

12. Бурмистрова М.Ф., Комалькова Т.К., Клемм Н.В и др. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. М.: Гос. изд. с.-х. литературы, 1956.

References

1. Mosyakov M.A. Tekhnologicheskie osobennosti uborki belogo lyupina // Agroyzhenernyye innovatsii v selskom khozyaystve: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov. Moskva: Izdatelstvo FGBNU FNATs VIM, 2017. S. 202-206.

2. Tsygutkin A.S., Sharagin A.I. Vozdelyvanie belogo lyupina v usloviyakh tsentralnogo rayona nechernozemnoy zony // Vladimirskiy Zemledelets. 2013. № 2-3 (68-69). S. 43-45.

3. Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Tsygutkin A.S. Formirovanie urozhaya semyan belogo lyupina v usloviyakh Tsentralnogo Chernozemya // Belyy lyupin. 2014. № 1. S. 7-11.

4. Mosyakov M.A. Analiz molotilno-separiruyushchikh sistem zernouborochnykh kombaynov // Nauka molodykh - agropromyshlennomu kompleksu: mater. Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov. Moskva: Izdatelstvo RGAU-MSKha imeni K.A. Timiryazeva, 2016. S.173-174.

5. A. Straksas. Development of a stripper-header for grain harvesting // Agronomy research. 2006. Vol. 4(1). pp. 79-89.

6. A.F. Adisa, V.I.O. Ndirika, Y.D. Yiljep, U.S.

Determination of Optimum Operational Conditions of a Grain Stripper Header for Rice Harvesting in Nigeria // International Journal of Engineering and Technology. 2012. Vol. 2(7). pp. 1-11.

7. Fustochenko A.Yu. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya zhatki ochesyvayushchego tipa sovershenstvovaniem parametrov i rezhimov raboty obtekatel'ya: dis... kand. tekhn. nauk. Rostov-na-Donu, 2015.

8. Mosyakov M.A. Vybor konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy i obosnovaniya parametrov ochesyvayushchey zhatki s postroeniem blok-skhemy ee funktsionirovaniya // Znaniya molodykh: nauka, praktika i innovatsii: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii aspirantov i molodykh uchenykh. Kirov: Izdatelstvo FGBOU VO Vyatskaya GSKhA, 2018. S.71-75.

9. Mosyakov M.A. Rezultaty polevykh issledovaniy uborki belogo lyupina modernizirovannoy ochesyvayushchey zhatkoy tipa «OZON» // Innovatsii v selskom khozyaystve. 2018. № 3(28). S. 422-429.

10. Mosyakov M.A. Obosnovanie parametrov rabochikh organov ochesyvayushchey zhatki dlya uborki belogo lyupina: dis... kand. tekhn. nauk. Moskva, 2018.

11. Voronyuk B.A. i dr. Fiziko-mekhanicheskie svoystva rasteniy, pochv i udobreniy. M.: Kolos, 1970.

12. Burmistrova M.F., Komalkova T.K., Klemm N.V i dr. Fiziko-mekhanicheskie svoystva selskokhozyaystvennykh rasteniy. M.: Gos. izd. s.-kh. literatury, 1956.

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОРУДИЯ В АГРЕГАТЕ

Семичев С.В., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва;
Зволинский В.Н., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва;
Мосяков М.А., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва

Качество обработки почвы не всегда соответствует агротехническим требованиям. Одним из нерешенных вопросов при работе машинно-тракторного агрегата остается недостаточная управляемость орудием относительно направления движения. В процессе работы агрегата из-за неравномерности плотности почвы в пределах ширины захвата орудия последнее может отклониться от заданной линии движения. Также этому способствуют маневры, совершаемые оператором сельскохозяйственного агрегата или подруливающего устройства, стремящегося скорректировать агрегат на курс, задаваемый навигацией. При этом не учитывается наличие степеней свободы навесного устройства трактора, негативно влияющих на синхронное угловое и координатное положение орудия относительно линии обработки. Проведены исследования патентной литературы и протоколов испытаний навесных устройств для сельскохозяйственных орудий. В исследовании использованы методы моделирования и методология системного анализа. Предложен способ позиционирования орудия с управляемым навесным устройством. Способ позволяет исключить дополнительное навигационное оборудование, необходимое для позиционирования орудия на линии обработки. Представлен образец конструкции управляемого навесного устройства УНУ-2, разработанного в агроинженерном центре ВИМ, позволяющего в совокупности с выше описанным способом позиционирования, исключить угловой поворот орудия и направить его на линию обработки. Приведены технические характеристики УНУ-2 и даны рекомендации по его использованию. Описан процесс функционирования устройства в составе агрегата, а также рекомендации по применению. Определено, что данное устройство позволит повысить уровень позиционирования орудия в агрегате за счет исключения углового поворота и поперечного смещения орудия относительно линии обработки.

Ключевые слова: орудие, агрегат, управляемое навесное устройство, способ, позиционирование, навигационные системы, курсовая устойчивость.

Для цитирования: Семичев С.В., Зволинский В.Н., Мосяков М.А. Способ регулирования положения сельскохозяйственного орудия в агрегате // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 4 (29). С.86-91.

Введение. Повышение точности прохода орудия, например в составе пропашного агрегата при обработке междурядий, является важным условием для обеспечения агротехнических требований в части повреждения культурных растений (не более 3 %) [1, с. 64-66; 2, с. 34-36]. Точность прохода трактора достигается применением навигационной системы. В процессе движения

агрегата по полю при обработке почвы происходит постоянная корректировка его курса [3]. При этом орудие из-за особенности навесного устройства трактора также постоянно смещается с линии обработки. Это обусловлено поперечным отклонением нижних тяг трактора с навешенным орудием относительно направления движения.

В случае применения навигационной системы в качестве системы управления трактором, в связи с особенностью навесного устройства трактора, орудие при этом постоянно отклоняется от линии обработки. Повышение точности позиционирования орудия на линии обработки требует применения исполнительных механизмов управления орудием. При этом позиционирование будет осуществляться также навигационной системой, установленной как на тракторе, так и на орудии, что повысит общую стоимость системы управления агрегатом.

В связи с этим есть необходимость создания такой системы автоматического управления, которая могла бы корректировать положение орудия относительно трактора без применения навигационного оборудования, установленного на орудии.

Изготовленный образец управляемого навесного устройства УНУ-2 для сельскохозяйственного орудия, позволит повысить его уровень позиционирования в агрегате, за счет сведения к минимуму поперечного смещения орудия относительно линии обработки. Это достигается использованием двух угловых потенциометров и дополнительного программного обеспечения, установленного в электронном блоке управления (ЭБУ) навигационной системы, установленной на тракторе.

Цель исследований. Повышение уровня позиционирования орудия относительно заданной траекторией движения.

Материалы и методы. Проведены исследования патентной литературы и протоколов испытаний навесных устройств для сельскохозяйственных орудий. В исследовании были использованы методы моделирования и методология системного анализа.

Вопросом позиционирования орудия занимались в ВИСХОМе [4]. В пропашной культиватор КРН-2.8М был встроен исполнительный механизм в виде гидроцилиндра, позволяющего смещать раму культиватора поперек направления движения. Из-за несовершенности узлов данной системы точность обработки была на низком уровне.

В настоящее время для позиционирования положения орудия в агрегате дополнительно используется навигационное оборудование, установленное непосредственно на самом орудии [5, 6, 7]. Реализация данного способа приводит к усложнению конструкции и дополнительному ее удорожанию.

Условно механизмы управления орудием подразделяются на четыре группы (рис. 1) [8, с. 217-221; 9, с. 1-8].

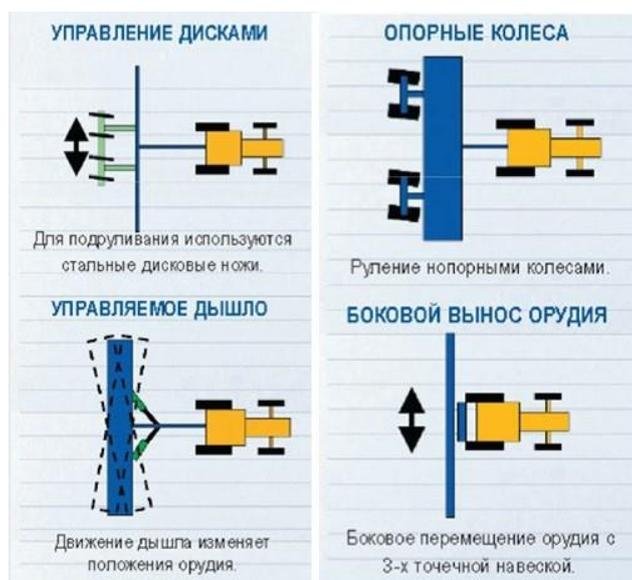


Рисунок 1 – Примеры корректировки прямолинейного движения агрегата

Для реализации способа позиционирования орудия без удорожания его стоимости можно применить разработанный в агроинженерном

центре ВИМ образец управляемого навесного устройства (рис. 2), позволяющий точно корректировать движение орудия по линии по-

садки культур, 2 угловых потенциометра и дополнительное программное обеспечение, установленное в ЭБУ навигационной системы трактора. Способ состоит в измерении отклонений

навесного устройства трактора от его осевой линии угловыми потенциометрами и дополнительном программном обеспечении, способном направить орудие на линию обработки почвы.

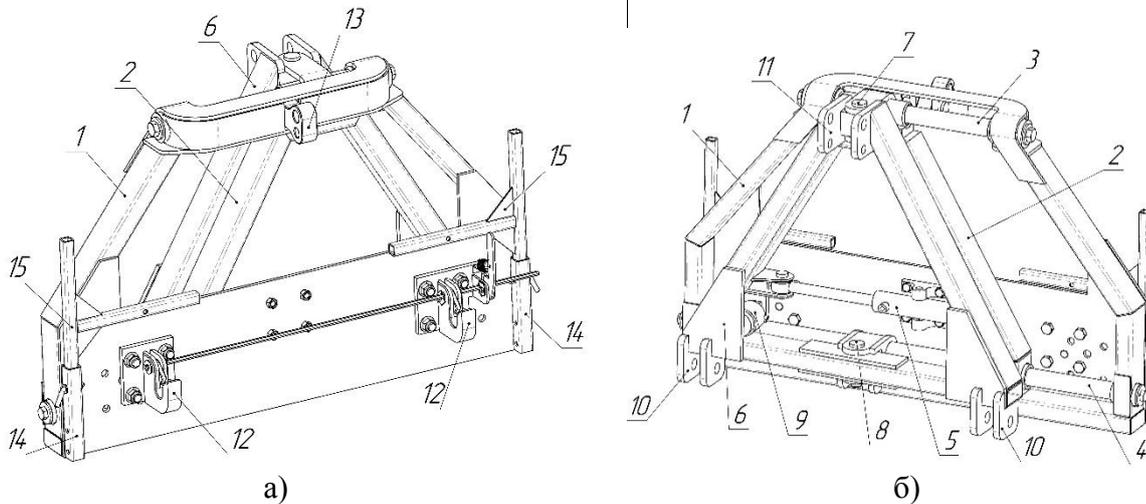


Рисунок 2 – Управляемое навесное устройство УНУ-2 для сельскохозяйственных орудий:

а) вид со стороны орудия; б) вид со стороны трактора: 1 – наружная рамка; 2 – дополнительная рамка; 3, 4 – направляющие; 5 – гидроцилиндр; 6 – внутренняя рамка; 7, 8 – шарниры; 9 – гидроцилиндр; 10 – нижние навесные крюки; 11 – верхняя вилка; 12 – нижние навесные крюки; 13 – верхняя серьга; 14 – кронштейны; 15 – подставки.

Управляемое навесное устройство (рисунок 2) имеет наружную 1 и дополнительную 2 рамки, установленные с возможностью поперечного скольжения друг относительно друга и соединенные между собой в верхней и в нижней частях направляющими 3 и 4. Смещение наружной рамки 1 относительно дополнительной рамки 2, осуществляется гидроцилиндром 5, шарнирно связывающим эти рамки. Внутренняя рамка 6 связана с дополнительной рамкой 2 шарнирами 7 и 8 в вертикальной плоскости. Рамки 6 и 2 установлены с возможностью поворота друг относительно друга в горизонтальной плоскости с помощью гидроцилиндров 9. Нижние навесные крюки 10 и верхняя вилка 11 соединены с тягами трактора. Нижние навесные крюки 12 снабжены полуавтоматическими замками, имеющими регулировки по высоте и ширине для смены орудия, соответствующего классу трактора. Верхняя серьга 13 соединяется с орудием и имеет регулировку по высоте. На наружной рамке 1 имеются кронштейны 14 с подставками 15, облегчающими процесс навески управляемого навесного устройства на трактор.

Результаты и обсуждение. Устройство работает следующим образом. При отклонении ору-

дия с линии обработки почвы подается сигнал от ЭБУ о смещении орудия с линии обработки. Угловой потенциометр 4 (рис. 3), установленный на нижней тяге трактора, фиксирует её угловое отклонение и передает данные в ЭБУ. Далее ЭБУ производит расчет угла γ и передает команду на гидрораспределитель трактора (на рисунке не указан) о подаче масла в левый или правый гидроцилиндр 9 (рис. 2), при этом происходит поворот рамки 6 относительно рамки 2 и орудие возвращается в положение, перпендикулярное направлению движения. Контрольный угловой потенциометр 6 (рис. 3), ось вращения которого находится над осью вращения внутренней рамки 6 (рис. 2), также фиксирует угол поворота внутренней рамки и передает данные на ЭБУ. Поворот внутренней рамки 6 производится до совпадения значений углов между рамками 6 и 2 (рис. 2) и углом γ (рис. 3), задаваемым ЭБУ. После углового выравнивания орудия необходимо его направить на обрабатываемую линию. Для этого ЭБУ получает два и более сигналов навигационной системы для определения угла положения трактора по отношению к линии обработки почвы и подает сигнал на гидрораспределитель о подаче масла

в ту или иную полость гидроцилиндра 5 (рис. 2) устройства. Наружная рамка 1 смещается отно-

сительно дополнительной рамки 2, тем самым возвращая орудие на линию обработки.

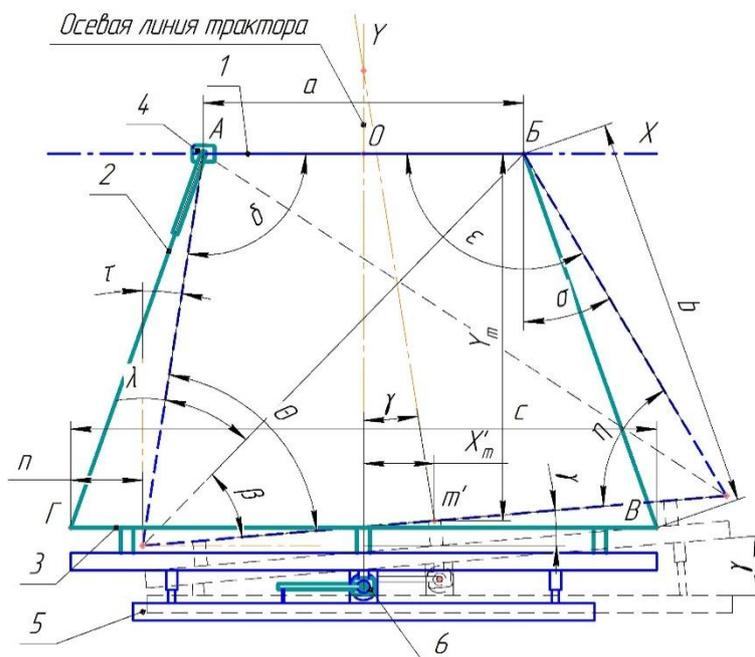


Рисунок 3 – Проекция нижних тяг трактора с УНУ-2:

1 – ось поворота шарниров нижних тяг; 2 – нижние тяги навески трактора; 3 – поперечина УНУ; 4 – регистрирующий угловой потенциометр; 5 – УНУ; 6 – контрольный угловой потенциометр

Определение угла γ в горизонтальной плоскости производится ЭБУ по следующему уравнению:

$$\gamma = 90 - (\tau + \lambda + \beta), \quad (1)$$

где τ – угол наклона нижней тяги АГ относительно оси трактора в отклоненном состоянии; λ – угол между нижней тягой навески в отклоненном состоянии и диагональю БГ; β – угол между основанием ВГ и диагональю БГ в отклоненном состоянии.

Углы τ, λ, β определяются по формулам:

$$\tau = \arcsin \frac{c-a-2n}{2b}, \quad (2)$$

где a – расстояние между осями шарниров вращения нижних тяг навески трактора, м; b – длина тяги трактора, м; c – длина поперечины УНУ; n – отклонение точки Г от положения навески в состоянии покоя.

$$\lambda = \arcsin \frac{a \sin \delta}{БГ}, \quad (3)$$

где δ – угол между нижней тягой навески трактора в отклоненном состоянии и осью шарниров вращения нижних тяг.

$$\beta = \arcsin \frac{b \sin \eta}{БГ}, \quad (4)$$

где η – угол между нижней тягой навески трактора в отклоненном состоянии и поперечиной УНУ.

После получения угла γ ЭБУ навигационной системы принимает сигнал от спутников о угловом положении оси трактора по отношению к линии обработки γ_1 . При этом отклонение орудия от линии обработки будет иметь вид:

$$\Delta = \gamma_1 \mp \gamma, \quad (5)$$

где γ – угол между осью трактора и осью навески трактора в отклоненном состоянии;

γ_1 – угол между линией обработки почвы и осью трактора.

Затем при помощи гидрораспределителя и гидроцилиндров 9 (рис. 2) устройства, происходит угловое выравнивание орудия относительно линии обработки. Далее ЭБУ производит расчет координат положения навески трактора по отношению к оси трактора:

$$X_m = n + \frac{c}{2} \cos \gamma - \frac{c}{2}, \quad (6)$$

$$Y_m = - \left(b \cos \tau - \frac{c}{2} \sin \gamma \right), \quad (7)$$

Координаты X_m являются знакопеременными в зависимости от положения точки m относительно оси Y.

Для смещения орудия на линию обработки ЭБУ навигационного оборудования необходи-

мо на величину Δ (рис. 4) сместить рамку в сторону линии обработки почвы.

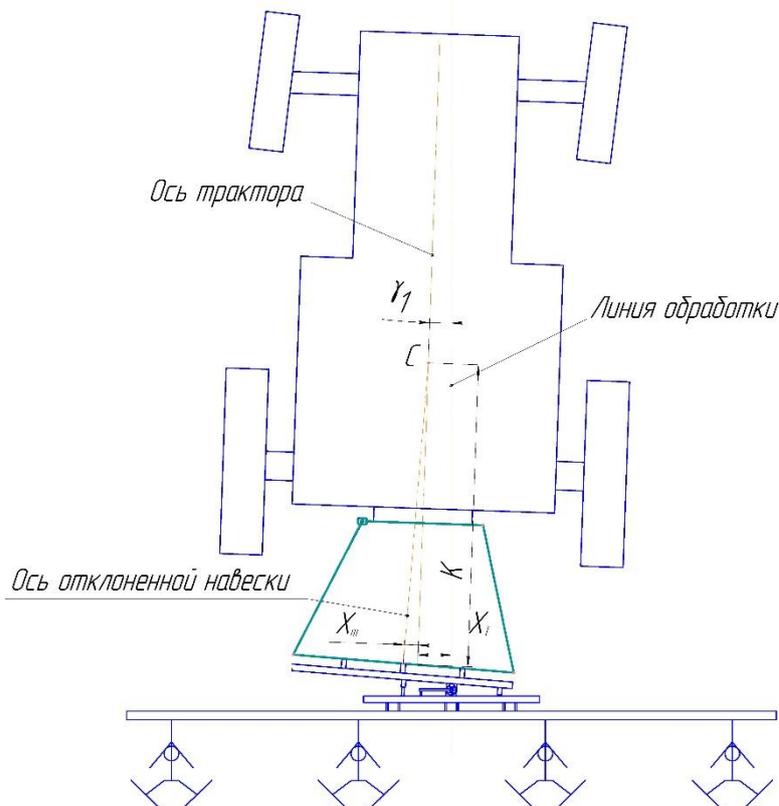


Рисунок 4 – Отклонение навески трактора в составе с управляемым навесным устройством:

С – точка установки навигационной антенны на тракторе; К – расстояние от места установки навигационной антенны до центра поперечины УНУ; X_T – расстояние от линии посадки до центра поперечины УНУ.

Отклонение центра орудия от линии обработки почвы будет иметь следующий вид:

$$X' = X_T \pm X_m, \quad (8)$$

где X_T – координата центра поперечины УНУ относительно оси трактора; X_m – координата отклоненного центра поперечины УНУ относительно оси трактора.

Представленный способ позиционирования орудия позволит исключить из статьи расходов дополнительное дорогостоящее навигационное оборудование, устанавливаемое на орудие. Данный способ требует экспериментального подтверждения, для этого необходимо проведение дополнительных исследований в полевых условиях. Необходимо сравнить описанный способ выше и агрегат с установленной навигационной системой на тракторе и орудии [10].

Выводы. Способ определения координат положения орудия в агрегате с дополнительным программным обеспечением и двумя потенциометрами будет являться альтернативой, способной заменить дорогостоящее навигационное оборудование, устанавливаемое на орудии. Применение управляемого навесного устройства УНУ-2 позволит исключить угловой поворот орудия и направит его на линию обработки почвы.

Список используемой литературы

1. Алдошин Н.В. Исследование технологических процессов в растениеводстве при помощи методов матричного исчисления // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2007. № 1(21). С. 64-66.
2. Алдошин Н.В. Анализ технологических процессов в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 1. С.34-36.



3. Балабанов В.И., Федоренко В.Ф. и др. Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016.

4. Зволинский Н.П., Курников И.И. и др. Автоматизация культиватора для обработки почвы в рядках. М.: ВИСХОМ, 1960.

5. John Deere. URL: <https://docplayer.ru/39019672-Sistemy-navigacii-john-deere-sistema-navigacii-s-kotoroy-vy-mozhete-razvivatsya.html> (дата обращения 18.02.2019).

6. Trimble. URL: <https://docplayer.ru/45301586-Trimble-gps-sistemy-parallelnogo-vozhdeniya-i-tehnologii-tochnogo-zemledeliya-dlya-vseh-sezonov-kultur-relefov-i-dlya-lyuboy-tehniki.html> (дата обращения 18.02.2019).

7. Робототехника в сельском хозяйстве. URL: <http://fastsaltimes.com/sections/obzor/585.html> (дата обращения 18.02.2019).

8. Семичев С.В. Анализ устройств управления траекторией движения сельскохозяйственных машин // Инновации в сельском хозяйстве: материалы 7-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. 2017. № 4 (25). С. 217-221.

9. Martin Holpp, Thomas Anken, Monika Sauter. Utilite de systemes de guidage automatique // Agroscope. 2012. Vol. 756 pp. 1-8.

10. Шульга Е.Ф., Куприянов А.О., Хлюстов В.К. и др. Управление сельхозпредприятием с использованием космических средств навигации (ГЛОНАСС) и дистанционного зондирования Земли. М.: РГАУ-МСХА, 2016.

References

1. Aldoshin N.V. Issledovanie tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve pri pomoshchi metodov matrichnogo ischisleniya //

Vestnik FGOU VPO MGAU. 2007. № 1(21). S.64-66.

2. Aldoshin N.V. Analiz tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve // Tekhnika v selskom khozyaystve. 2008. № 1. S.34-36.

3. Balabanov V.I., Fedorenko V.F. i dr. Tekhnologii, mashiny i oborudovanie dlya koordinatnogo (tochnogo) zemledeliya. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2016.

4. Zvolinskiy N.P., Kurnikov I.I. i dr. Avtomatizatsiya kultivatora dlya obrabotki pochvy v ryadkakh. M.: VISKhOM, 1960.

5. John Deere. URL: <https://docplayer.ru/39019672-Sistemy-navigacii-john-deere-sistema-navigacii-s-kotoroy-vy-mozhete-razvivatsya.html> (data obrashcheniya 18.02.2019).

6. Trimble. URL: <https://docplayer.ru/45301586-Trimble-gps-sistemy-parallelnogo-vozhdeniya-i-tehnologii-tochnogo-zemledeliya-dlya-vseh-sezonov-kultur-relefov-i-dlya-lyuboy-tehniki.html> (data obrashcheniya 18.02.2019).

7. Robototekhnika v selskom khozyaystve. URL: <http://fastsaltimes.com/sections/obzor/585.html> (data obrashcheniya 18.02.2019).

8. Semichev S.V. Analiz ustroystv upravleniya traektoriey dvizheniya selskokhozyaystvennykh mashin // Innovatsii v selskom khozyaystve: materialy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov. 2017. №.4 (25). S. 217-221.

9. Martin Holpp, Thomas Anken, Monika Sauter. Utilite de systemes de guidage automatique // Agroscope. 2012. Vol. 756 pp. 1-8.

10. Shulga Ye.F., Kupriyanov A.O., Khlyustov V.K. i dr. Upravlenie selkhozpredpriyatiem s ispolzovaniem kosmicheskikh sredstv navigatsii (GLONASS) i distantsionnogo zondirovaniya Zemli. M.: RGAU-MSKhA, 2016.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ ЗЕРНОВКИ ПРИ ЕЁ ПАДЕНИИ НА РЕШЕТО ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Николаев В.А., ФГБОУ ВО Ярославский ТУ

Основным недостатком зерноочистительных машин с прямоугольными решётами является ограниченная пропускная способность, обусловленная логическим противоречием. Оно заключается в том, что по мере прохода сквозь решето количество очищаемого материала на решете уменьшается, а ширина решета остаётся неизменной. При этом значительная часть решета работает неэффективно, так как только часть его поверхности покрыта очищаемым материалом. Чтобы повысить эффективность работы зерноочистительных машин, решёта сдвигают и располагают в два или три яруса, увеличивают подачу на верхние решёта, но при этом снижается качество работы зерноочистительной машины. Поскольку по мере прохождения материала сквозь решето количество очищаемого материала на решете уменьшается, рационально было бы применять трапециевидное решето. Однако конструктивная реализация зерноочистительной машины с трапециевидными решётами затруднена. Для преодоления этого противоречия предложена зерноочистительная машина с решетом, представляющим перевёрнутый усечённый конус, который совершает вертикальные колебания. Приведено описание конструкции и принципа действия этой машины. Перед анализом взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом приняты два допущения: поток зернового вороха из кольцевой щели соответствует толщине одной зерновки; каждая зерновка независима, и взаимное влияние зерновок отсутствует. Рассмотрены составляющие траектории зерновки при её первом столкновении с решетом. Получена система уравнений, связывающих неизвестные параметры. В результате решения этой системы выявлены конкретные значения параметров, в частности, суммарная сила воздействия зерновки на решето в момент его касания и углы наклона вектора суммарной силы, когда решето находится в нижнем положении. Аналогично определены параметры первого взаимодействия зерновки с решетом, когда решето находится в верхнем положении. В результате анализа первого взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом определены параметры этого взаимодействия.

Ключевые слова: зерноочистительная машина, перевёрнутый усечённый конус, вертикально колеблющееся решето, траектория зерновки, взаимодействие зерновки с решетом, параметры первого взаимодействия.

Для цитирования: Николаев В.А. Определение параметров траектории зерновки при её падении на решето полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 4 (29). С. 92-101.

Введение. Большая часть зерноочистительных машин оснащена прямоугольными решётами. Решётному стану обычно придают колебания условно параллельные поверхностям решёт. Перемещение частицы при таких колебаниях решета подробно теоретически и экспериментально исследованы [1, с. 242-244; 2, с. 345-

347]. Основным недостатком этих зерноочистительных машин является ограниченная пропускная способность, обусловленная логическим противоречием. Оно заключается в том, что количество очищаемого материала на решете уменьшается, а ширина решета остаётся неизменной.

Для качественного разделения сортируемого материала необходимо, чтобы он располагался на решете в один слой. Для этого ограничивают подачу на него очищаемого материала. При этом значительная часть решета работает неэффективно, так как только часть его поверхности покрыта очищаемым материалом. Чтобы повысить эффективность работы зерноочистительных машин, решёта сдваивают и располагают в два или три яруса. Увеличивают подачу на верхние решёта так, чтобы приблизительно половина сортируемого материала отделялась на первом решете, а оставшийся материал – на втором. Но при этом снижается качество работы зерноочистительной машины, так как первое нижнее решето оказывается недогруженным, работает неэффективно. Второе верхнее решето также работает недостаточно эффективно, так как нельзя допустить попадания полноценного очищаемого материала в крупные отходы.

Поскольку по мере прохождения материала сквозь решето количество очищаемого материала на решете уменьшается, рационально было бы применять трапецидальное решето. Однако конструктивная реализация зерноочистительной машины с трапецидальными решётами затруднена. Так как свойства очищаемых материалов различные, то и количество материала, проходящего сквозь решето по мере его перемещения по трапецидальному решету, будет различным. Следовательно, возникает необходимость иметь набор трапецидальных решёт, у которых основания трапеций будут различной длины. Сложно приспособить зерноочистительные машины под набор таких решёт, хотя варианты конструктивного решения проблемы не исключены.

Дальнейшим развитием идеи применения трапецидальных решёт является реализация зерноочистительной машины с решетом, представляющим перевёрнутый усечённый конус, совершающий вертикальные колебания. Если несколько трапецидальных решёт изогнуть и соединить, то получится перевёрнутый усечённый конус. Взаимодействие зерновки с вертикально колеблющимся решетом не исследовано и вызывает теоретический и практический интерес.

Цель исследования. Целью исследования является конструктивная компоновка полуав-

томатической зерноочистительной машины с вертикально колеблющимся решетом и теоретическое определение параметров первого взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом.

Метод исследования. Анализ взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом.

Результаты исследования. На рисунках 1 и 2 представлена конструктивная компоновка полуавтоматической зерноочистительной машины с вертикально колеблющимся решетом схема работы и регулирования [3, с. 1-20].

Корпус карусели 6 (рисунок 2) опирается на стойки 1 посредством роликов верхних. На него надет и приклеен резиновый бандаж, с которым соприкасаются два привода карусели 2 (рисунок 1). На одной из стоек установлен электроуправляемый тормоз карусели. На стойках установлены два привода подъёмника 3. Вверху к корпусу карусели присоединены пневмоканалы 6, на схождение которых сверху расположены: привод пневморегулятора 7 (рисунок 2), управляющий пневморегулятором; привод конуса бункера 8, управляющий конусом бункера 5; электродвигатель привода вентилятора 9, соединённый валом, проходящим внутри привода конуса бункера, с крыльчаткой 10. К конусу бункера приварены державки, скользящие по направляющим. Направляющие приварены к стенке бункера 4 (рисунок 1), соединённой в нескольких местах связками с корпусом карусели.

На раме транспортёров установлены транспортёры 1 и 2 (рисунок 2): малых и лёгких примесей «Л+М», ущербных зёрен «У», целых зёрен «Ц» и посередине – транспортёр крупных примесей «Кр». Над транспортёрами малых и лёгких примесей, транспортёрами ущербных зёрен, транспортёрами целых зёрен имеются сбрасыватели. Под сходами с транспортёров малых и лёгких примесей, транспортёра крупных примесей расположен конвейер 5 примесей «Л+М+Кр». Под сходами с транспортёров ущербных зёрен расположен конвейер 5 ущербных зёрен «У». Под сходами с транспортёров целых зёрен расположен конвейер 5 целых зёрен «Ц». С транспортёров малых и лёгких примесей, транспортёра крупных примесей, транспортёров ущербных зёрен, транспортёров целых зёрен свисают фартуки. Кроме этого, на

раме транспортёров расположена стойка опорных роликов, на которой установлены опорные ролики. На них опираются фигурные тарелки (рисунок 2) с лотком крупных примесей «Кр»,

кольцевые тарелки: с лотком целых зёрен «Ц», лотком ущербных зёрен «У», лотком лёгких и малых примесей «Л+М», подпираемым сбоку пружинящим фартуком.

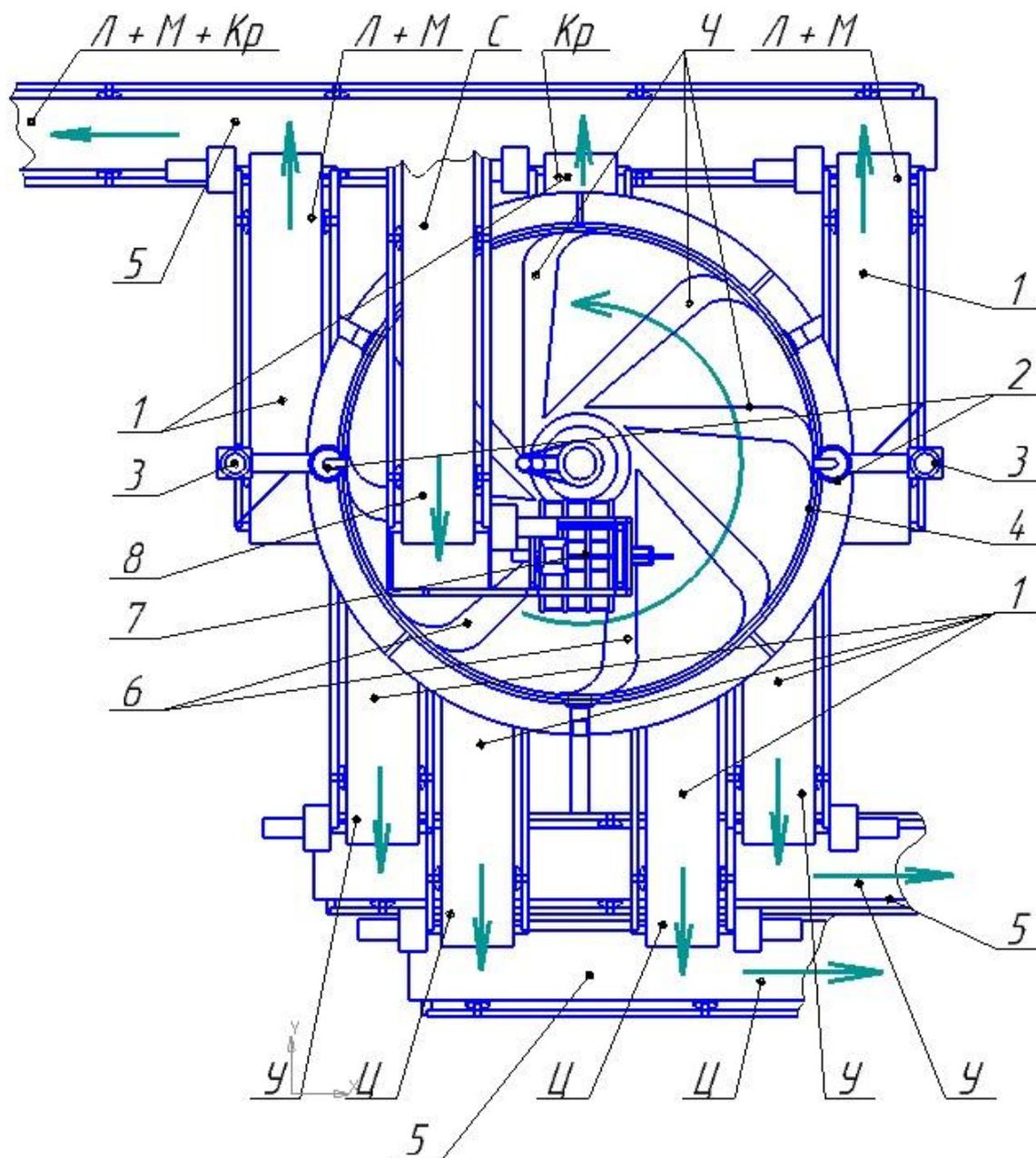


Рисунок 1 – Конструктивная компоновка полуавтоматической зерноочистительной машины с вертикально колеблющимся решетом, вид сверху:

- 1 – транспортёр; 2 – привод карусели; 3 – привод подъёмника; 4 – стенка бункера; 5 – конвейер; 6 – пневмоканал; 7 – пробник; 8 – транспортёр зернового вороха

Вверху стойка опорных роликов, присоединённая к перемычке между стойками, имеет шлицевую часть, взаимодействующую со шлицами остова решёт 3 (см. рисунок 2). К остову

решёт посредством магнитов присоединены решето малых примесей, решето ущербных зёрен и решето целых зёрен, которые имеют форму перевёрнутых усечённых конусов. К

остову решёт приварена по окружности дорожка, опирающаяся на ролик нижний.

Над корпусом карусели расположен транспортёр зернового вороха 8 (см. рисунок 1) с присоединёнными к нему рельсами. Пробник 7 установлен на рельсах. На раме пробника уста-

новлен блок управления и контроля (БУК). На полуавтоматической зерноочистительной машине расположены также датчики уровня, датчики ударного воздействия, путевые датчики, датчик давления, блок управления и сигнализации (БУС).

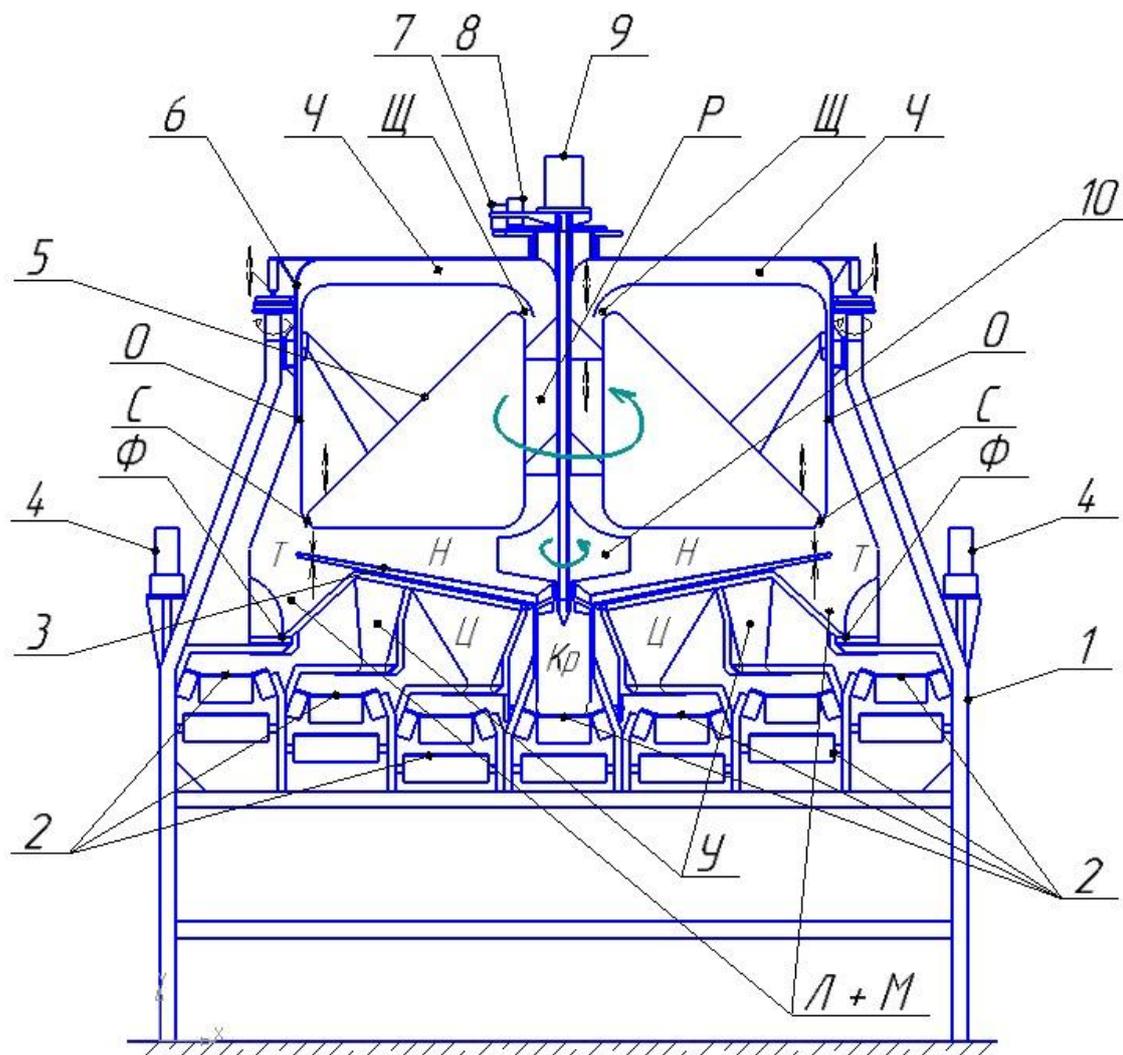


Рисунок 2 – Схема работы и регулирования полуавтоматической зерноочистительной машины с вертикально колеблющимся решетом:

- 1 – стойка; 2 – транспортёр; 3 – остов решёт; 4 – привод подъёмника; 5 – конус бункера;
6 – корпус карусели; 7 – привод пневморегулятора; 8 – привод конуса бункера;
9 – электродвигатель привода вентилятора; 10 – крыльчатка

В начале работы оператор включает приводы подъёмников, которые опускают раму транспортёров с решётами вниз. В зависимости от состава зернового вороха оператор на БУС настраивает угловую скорость корпуса карусели посредством электромагнита, управляющего передаточным отношением от приводов кару-

сели к бандажу. Затем оператор нажимает кнопку «пуск» на БУС, включая режим настройки полуавтоматической зерноочистительной машины. При этом включается БУК, который управляет пробником (см. рисунок 1), включается транспортёр зернового вороха и приводы карусели. Приводы карусели посред-

ством банджа придают вращение корпусу карусели и остальным элементам, связанным с ним. При этом зерновой ворох поступает в пробник и пространство между конусом и стенкой бункера. Пробник автоматически подбирает оптимальный размер отверстий решета малых примесей, который высвечивается на панели БУС. Оператор устанавливает ручную оптимальное решето малых примесей. После этого пробник автоматически подбирает оптимальный размер отверстий решета ущербных зёрен и решета целых зёрен. Затем БУК переходит в режим ожидания. Установку оптимального решета малых примесей, решета ущербных зёрен, решета целых зёрен оператор осуществляет со стороны конвейера примесей. Когда установка закончена и сработали все чувствительные датчики на остова решёт, при условии, что БУК перешёл в режим ожидания, БУС отключит приводы карусели, а приводы подъёмников включит в режиме реверсирования. Если оператор не успел выполнить своевременно установку решёт, зерновой ворох заполнит пространство между конусом и стенкой бункера, достигнет датчика уровня, и БУС остановит подачу зернового вороха.

При срабатывании верхнего путевого датчика, установленного на стойке, отключаются приводы подъёмников, включаются (см. рисунки 1, 2) приводы карусели, приводы транспортеров, конвейер примесей, конвейер ущербных зёрен, конвейер целых зёрен, электродвигатель привода вентилятора, электродвигатель привода конуса. В исходном положении конус бункера опущен. После включения электродвигатель привода конуса посредством привода конуса, кронштейнов конуса приподнимает конус бункера (см. рисунок 2). При этом открывается кольцевая щель «С» между конусом и стенкой бункера. Зерновой ворох начинает поступать через неё и попадает в воздушный поток, создаваемый крыльчаткой в зоне нагнетания «Н». Электродвигатель привода вентилятора оснащён частотным регулятором, настроенным изначально на минимальную угловую скорость с постепенным её увеличением. Воздушный поток выносит лёгкие примеси в зону торможения воздушного потока «Т», где они оседают вниз, а воздух через кольцевое окно «О» попадает в пневмоканалы «Ч». Угловая скорость электро-

двигателя привода вентилятора увеличивается до срабатывания датчиков ударного воздействия на периферии остова решёт вследствие выноса воздушным потоком целых зёрен. Так осуществляется автоматическое регулирование воздушного потока. Из каналов «Ч» воздух попадает в зону разрежения «Р», а оттуда крыльчатка подаёт его обратно в зону нагнетания «Н». Часть воздуха в процессе циркуляции удаляется с выходящим из полуавтоматической зерноочистительной машины зерном и примесями, поэтому внутри корпуса карусели создаётся разрежение, контролируемое датчиком давления. Если разрежение увеличится более допустимого, датчик давления пошлёт сигнал в БУС, который включит электродвигатель привода пневморегулятора, а он посредством привода пневморегулятора уменьшит сечение пневмоканалов «Ч». При этом через кольцевую щель «Щ» в зону разрежения «Р» поступит дополнительный воздух. И наоборот, при недостаточном разрежении электродвигатель привода пневморегулятора посредством привода пневморегулятора увеличит сечение пневмоканалов «Ч». При этом через кольцевую щель «Щ» в зону разрежения «Р» поступит меньшее количество воздуха. Поток воздуха через кольцевую щель «Щ», кроме того, увлекает пыль из надконусного пространства от поступающего на очистку зернового вороха.

Очищенный от лёгких примесей зерновой ворох попадает на периферию поверхности решета малых примесей. Когда рама транспортеров поднята, корпус карусели соединён с лотком малых примесей, лотком ущербных зёрен и лотком целых зёрен. Эти элементы конструкции полуавтоматической зерноочистительной машины вращаются совместно с корпусом карусели, опираясь на опорные ролики. Нижние ролики, установленные на лотке целых зёрен, перекачиваются по дорожке, приваренной к остову решёт и имеющей асимметричную волнистую поверхность. При этом остов решёт совместно с решетом малых примесей, решетом ущербных зёрен, решетом целых зёрен совершает вертикальные колебательные движения, перемещаясь по шлицам стойки опорных роликов. Так как решето малых примесей имеет конусообразную поверхность (см. рисунок 2), зерновой ворох постепенно перемещается от

периферии решета малых примесей к решетку ущербных зёрен. Малые примеси проникают сквозь решето малых примесей, соскальзывают по лотку малых примесей и совместно с лёгкими примесями из зоны «*L+M*» через кольцевую щель «*Ф*» попадают на тарелку. Пружинящий фартук препятствует подосу воздуха через кольцевую щель «*Ф*» в зону «*T*» торможения воздушного потока. Диаметральные расположенные сбрасыватели сбрасывают малые и лёгкие примеси на транспортёры малых и лёгких примесей. Оттуда они попадают, скользя по фартуку, на конвейер примесей. Очищенный от малых примесей зерновой ворох попадает на периферию решета ущербных зёрен и постепенно перемещается от периферии решета ущербных зёрен к решетке целых зёрен. Колотое и щуплое зерно проникает сквозь решето ущербных зёрен, соскальзывает по лотку ущербных зёрен, из зоны «*V*» попадает на транспортёры ущербных зёрен, затем – на конвейер ущербных зёрен. Очищенный от колотого и щуплого зерна зерновой ворох попадает на периферию решета целых зёрен и постепенно перемещается от периферии. Целое зерно проникает сквозь решето целых зёрен, соскальзывает по лотку целых зёрен, из зоны «*Ц*» попадает на транспортёры целых зёрен, затем – на конвейер целых зёрен. Крупные примеси сходят с решета целых зёрен в лоток крупных примесей, из зоны «*Kp*» попадают на транспортёр крупных примесей, затем на конвейер примесей. Привод конуса приподнимает конус, увеличивая кольцевую щель «*C*» между конусом бункера и стенкой бункера. Следовательно, поток зернового вороха на очистку увеличится до срабатывания датчиков ударного воздействия, расположенных по краю лотка целых зёрен. При поступлении сигнала от этих датчиков БУС отключает электродвигатель привода конуса. Этим заканчивается режим настройки полуавтоматической зерноочистительной машины и начинается режим стабильной работы.

В конце работы, после прекращения поступления на очистку зернового вороха и срабатывания датчика ударного воздействия, БУС отключит транспортёр зернового вороха и приводы карусели. Через некоторое время БУС включает приводы подъёмников, которые опустят раму транспортёров с решётами до срабатывания нижнего путевого датчика на стойке. При этом БУС

отключает электродвигатель привода вентилятора, два транспортёра малых и лёгких примесей, два транспортёра ущербных зёрен, два транспортёра целых зёрен, транспортёр крупных примесей. Одновременно он включает электродвигатель привода конуса, который посредством привода конуса, кронштейнов конуса опускает конус, закрывая кольцевую щель «*C*» между конусом и стенкой бункера. БУС также включает электродвигатель привода пневморегулятора, который посредством привода пневморегулятора увеличит сечение пневмоканалов «*Ч*» до максимума. Через некоторое время БУС отключит конвейер примесей, конвейер ущербных зёрен, конвейер целых зёрен.

Допустим, что на вертикально колеблющемся решете происходит очистка от примесей зерновок тритикале «Торнадо». Средний размер зерновок тритикале «Торнадо» $2 \times 3 \times 8$ мм. Масса зерновки 0,03 г или $m = 3 \cdot 10^{-5}$ кг. Через кольцевую щель «*C*» (см. рисунок 2) между конусом бункера и стенкой бункера зерновка падает на решето. На зерновку при её падении на решето действуют:

- сила G тяжести:

$$G = gm = 9,8 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$

- напор воздушного потока p_v ;

- сила F_j инерции, обусловленная вращением корпуса карусели с бункером.

На рисунке 3 показаны составляющие траектории зерновки при её первом столкновении с решетом.

Проведём через точку A оси координат, направив: ось x – по касательной, ось y – радиально, ось z – вниз (рисунок 3, а, б). Сила G тяжести зерновки направлена вдоль оси z , напор воздушного потока p_v условно направим по оси y , сила F_j инерции направлена по оси x . Если бы на зерновку воздействовал только поток воздуха, создаваемый крыльчаткой, то она перемещалась бы по траектории AC (рисунок 3, б) на расстояние y , то есть до штрих-пунктирной окружности радиусом r_{Π} , соответствующей совокупности точек первого касания зерновок и решета. Так как действуют три силы, отложив расстояние y вправо, получим точку A . Точка A – начало падения зерновки на решето.

Силы действуют во взаимно перпендикулярных направлениях, поэтому применим принцип независимости действия сил.

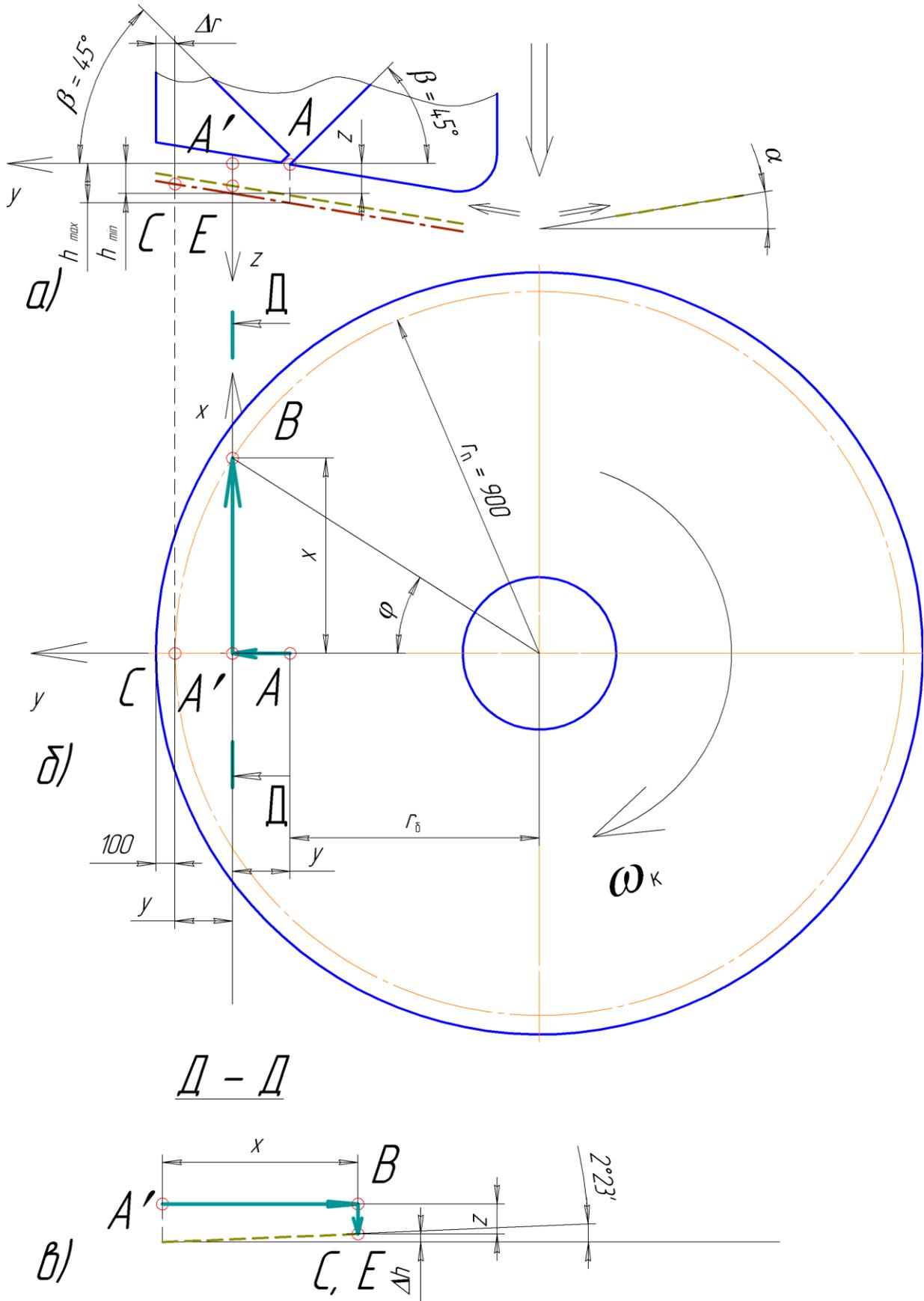


Рисунок 3 – Составляющие траектории зерновки при её первом столкновении с решетом:
а) вид сбоку, б) вид сверху, в) сечение Д – Д

При этом допустим, что на зерновку поочерёдно действуют:

- напор воздушного потока p_v , перемещающий зерновку по оси y на расстояние y по траектории AA ;
- сила F_j инерции, перемещающая зерновку по оси x на расстояние x по траектории AB (рисунок 3, б, в);
- сила G тяжести зерновки, перемещающая зерновку по оси z на расстояние z по траектории BE (рисунок 3, в).

Заменим распределённую нагрузку p_v воздействия на зерновку потока воздуха, создаваемого крыльчаткой, сосредоточенной силой R . Воспользуемся формулой определения силы R воздействия потока воздуха на частицу [2, с. 348]:

$$R = k\rho S v^2, \quad (1)$$

где k – коэффициент сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную направлению относительной скорости, $S = 4,9 \cdot 10^{-6}$ м²;

v – скорость потока воздуха, м/с.

Примем коэффициент сопротивления $k = 0,22$, плотность воздуха $\rho = 1,22$ кг/м³. Критическая скорость зерновок тритикале [2, с. 348] $v_{кр} \approx 11$ м/с. Для эффективного отделения примесей скорость v_g воздушного потока должна быть близка к критической скорости, но меньше её, чтобы зерновки не оказались в лёгких отходах. Допустим, скорость воздушного потока $v_b = 10$ м/с. Тогда $R = 0,22 \cdot 1,22 \cdot 4,9 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 = 1,31 \cdot 10^{-4}$ Н.

Чтобы зерновой ворох скользил по стенке бункера, угол β наклона кольцевой щели между конусом бункера и стенкой бункера должен быть не менее 45° (см. рисунок 3, а). Так как при прохождении через кольцевую щель (точка А) между конусом бункера и стенкой бункера зерновка преодолевает силу трения, скорость зерновки в момент начала падения из бункера близка к нулю. Примем её равной нулю.

Для качественной очистки и разделения зерна допустим, что поток зернового вороха из кольцевой щели соответствует толщине одной зерновки. При этом каждая зерновка независима, и взаимное влияние зерновок отсутствует.

Тогда сила F_j инерции преодолевает только сопротивление воздушной среды

$$R_{cp} = k\rho S \int_{v_{3н}}^{v_{3к}} v_j^2, \quad (2)$$

где v_j – скорость зерновки при движении по инерции, которая изменяется от начального значения $v_{3н}$ до некоторой величины $v_{3к}$. Ввиду небольшого времени падения зерновки $F_j \gg R_{cp}$ сопротивление воздушной среды не окажет существенного влияния на расчёты, поэтому им пренебрегаем.

Начальная скорость зерновки равна окружной скорости точки А выхода зерновки из бункера, обусловленной вращением бункера совместно с корпусом карусели полуавтоматической сортировальной машины:

$$v_j = \omega_k r_{\delta}, \quad (3)$$

где ω_k – угловая скорость бункера полуавтоматической сортировальной машины; r_{δ} – расстояние от оси вращения корпуса полуавтоматической сортировальной машины до точки выхода зерновок из бункера (см. рисунок 3). Расстояние

$$x = v_j \tau_{п}. \quad (4)$$

Расстояние $z = \frac{g \tau_{п}^2}{2}, \quad (5)$

где $\tau_{п}$ – время падения зерновки.

Так как точки В и С расположены на одной окружности, показанной штрих-пунктиром и соответствующей совокупности точек касания зерновок и решета, то из рисунка 3, в

$$h_{max} = z + \Delta h. \quad (6)$$

Из рисунка 3, а

$$\Delta h = y \operatorname{tg} \alpha. \quad (7)$$

Имеем следующие неизвестные параметры:

- угол α наклона образующей решёт к горизонтали;
- расстояния x, y, z ;
- расстояние h_{max} ;
- расстояние r_{δ} или Δr ;
- угловая скорость бункера полуавтоматической сортировальной машины ω_k ;
- время падения зерновки $\tau_{п}$.

Объединим уравнения в систему:

$$\begin{cases} \Delta h = y \operatorname{tg} \alpha \\ h_{max} = z + \Delta h \\ r_{\delta} = r_{п} - y - y \\ x = \sqrt{r_{п}^2 - (r_{\delta} + y)^2} \\ x = v_j \tau_{п} \\ v_j = \omega_k r_{\delta} \end{cases} \quad (8)$$

Количество неизвестных больше количества уравнений, поэтому примем допущения: угол наклона образующей решёт к горизонтали $\alpha = 15^\circ$, а $h_{max} = 0,1$ м (см. рисунок 3). Воспользовавшись расчётами траектории зерновки [4], примем время падения зерновки от бункера до решета полуавтоматической зерноочистительной машины $\tau_{\Pi} = 0,06$ с.

Расстояние AA (см. рисунок 3, б): $y = 88,28 \cdot \cos 15^\circ = 0,08584$ м. Тогда из первого уравнения:

$$\Delta h = 0,08584 \operatorname{tg} 15^\circ = 0,08584 \cdot 0,24 = 0,021 \text{ м.}$$

Из второго уравнения:

$$z = h_{max} - \Delta h;$$

$$z = 0,1 - 0,021 = 0,079 \text{ м} = 79 \text{ мм.}$$

Из третьего уравнения:

$$r_6 = 0,9 - 0,08584 - 0,08584 = 0,728 \text{ м.}$$

Из четвертого уравнения:

$$x = \sqrt{0,9^2 - (0,728 + 0,08584)^2} \approx 0,383 \text{ м.}$$

Из пятого уравнения:

$$v_j = \frac{x}{\tau_{\Pi}}; v_j = \frac{0,383}{0,06} = 6,39 \text{ м/с.}$$

Из шестого уравнения:

$$\omega_k = \frac{v_j}{r_6}; \omega_k = \frac{6,39}{0,7} = 9,13 \text{ рад/с.}$$

При таких параметрах угловая скорость бункера полуавтоматической зерноочистительной

машины получается чрезмерной. Ограничим траекторию полёта зерновки от воздействия силы тяжести и потока воздуха и примем геометрические параметры [4, с. 156-162]:

$h_{max} = 50$ мм; $y = 42,82$ мм; $z = 38,6$ мм; $\Delta h = 11,4$ мм. Из предыдущих расчётов результирующая сила $F = 24,9 \cdot 10^{-4}$ Н, скорость зерновки, обусловленная действием силы тяжести зерновки и потока воздуха [4],

$v_{\tau+\Pi} = 1,69$ м/с. Тогда время перемещения зерновки от бункера до решета $\tau_{\Pi} = 0,0476$ с. Из третьего уравнения системы уравнений (8):

$$r_6 = 0,9 - 0,04282 - 0,04282 = 0,814 \text{ м.}$$

Из четвертого уравнения системы уравнений (8):

$$x = \sqrt{0,9^2 - (0,814 + 0,04282)^2} \approx 0,274 \text{ м.}$$

Из пятого уравнения системы уравнений (8):

$$v_j = \frac{x}{\tau_{\Pi}}; v_j = \frac{0,274}{0,0476} = 5,75 \text{ м/с.}$$

Совокупная скорость зерновки, обусловленная действием силы инерции, силы тяжести зерновки и потока воздуха $v_3 = \sqrt{v_j^2 + v_{\tau+\Pi}^2}$. (9)

Когда решето в нижнем положении,

$$v_{3H} = \sqrt{5,75^2 + 1,69^2} \approx 6 \text{ м/с.}$$

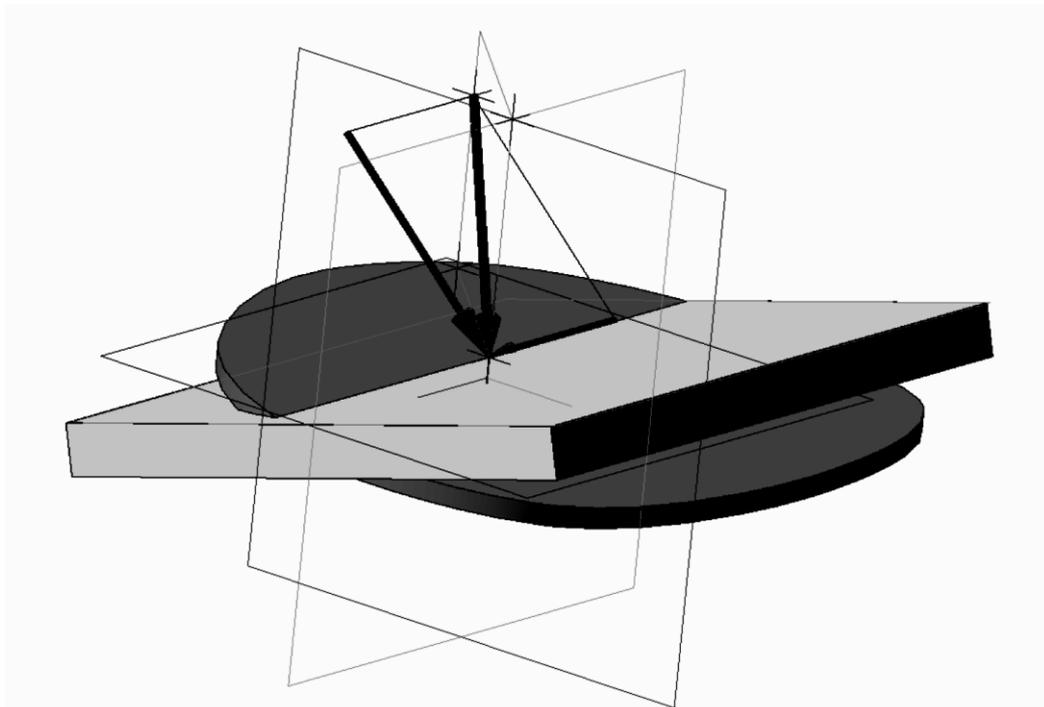


Рисунок 4 – Определение суммарной силы воздействия зерновки на решето в момент его первого касания, когда решето находится в нижнем положении: горизонталь – серая тонкая плоскость; поверхность решета – жёлтая толстая плоскость

Из шестого уравнения системы уравнений (8):

$$\omega_k = \frac{v_j}{r_6}; \omega_k = \frac{5,75}{0,814} = 7,07 \text{ рад/с.}$$

Кинетическая энергия зерновки $E_3 = \frac{mv_j^2}{2}$ равна работе $A_j = F_j x$ силы инерции:

$$F_j x = \frac{mv_j^2}{2}.$$

$$\text{Отсюда сила инерции } F_j = \frac{mv_j^2}{2x}. \quad (10)$$

$$F_j = \frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot 5,75^2}{2 \cdot 0,274} = \frac{99,19 \cdot 10^{-5}}{0,548} \approx 18,19 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

Если не принимать во внимание витание зерновки на таком малом расстоянии, то результирующая сила F силы тяжести и воздействия потока воздуха (рисунок 4, красный вектор) направлена в радиальной плоскости под углом γ к горизонтали, а сила F_j инерции (зелёный вектор) – горизонтально тангенциально.

Сложив эти силы в пространстве, получим суммарную силу F_Σ воздействия зерновки на решето в момент его касания (синий вектор): $F_\Sigma = 30,8 \cdot 10^{-4}$ Н. Угол наклона суммарной силы к горизонтали (серая тонкая плоскость) $\delta_n = 32,32^\circ$, угол наклона суммарной силы к поверхности решета (жёлтая толстая плоскость) $\varepsilon_n = 52,9^\circ$, угол отклонения суммарной силы от радиального направления (красного вектора) $\theta_n = 36,3^\circ$.

Аналогично определим параметры, когда решето находится в верхнем положении: суммарная сила воздействия зерновки на решето в момент его касания: $F_\Sigma = 27,6 \cdot 10^{-4}$ Н, угол наклона суммарной силы к горизонтали $\delta_b = 30,75^\circ$, угол наклона суммарной силы к поверхности решета $\varepsilon_b = 70,63^\circ$, угол отклонения суммарной силы от радиального направления $\theta_b = 38,4^\circ$.

Выводы.

1. Получена конструктивная компоновка полуавтоматической зерноочистительной машины с вертикально колеблющимся решетом в форме перевёрнутого усечённого конуса.

2. В результате анализа первого взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом определены параметры этого взаимодействия.

Список используемой литературы

1. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчёт. Под. Ред. Б.Г. Турбина. Л.: «Машиностроение», 1967.

2. Клёнин Н.И., Киселёв С.Н., Левшин А.Г. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2008.

3. Николаев В.А. Патент РФ № 2623473. Полуавтоматическая зерноочистительная машина. Заявка № 2016108555; заявл. 23.04.2015; опубл. 20.06.2017, бюл. №18.

4. Николаев В.А., Кряклина И.В. Очистка зерна от примесей и его предварительная сушка. Ярославль: Изд-во ФГОУ ВО ЯГСХА, 2017.

References

1. Selskokhozyaystvennyye mashiny. Teoriya i tekhnologicheskii raschet. Pod. Red. B.G. Turbina. L.: «Mashinostroenie», 1967.

2. Klenin N.I., Kiselev S.N., Levshin A.G. Selskokhozyaystvennyye mashiny. M.: KolosS, 2008.

3. Nikolaev V.A. Patent RF № 2623473. Poluavtomaticheskaya zernoochistitelnaya mashina. Zayavka № 2016108555; zayavl. 23.04.2015; opubl. 20.06.2017, byul. № 18.

4. Nikolaev V.A., Kryaklina I.V. Ochistka zerna ot primesey i ego predvaritelnaya sushka. Yaroslavl: Izd-vo FGOU VO YaGSKhA, 2017.

АНАЛИЗ РАБОТЫ И РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К РОБОТИЗИРОВАННЫМ ДОИЛЬНЫМ СИСТЕМАМ НА ПРИМЕРЕ ХОЗЯЙСТВА ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Гуркина Л.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Муханов Н.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Барabanов Д.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Крупин А.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА

Сельское хозяйство, чаще всего, ассоциируется с производством и получением растениеводческой продукции, для многих же хозяйств важным моментом является именно производство молока и молочной продукции. Ежедневные надои гарантируют постоянное получение денежных средств за вырученную продукцию, в то время как растениеводство прибыль дает циклично. В последнее время роботы активно входят в жизнь людей не только на бытовом уровне, начиная от игрушек и заканчивая «умными домами», но и в производстве. Практически в каждой отрасли промышленности роботизированная техника занимает свою нишу. Сельское хозяйство не является исключением. Роботы начинают внедряться в сельскохозяйственные предприятия различной мощности. Причинами внедрения является не столько желание соответствовать техническому прогрессу, сколько снизить затраты на производство продукции, исключить человеческий фактор, приводящий к ошибкам и снижению прибыли. В Ивановской области использование роботизированных систем весьма скромно. А именно, доильные роботы используются лишь в одном хозяйстве Гаврило-Посадского района в ГК «РИАТ» на животноводческом комплексе предприятия ООО «Растениеводческое хозяйство Родина». Преддоильная подготовка вымени коров – важная составляющая процесса машинного доения коров. При использовании существующих роботизированных доильных систем, в частности доильных роботов VMS DeLaval, используемых в ООО «Растениеводческое хозяйство Родина», имеет место несоблюдение зоотехнических требований при проведении преддоильной подготовки вымени. В статье разработаны требования к роботизированным системам преддоильной подготовки вымени и приведено описание предлагаемой установки, предназначенной для работы в доильных залах с доильными установками конвейерно-кольцевого типа. Данная роботизированная установка преддоильной подготовки вымени обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с подготовкой вымени вручную и с системами подготовки вымени существующих доильных роботов.

Ключевые слова: молочное скотоводство, машинное доение коров, подготовка вымени коров к доению, установка преддоильной подготовки вымени, зоотехнические требования, оптический способ позиционирования манипулятора, робот.

Для цитирования: Гуркина Л.В., Муханов Н.В., Барabanов Д.В., Крупин А.В. Анализ работы и разработка требований к роботизированным доильным системам на примере хозяйства Ивановской области // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 4 (29). С.102-111.

Введение. В пищевом рационе россиян большое значение имеют молоко и молочные продукты. Их использование очень важно для сбалансированного питания человека. По данным Всероссийского справочника «Молочная

отрасль - 2017» доля молочной продукции в структуре продовольственной корзины (в денежном выражении) в различных регионах страны составляет от 20 до 30 % [1].

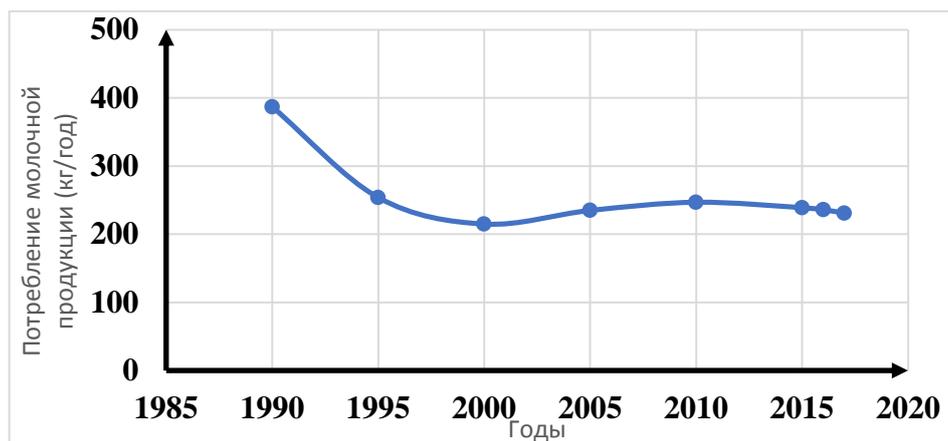


Рисунок 1 – Динамика изменения потребления молочных продуктов за период 1990 – 2017 годов (кг/чел./год)

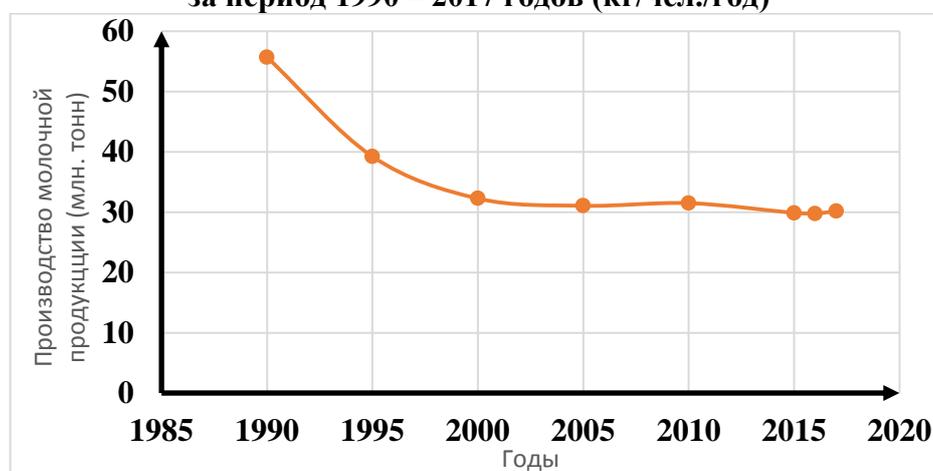


Рисунок 2 – Динамика производства молочной продукции всеми категориями хозяйств

Схожий характер графиков 1 и 2, а также идентичное процентное выражение спада (порядка 40 %) как производства, так и потребления молочной продукции, говорит о сильной зависимости величины годового потребления молочной продукции от величины её производства.

По состоянию на 2017 год доля молока, произведенного в России, составляет 82 % от общей потребности. Недостающие потребности в молоке компенсируются за счет импорта, который составляет порядка 7,5 млн тонн. При этом за период времени 2013...2017 годов импорт молока сократился на 20 % (1,9 млн тонн) [2].

Анализ данных Департамента сельского хозяйства Ивановской области за аналогичный период (таблицы 1 и 2) показывает такую же динамику, как в целом по стране.

Если оценить поголовье крупного рогатого скота, а точнее поголовье молочного скота, среднюю продуктивность за последние 3 года,

и связать с рекомендуемым потреблением молока, то можно отметить, что имеющееся поголовье, к сожалению, не способно обеспечить молочной продукцией все население Ивановской области. Поэтому перед аграриями стоит задача нарастить производство для полного обеспечения потребностей страны отечественным молоком, что позволит довести потребление молочных продуктов населением до требований здорового питания.

Анализируя статистические данные с 2000 года (таблица 2), можно отметить, с одной стороны, значительное снижение поголовья (практически в 3 раза), в то же время почти в три раза увеличился среднегодовой надой на одну корову. Подобный уровень производства молока наряду с увеличением численности коров, хотя бы до показателя 2000 года, может значительно поднять рейтинг области в сфере производства молока.

Таблица 1 – Оценка обеспеченности населения Ивановской области молоком, производимым на территории региона [3, 4]

Показатели	2015 год	2016 год	2017 год
Поголовье коров, тыс. голов	29,6	30,0	29,1
Среднегодовой надой молока на 1 корову, кг	5382	5654	5959
Валовой надой молока в хозяйствах всех категорий Ивановской области, тыс. т	154,5047	159,7861	163,4
Население области, тыс. чел.	1029,8	1023,2	1014,6
Рекомендуемые рациональные нормы потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. Молоко и молокопродукты всего в пересчете на молоко, кг/год/человек	325		
Рекомендуемые рациональные нормы потребления и молочных продуктов (в пересчете на молоко) в Ивановской области, кг/месяц/человек	27,1		
Потребление молока и молочных продуктов (в пересчете на молоко) в Ивановской области, кг/месяц/человек	22,8	21,5	20,2
Необходимое количество, тыс. т	335,685	332,54	357,1392
%% обеспеченности	46	33,4	46

Таблица 2 – Производство молока в Ивановской области [3, 5, 6]

Показатели	2000	2005	2010	2014	2017
Поголовье коров, тыс. голов	84,1	47,5	37,8	29,9	29,1
Среднегодовой надой молока на 1 корову, кг	2142	3359	3959	5042	5959
Валовой надой, тыс. т	234,1	183,3	168,1	149,2	163,4

Увеличение численности поголовья коров, несомненно, приведет к повышенной потребности в трудовых ресурсах. По признанию российских первопроходцев цифрового животноводства, одной из главных причин освоения новых технологий была нехватка профессиональных «традиционных» кадров [7]. Одним из ключевых факторов для роста производства молочных продуктов является улучшение технологической оснащенности хозяйств. При этом здесь также остро стоит вопрос импортозамещения.

К 1990 году отечественные специализированные машиностроительные предприятия выпускали серийное оборудование: доильные установки, кормораздатчики, резервуары-охладители, навозоуборочную технику и т.д. Однако отсутствие новых разработок и моральное устаревание прежде выпускаемого оборудова-

ния привели к увеличению поставок импортного оборудования. Немаловажную роль здесь также сыграло полное разрушение системы технического сервиса и обслуживания отечественного оборудования [8]. Так, основными фирмами-поставщиками роботизированной техники для животноводства в России на октябрь 2016 года являлись зарубежные компании, такие как: BouMatic (США) – близка к банкротству; De Laval (Швеция) – доля рынка в России примерно 40 %, Fullwood (Великобритания) – доля рынка единицы процентов; GEA Farm Technologies GmbH (Германия) – данных о доле рынка нет; Insentec - Galaxy Starline (Нидерланды) – данных о доле рынка нет; Lely (Нидерланды)/ ООО Лейли РУС (Россия) – порядка 30 %, SAC (Дания), WestfaliaSurge GmbH (Германия) – порядка 1-2 %. [9].

Несмотря на возможные, в первое время, трудности с внедрением робототехники в 2017 году, группа компаний Cognitive Technologies (российский разработчик систем искусственного интеллекта для беспилотных транспортных средств) и Уральский федеральный университет (УрФУ) анонсировали запуск международной программы роботизации сельского хозяйства «Урал Когнитив Агро». Целью программы заявлено «существенное повышение эффективности ключевых показателей отечественных сельхозпредприятий за счет использования роботизированных систем и технологий искусственного интеллекта». Планируется, что экономический эффект данной программы, рассчитанной до 2022 года, составит не менее 20...30 миллиардов рублей за счет внедрения роботизированных производственных комплексов [10].

С 2016 года в России ряд предприятий занялись разработкой роботов для сельского хозяйства: Промтехника-Приволжье (ООО "Промтехника-Приволжье" / ЗАО "Дробмаш"), Нижегородская область, Выкса; ООО "Р.СЕРТ" [9].

Таким образом, разработка конкурентоспособных аналогов импортных роботизированных систем, применяемых в молочном производстве, а также разработка нового оборудования способствует не только устойчивому росту производства молочных продуктов для населения, но и является необходимым условием продовольственной безопасности.

Постановка проблемы исследования. В своей диссертационной работе Скворцов Е. отмечает, что по мнению руководителей и специалистов хозяйств основными причинами внедрения роботов в сельскохозяйственное производство являются «необходимость снижения влияния человеческого фактора на производство в условиях высоких кадровых рисков (46 % опрошенных) и снижения дефицита кадров на селе (18 %) [12].

Тем не менее внедрение роботизированных систем, в частности в молочное скотоводство следует проводить с учетом физиологии животного. Так, например, операции преддоильной подготовки вымени являются важной и неотъемлемой частью процесса машинного доения коров и должны выполняться за строго отведенное время.

При этом все доильные роботы имеют интегрированную систему преддоильной подготовки вымени: у Astronaut A4 Lely она включает вращающиеся горизонтальные щетки с системой разбрызгивания моющей жидкости; у VMS DeLaval она представляет собой стакан, в котором происходит омывание и стимуляция сосков моющей жидкостью.

Каждая из них имеет различные преимущества и недостатки. Объединяет все существующие конструкции систем преддоильной подготовки вымени одно – все они осуществляют обработку сосков по очереди. Это существенно увеличивает затраты времени на подготовительные операции, и тем самым нарушаются зоотехнические требования и снижается пропускная способность робота.

Цель исследования. Анализ затрат времени на выполнение преддоильной подготовки вымени доильным роботом VMS DeLaval и разработка требований к роботизированным системам преддоильной подготовки вымени.

Методика и результаты исследования. Изучение работы роботизированной системы преддоильной подготовки вымени проводилось на животноводческом комплексе предприятия ООО «Растениеводческое хозяйство Родина» Гаврилово-Посадского района – это единственное хозяйство в Ивановской области, использующее роботизированные системы машинного доения. В хозяйстве используются доильные роботы VMS DeLaval, которые, по данным портала RoboTrends.ru, являются наиболее распространенными в России и в мире [13].

Методика проведения исследования состояла в визуальном наблюдении за работой робота при проведении преддоильной подготовки вымени коров к доению с подсчетом количества попыток подключения моющего стакана (до успешной включительно) к каждому соску вымени и фиксацией продолжительности входа животного в станок робота и продолжительности, собственно, самой обработки сосков вымени моющим стаканом (от момента захвата манипулятором моющего стакана до момента снятия моющего стакана с последнего соска).

Для анализа результатов все данные наблюдений были сведены в таблицу 3 и определены их среднеарифметические показатели.

Таблица 3 – Результаты изучения работы системы преддоильной подготовки вымени коров доильных роботов VMS DeLaval в ООО «Растениеводческое хозяйство Родина»

Наименование показателя	Номер коровы в электронной системе учёта стада				Среднеарифметическое значение показателя
	221	604	115	n	
Продолжительность входа коровы в станок, с	7	7	7	...	7
Количество попыток подключения моющего стакана, с					
1 сосок	3	1	4	...	2,25
2 сосок	6	1	3	...	2,75
3 сосок	3	3	7	...	5,5
4 сосок	2	1	2	...	1,5
Продолжительность преддоильной подготовки вымени, с	95	121	103	...	105

Анализируя данные таблицы 3, можно сказать, что продолжительность преддоильной подготовки вымени в данном роботе не соответствует зоотехническим требованиям, превышая рекомендуемую [14, 15, 16], в среднем, более чем в полтора раза.

Подключение доильных стаканов осуществляется манипулятором также после неоднократных неудачных попыток. Всё это существенно увеличивает продолжительность нахождения коров в станке робота (за время исследований общее время, проведённое животным в станке, в некоторых случаях доходило до 15 минут) и снижает пропускную способность робота.

Большое количество неудачных попыток подключения стаканов – как моющего, так и доильных – обусловлено, на наш взгляд, неудовлетворительной работой системы позиционирования манипулятора: используемый в роботе принцип управления манипулятором обеспечивает только поочередное надевание моечного стакана, что и приводит к увеличению времени обработки сосков. Также применяемая система не может обеспечить возможности оперативно реагирования манипулятора на перемещения животного в процессе выполнения технологических операций. Отметим также, что изучен-

ная модель робота отличается тем, что камера с лазером находится непосредственно на манипуляторе и фактически оказываются в области агрессивной среды, что приводит к частому загрязнению оптических элементов и необходимости их очистки, что также увеличивает продолжительность обработки вымени и снижает пропускную способность доильного робота.

В основе требований к роботизированным системам преддоильной подготовки вымени должны лежать зоотехнические требования к системам машинного доения. Преддоильная подготовка вымени должна исключить попадание загрязнений с вымени в молоко при доении и вызвать полноценный рефлекс молокоотдачи у коровы. Для достижения этой цели важна не только тщательность и правильность проведения всех манипуляций с выменем, но и продолжительность преддоильной подготовки вымени.

Время от получения внешнего сигнала – раздражения окончаний нервных волокон (рецепторов) тканей вымени – до активного припуска молока составляет около 45 с. Именно за это время должны быть выполнены все подготовительные операции на вымени и включены в работу доильные стаканы, то есть надевание доильных стаканов с опозданием обуславливает

неполное выдаивание молока и способствует снижению продуктивности коров.

Таким образом, при использовании роботизированных систем преддоильной подготовки вымени необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- быстрое обнаружение системой позиционирования сосков вымени;
- быстрый и точный подвод рабочего органа (щёток с устройством подачи моющей жидкости) в рабочую область;
- достаточно полное удаление загрязнений с сосков, исключая попадание загрязнений в доильные стаканы;
- оптимальная и всегда одинаковая продолжительность стимуляции сосков для наступления рефлекса молокоотдачи;
- одинаково качественная обработка всех сосков вымени;
- согласованность работы установки преддоильной подготовки вымени и доильной установки для исключения несвоевременного (по-

спешного или с задержкой) надевания доильных стаканов;

- возможность интегрирования в уже используемые доильные залы;
- относительно простая конструкция и невысокая стоимость;
- удобство и простота управления и обслуживания, надёжность и долговечность в эксплуатации.

Одним из наиболее рациональных путей выполнения поставленных требований является использование роботизированной установки преддоильной подготовки вымени с оптической системой позиционирования рабочего органа, устанавливаемой на входе в доильный зал с конвейерно-кольцевой доильной установкой типа «Карусель» [17, 18].

Рабочий бокс I (рисунок 3) установки преддоильной подготовки вымени располагается между накопителем (преддоильной площадкой) II и вращающейся платформой III доильной установки.

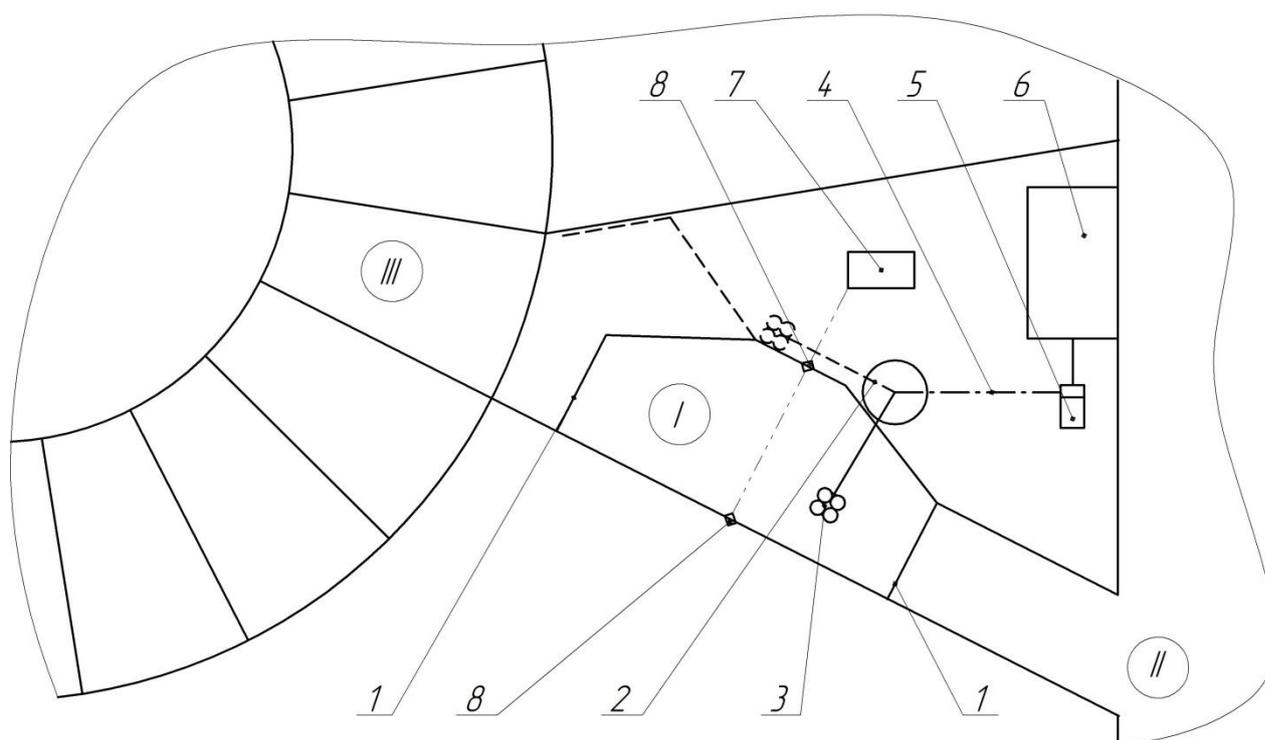


Рисунок 3 – Схема установки преддоильной обработки вымени

I – бокс; II – накопитель; III – платформа доильной установки; 1 – дверца; 2 – манипулятор; 3 – рабочий орган; 4 – трубопровод; 5 – насос; 6 – бак; 7 – ЭВМ; 8 – элемент фото-видеофиксации

Бокс снабжён входной и выходной дверцами 1. Электромеханический манипулятор 2 оснащён рабочим органом 3, вращающиеся щётки которого имеют полый вал с радиальными отверстиями для подачи моющей жидкости. Подача моющей жидкости осуществляется по гибкому трубопроводу 4 насосом 5 от бака 6. Управление приводами манипулятора, рабочего органа, насоса и дверец бокса осуществляется ЭВМ 7 с помощью элементов фото-видеофиксации 8.

При работе установки коровы поочерёдно заходят в бокс с преддоильной площадки через открывающуюся входную дверцу. После закрытия входной дверцы (когда корова остановилась в боксе) изображение с элементов фото-видеофиксации обрабатывается ЭВМ, которая генерирует команды управления электроприводами

дверец, насоса, манипулятора и рабочего органа. При этом включается насос, манипулятор подводит рабочий орган в рабочую зону (площадь контакта щёток с запасом в несколько сантиметров в каждую сторону перекрывает координаты всех четырёх сосков) – производится подмыв и массаж вымени. По окончании обработки вымени выключается насос, манипулятор с рабочим органом возвращаются в исходное положение и открывается выходная дверца бокса. После выхода из бокса корова входит в станок на вращающейся платформе доильной установки. После выхода коровы из бокса происходит одновременное закрытие входной дверцы и открытие входной – цикл повторяется.

Ориентировочная продолжительность операций преддоильной подготовки вымени сведена в таблицу 4.

Таблица 4 – Продолжительность составляющих операции преддоильной подготовки вымени

№ операции	Наименование операции	Продолжительность, с
1	Вход коровы в бокс	5
2	Обнаружение сосков и подведение манипулятором рабочего органа в рабочую зону	5
3	Подмыв и массаж вымени рабочим органом	15
4	Выход коровы из бокса	5
5	Вход коровы в станок на платформе «Карусели»	5
6	Обтирание вымени салфеткой	5
7	Сдаивание первых струек молока	5
8	Подключение доильных стаканов	5

Операции с 1 по 4 проходят в боксе и определяют пропускную способность установки преддоильной подготовки вымени: при их суммарной длительности 30 с пропускная способность составит до 120 коров/ч.

Продолжительность операций с 3 по 8 составляет время с момента первого касания вымени до начала доения: это время составляет 45 с – в строгом соответствии с зоотехническими требованиями.

Предложенная установка преддоильной подготовки вымени отвечает всем требованиям, сформулированным выше.

Использование оптического способа наведе-

ния позволит определить координаты всех четырёх сосков одновременно [19]. Быстрое обнаружение всех сосков одновременно, а также одновременная их обработка щёточным рабочим органом манипулятора существенно сокращают продолжительность подмыва и массажа вымени при качественном их проведении.

Благодаря тому, что роботизированная установка преддоильной подготовки вымени, работает в связке с человеком-оператором машинного доения в доильном зале в сравнении с доильными роботами появляются следующие преимущества:

– возможность контроля качества подмыва

вымени коров человеком-оператором и исправления «огрехов» робота (возможность удаления «пропущенных» роботом загрязнений салфеткой при вытирании вымени) и гарантированно исключение попадания загрязнений в молоко при доении;

– вытирание вымени человеком-оператором с использованием салфетки исключит попадание остатков моющей жидкости с тканей вымени (в том числе с оснований сосков) в доильные стаканы в сравнении с обсушиванием воздухом.

Заключение. Анализ выполнения преддоильной подготовки вымени доильными роботами VMS DeLaval в ООО «Растениеводческое хозяйство Родина» Гаврилово-Посадского района Ивановской области показал, что ее продолжительность не соответствует зоотехническим требованиям, превышая рекомендуемую, в среднем, более чем в 1,5 раза.

Доильный зал с роботизированной установкой преддоильной подготовки вымени более экономичен в сравнении с любым «конкурентом»:

– большая пропускная способность при меньших затратах труда в сравнении с базовыми доильными залами при ручном подмыве и массаже вымени операторами [21];

– существенно меньшая величина удельных (в расчёте на одну дойную корову) капиталовложений в доильный зал с роботизированной установкой преддоильной подготовки и меньшая величина эксплуатационных затрат в сравнении с оснащением коровников доильными роботами для крупных молочных комплексов с поголовьем дойного стада 600...1600 голов;

– существенно меньшая стоимость доильного зала с роботизированной установкой преддоильной подготовки на входе и меньшая величина эксплуатационных затрат по сравнению полностью роботизированной «Каруселью» (типа AMR DeLaval) и при этом большая пропускная способность за счёт того, что подмыв и массаж вымени коров осуществляются вне платформы [22].

Установка преддоильной подготовки вымени может быть и элементом полностью роботизированного доильного зала – в этом случае внутри платформы устанавливаются лишь манипуляторы для надевания доильных стаканов, а на выходе – манипулятор для обработки сосков

средством после доения.

Список используемой литературы

1. Молочная отрасль-2017. Справочник / А.С. Белов, А.А. Воронин, М.Э. Жебит и др. М.: Национальный союз производителей молока, 2017.

2. Джамбулат Хатуов: Минсельхоз России следит за развитием ситуации с ценами на рынке молока // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. URL: <http://mcx.ru/press-service/news/dzhambulat-khatuov-minselkhoz-rossii-sledit-za-razvitiem-situatsii-s-tsenami-na-rynke-moloka/> (дата обращения 12.03.2019).

3. Отчет члена Правительства Ивановской области – директора Департамента сельского хозяйства и продовольствия Ивановской области – Черкесова Дениса Леонидовича на заседании коллегии Департамента сельского хозяйства и продовольствия Ивановской области «Итоги развития агропромышленного комплекса Ивановской области в 2017 году, перспективы и планы развития» (25.04.2018 г.).

4. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (утв. приказом Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614). Доступ из информационно-правового портала «Гарант.ру».

5. Гуркина Л., Лебедева М., Иванов В. Производство молока в Ивановской области // Молочное и мясное скотоводство. 2009. № 6. С. 6-7.

6. Ключина С.В., Белова Т.В., Гусева О.В. Ивановская область в цифрах: Краткий статистический сборник. Иваново: Ивановостат, 2016.

7. Оленина Е. Робот в помощь. Животноводческая отрасль требует внедрения цифровых технологий // Вестник агропромышленного комплекса. 2018. № 1. С. 30-31.

8. Сравнительная оценка импортных и отечественных комплексов машин для молочных ферм // Техника и оборудование для села. 2015. № 6. С. 39-42.

9. Бойко А. Производители доильных роботов // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/proizvoditeli-doilnyh-robotov> (дата обращения 12.03.2019).

10. В России запускают проект по роботизации сельского хозяйства // Геополитика. Новости. Статьи. Аналитика. URL: <http://geopolitica.info/v-rossii-zapuskayut-proekt-po-robotizatsii-selskogo-khozyaystva.html> (дата обращения 12.03.2019).

12. Скворцов Е.А. Повышение эффективности роботизации сельского хозяйства: дисс... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2017.

13. Бойко А. Роботизированные доильные фермы в России // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/robotizirovannye-doilnye-fermy-v-rossii> (дата обращения 12.03.2019).

14. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978.

15. Алешкин В. Р., Рошин П. М.. Механизация животноводства / - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1993.

16. Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Технология и механизация молочного животноводства: Учебное пособие / Под общ. ред. Хазанова Е.Е. СПб.: Издательство «Лань», 2010.

17. Пат. RU 176985 A01J 7/04. Установка преддоильной подготовки вымени / Д.В. Барабанов, Н.Н. Сафонова, Н.В. Муханов и др. № 20171109989; Заявлено 24.03.2017. Опубл. 05.02.2018., Бюл. № 4.

18. Муханов Н.В., Крупин А.В., Барабанов Д.В., Сафонова Н.Н. Роботизированная установка преддоильной подготовки вымени // Аграрный вестник Верхневолжья. 2016. № 3 (12). С. 100-104.

19. Барабанов Д.В. Оптический способ наведения рабочего органа манипулятора роботизированной установки преддоильной подготовки вымени // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник науч. трудов. Ч. I. СПб., 2018. С. 318-322.

20 Пат. RU 185290 A01J 5/00, A01J 7/04. Устройство для позиционирования манипулятора роботизированных установок преддоильной подготовки вымени и доения / Д.В. Барабанов, Н.Н. Сафонова, Н.В. Муханов и др. № 2017130401; Заявлено 28.08.2017. Опубл. 29.11.2018., Бюл. №19.

21. Муханов Н.В., Крупин А.В., Барабанов Д.В., Сафонова Н.Н. Пути повышения производительности труда операторов доильных залов

// Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения», Ч. I. СПб., 2016. С. 419-424.

22. Сафонова Н.Н., Крупин А.В., Муханов Н.В., Барабанов Д.В. Резерв к увеличению пропускной способности доильных залов с конвейерно-кольцевыми доильными установками // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвящённой 100-летию Д.К. Беляева ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА. Иваново, 2017.

References

1. Belov A.S., Voronin A.A., Zhebit M.E. i dr. Molochnaya otrasl-2017. Spravochnik . М.: Natsionalnyy soyuz proizvoditeley moloka, 2017.

2. Dzhambulat Khatuov: Minselkhov Rossii sledit za razvitiem situatsii s tsenami na rynke moloka // Ministerstvo selskogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii. URL: <http://mcx.ru/press-service/news/dzhambulat-khatuov-minselkhov-rossii-sledit-za-razvitiem-situatsii-s-tsenami-na-rynke-moloka/> (data obrashcheniya 12.03.2019).

3. Otchet chlena Pravitelstva Ivanovskoy oblasti – direktora Departamenta selskogo khozyaystva i prodovolstviya Ivanovskoy oblasti – Cherkesova Denisa Leonidovicha na zasedanii kollegii Departamenta selskogo khozyaystva i prodovolstviya Ivanovskoy oblasti «Itogi razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Ivanovskoy oblasti v 2017 godu, perspektivy i plany razvitiya» (25.04.2018 g.).

4. Rekomendatsii po ratsionalnym normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvechayushchikh sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya (utv. prikazom Ministerstva zdравookhraneniya RF ot 19 avgusta 2016 g. № 614). Dostup iz informatsionno-pravovogo portala «Garant.ru».

5. Gurkina L., Lebedeva M., Ivanov V. Proizvodstvo moloka v Ivanovskoy oblasti // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2009. № 6. S. 6-7.

6. Klyuzina S.V., Belova T.V., Guseva O.V. Ivanovskaya oblast v tsifrah: Kratkiy statisticheskiy sbornik. Ivanovo: Ivanovostat, 2016.



7. Olenina Ye. Robot v pomoshch. Zhivotnovodcheskaya otrasl trebuets vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy / Vestnik agropromyshlennogo kompleksa. 2018. № 1. S. 30-31.
8. Tsoy Yu.A., Milman I.E., Baisheva R.A., Tanifa V.V., Alekseev A.A. Sravnitel'naya otsenka importnykh i otechestvennykh kompleksov mashin dlya molochnykh ferm // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015. № 6. S. 39-42.
9. Boyko A. Proizvoditeli doilnykh robotov // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/proizvoditeli-doilnyh-robotov> (data obrashcheniya 12.03.2019).
10. V Rossii zapuskayut proekt po robotizatsii selskogo khozyaystva // Geopolitika. Novosti. Stati. Analitika. URL: <http://geo-politica.info/v-rossii-zapuskayut-proekt-po-robotizatsii-selskogo-khozyaystva.html> (data obrashcheniya 12.03.2019).
12. Skvortsov Ye.A. Povyshenie effektivnosti robotizatsii selskogo khozyaystva: diss... kand. ekon. Nauk. Yekaterinburg, 2017.
13. Boyko A. Robotizirovannyye doilnye fermy v Rossii // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/robotizirovannyye-doilnye-fermy-v-rossii> (data obrashcheniya 12.03.2019).
14. Melnikov S.V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. L.: Kolos, 1978.
15. Mekhanizatsiya zhivotnovodstva / V. R. Aleshkin, P. M. Roshchin. - 2-e izd., pererab. i dop. M.: Kolos, 1993. 317 s.
16. Khazanov Ye.Ye., Gordeev V.V., Khazanov V.Ye. Tekhnologiya i mekhanizatsiya molochnogo zhivotnovodstva: Uchebnoe posobie / Pod obshch. red. Khazanova Ye.Ye. SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2010.
17. Pat. RU 176985 A01J 7/04. Ustanovka pred-doilnoy podgotovki vymeni / D.V. Barabanov, N.N. Safonova, N.V. Mukhanov i dr. № 2017109989; Zayavleno 24.03.2017. Opubl. 05.02.2018., Byul. № 4.
18. Mukhanov N.V., Krupin A.V., Barabanov D.V., Safonova N.N. Robotizirovannaya ustanovka preddoilnoy podgotovki vymeni // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2016. № 3 (12). S. 100-104.
19. Barabanov D.V. Opticheskiy sposob navedeniya rabocheho organa manipulyatora robotizirovannoy ustanovki preddoilnoy podgotovki vymeni // Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya: sbornik nauch. trudov. Ch. I. SPb., 2018. S. 318-322.
20. Pat. RU 185290 A01J 5/00, A01J 7/04. Ustroystvo dlya pozitsionirovaniya manipulyatora robotizirovannykh ustanovok preddoilnoy podgotovki vymeni i doeniya / D.V. Barabanov, N.N. Safonova, N.V. Mukhanov i dr. № 2017130401; Zayavleno 28.08.2017. Opubl. 29.11.2018., Byul. № 19.
21. Mukhanov N.V., Krupin A.V., Barabanov D.V., Safonova N.N. Puti povysheniya proizvoditelnosti truda operatorov doilnykh zalov // Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya: sbornik nauch. trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava «Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya», Ch. I. SPb., 2016. S. 419-424.
22. Safonova N.N., Krupin A.V., Mukhanov N.V., Barabanov D.V. Rezerv k uvelicheniyu propusknoy sposobnosti doilnykh zalov s konveyernokoltsevymi doilnymi ustanovkami // Agrarnaya nauka v usloviyakh modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu D.K. Belyaeva FGBOU Ivanovskaya GSKhA. Ivanovo, 2017.

НОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИЕЙ СУШКИ ЗЕРНА

Волхонов М.С., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Джаббаров И.А., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Смирнов И.А., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА

Во всем мире существует проблема определения окончания сушки зерна. Существующие выпускаемые серийно поточные влагомеры зерна имеют ряд недостатков - у них высокая стоимость, низкая точность измерения из-за использования емкостных датчиков, измеряющих сопротивление на поверхности зерновок, их трудно монтировать в сушилку. Для определения окончания процесса сушки разработан способ и создана система управления экспозицией сушки зерна без применения поточного влагомера. Способ основан на известной корреляции кривых изменения температуры и влажности зерна в процессе его сушки и предусматривает постоянный контроль температуры нагрева зерна по всей длине сушильной камеры. Измеренные значения температуры зерна с датчиков передаются в микроконтроллер с целью их периодической аппроксимации полиномом третьей степени и нахождения производной функции второго порядка. Микроконтроллер запрограммирован на определение критической точки второго порядка - местоположения зерна, имеющего кондиционную влажность. Полученный результат сопоставляется с максимальной длиной пути зерна по сушильной камере с целью последующего воздействия на производительность выпускного устройства. Полученные математические зависимости подтверждают имеющиеся в литературе сведения о кинетике сушки капиллярно-пористых коллоидных тел, имеют точки перегиба, при этом влажность зерна составляет 15-18 %. Доказано, что резкое возрастание температуры происходит по причине обезвоживания поверхности материала, когда его относительная влажность находится близко к кондиционной - 14 %. Рекомендуется сушку в целях исключения порчи зерна от перегрева прекращать, а оставшуюся влагу 1-2 % удалять при его охлаждении в охладителе, при этом сохраняется качество зерна и экономятся энергоресурсы за счет исключения недосушки или пересушки материала.

Ключевые слова: сушка зерна, экспозиция сушки, система управления экспозицией сушки.

Для цитирования: Волхонов М.С., Джаббаров И.А., Смирнов И.А. Новая система управления экспозицией сушки зерна // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 4 (29). С.112-119.

Введение. Сегодня во всем мире существует проблема для точного определения влажности зерна при его сушке как в потоке, так и на портативных устройствах. Проблема заключается как в точности определения, сложности конструкции, так и в цене устройства. Техническая реализация средств измерения влажности зерна в потоке с целью автоматизации управления экспозицией сушки зерна требует разработки прямых методов измерения, реализуемых автоматическими приборами - влагомерами.

Всем влагомерам присущи одинаковые недостатки, такие как высокая погрешность измерений, трудность установки в технологическую схему сушилки и высокая стоимость.

Высокие погрешности измерений вызваны особенностями процесса сушки.

Физико-механические свойства зернового вороха, поступающего на сушку, носят стохастический характер, сильно зависят от параметров окружающей среды, особенно в зонах

повышенного увлажнения. При эксплуатации сушилок, оснащенных кондуктометрическими или диэлькометрическими поточными влагомерами из-за погрешности их измерений на выходе из сушилки наблюдается разброс влажности зерен от 11 до 17 %, при кондиционной – 14 %. При пересушке зерна нерационально расходуется большое количество тепловой энергии – около 58,3 МДж на 1 % излишне испаренной влаги высушенной тонны зерна. При недосушке оператор вынужден осуществлять повторный пропуск зерна через сушилку, при этом значительно снижается ее производительность и повышается травмирование влажных зерновок от их излишнего взаимодействия с рабочими органами транспортеров и сушилки. Поэтому в настоящее время использование существующих поточных влагомеров в зерносушилках неизбежно приводит к снижению качества и повышению себестоимости готовой продукции.

Цель исследования – повышение эффективности сушки зерна в аэрожелобной сушилке.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи научного исследования:

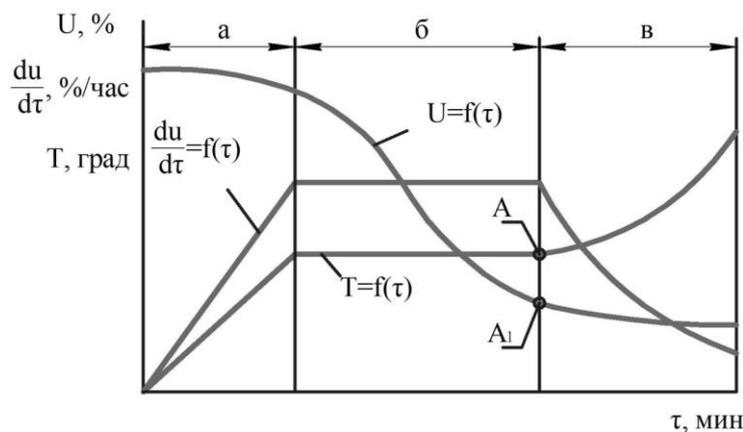
- разработать способ и алгоритм управления экспозицией высокотемпературной сушки зерна. Получить аналитические выражения для определения пути зерна по сушильной камере, пройдя который оно достигает кондиционной

влажности;

- разработать конструкцию устройства управления экспозицией высокотемпературной сушки зерна;

- провести экспериментальные исследования работы аэрожелобной сушилки, оснащенной разработанным устройством своевременного вывода зерна из сушильной камеры.

Условия, материалы и методы исследования. Для пояснения идеи рассмотрим кинетику протекания процесса сушки, свойственную влажным капиллярно-пористым коллоидным телам, к которым относится зерно, семена трав, масличных культур при их взаимодействии с воздухом [0]. Очевидно, что кривые сушки (рис. 1) коррелируются, что позволяет при анализе изменений характера одной кривой объективно судить об изменении других. Особый интерес представляет точка «А», которая является точкой перегиба, в этот момент происходит температурный скачок при переходе зерна из периода «постоянной скорости сушки» в период «насыщенной поверхности» – момент времени, в который необходимо завершить сушку. Предлагаем использовать эти закономерности для контроля и в управлении процессом изменения влажности материала по характеру изменения его температуры, который имеет яркие отличительные особенности в каждом периоде сушки [0].



U — влажность зерна, %;

T — температура зерна, град;

$\frac{du}{dt}$ — скорость сушки, %/час;

τ — длительность сушки, мин.

Рисунок 1 – Типичные кривые сушки капиллярно- пористых коллоидных материалов
а – период прогрева; **б** – период постоянной скорости сушки; **в** – период падающей скорости сушки; **А** – критическая точка температуры, **А₁** – критическая точка влажности



Способ управления экспозицией сушки зерна в высокотемпературных сушилках основан на одновременном контроле температуры нагрева материала по всей длине сушильной камеры, значения которой передаются в микроконтроллер. Влажность описывается функцией, зависящей от времени сушки зерна, причем данную зависимость возможно аппроксимировать на отдельных участках полиномом третьей степени. Применение аппарата математического анализа позволяет доказать применение данной функции. Полученные данные о местоположении зерна, имеющего кондиционную влажность, сопоставляются с максимальной длиной пути зерна по сушильной камере для последующего воздействия на выгрузное устройство. В результате способ обеспечивает необходимое время температурного воздействия агента сушки на зерно, повышение надежности, качества процесса сушки и снижение энергозатрат на сушку зерна.

Экспериментальная зависимость температуры зерна от времени сушки имеет вид кубического полинома. Для программирования микроконтроллера выведены аналитические выражения самой аппроксимирующей функции, её производных для определения точки перегиба. Для обеспечения необходимой точности определения момента вывода зерна из сушильной камеры производные и точку перегиба необходимо находить не реже одного раза в минуту в процессе сушки.

При моделировании процессов сушки зерна необходимо получить табличную функцию. Для этой табличной функции находится аппроксимирующая функция [0].

Пусть задана таблица:

X	X ₁	X ₂	...	X _n
Y	Y ₁	Y ₂	...	Y _n

Будем искать приближающую функцию в виде:

$$Y=F(X).$$

Эта функция $F(X)$ в точках $X_1, X_1 \dots X_n$ должна принимать значения как можно ближе к табличным значениям $Y_1, Y_1 \dots Y_n$.

Будем искать аппроксимирующую кубическую функцию в виде:

$$F(x, a, b, c) = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d. \quad (1)$$

Согласно методу наименьших квадратов запишем сумму квадратов разностей:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - F(x_i, a, b, c))^2 = \Phi(a, b, c, d). \quad (2)$$

Найдем производные от (1) по параметрам a, b, c, d :

$$\frac{\partial F}{\partial a} = x^3, \quad \frac{\partial F}{\partial b} = x^2, \quad \frac{\partial F}{\partial c} = x, \quad \frac{\partial F}{\partial d} = 1. \quad (3)$$

Для нахождения минимума отклонений $\Phi(a, b, c, d)$ приравняем к нулю производные и получим систему уравнений:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial c} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial d} = 0. \quad (4)$$

Из (4) с учетом (2) получим уравнения, преобразуем их и запишем в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} M1 & M2 & M3 & M4 \\ M2 & M3 & M4 & M6 \\ M3 & M4 & M6 & M8 \\ M4 & M6 & M8 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M5 \\ M7 \\ M9 \\ M10 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Обозначим:

$$M = \begin{bmatrix} M1 & M2 & M3 & M4 \\ M2 & M3 & M4 & M6 \\ M3 & M4 & M6 & M8 \\ M4 & M6 & M8 & 1 \end{bmatrix} \quad M_0 = \begin{bmatrix} M5 \\ M7 \\ M9 \\ M10 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Тогда из (5) с учетом (6) получим искомые коэффициенты a, b, c, d :

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot M_0. \quad (7)$$

Обозначим обратную матрицу:

$$P = M^{-1}. \quad (8)$$

После преобразований (8) получим элементы матрицы P, и матрица будет иметь вид:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

При этом определитель матрицы равен:

$$D = M^2 \cdot M^8 - M^2 \cdot M_6 + 2M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 - 2M_2 \cdot M_3 \cdot M_6 \cdot M_8 - 2 \cdot M_2 \cdot M_4^2 \cdot M_8 + 2M_2 \cdot M_4 \cdot M_6^2 - M_3^3 + 2M_3^2 \cdot M_4 \cdot M_8 + M_3^2 \cdot M_6^2 - 3M_3 \cdot M_4^2 \cdot M_6 + M_1 \cdot M_3 \cdot M_6 - M_1 \cdot M_3 \cdot M_8^2 + M_4^4 - M_1 \cdot M_4^2 + 2M_1 \cdot M_4 \cdot M_6 \cdot M_8 - M_1 \cdot M_6^3. \quad (10)$$

Тогда из (7) с учетом (8) и (9) получим коэффициенты аппроксимирующего кубического полинома (1):

$$\begin{aligned} a &= P_{11} \cdot M_5 + P_{12} \cdot M_7 + P_{13} \cdot M_9 + P_{14} \cdot M_{10} \\ b &= P_{21} \cdot M_5 + P_{22} \cdot M_7 + P_{23} \cdot M_9 + P_{24} \cdot M_{10} \\ c &= P_{31} \cdot M_5 + P_{32} \cdot M_7 + P_{33} \cdot M_9 + P_{34} \cdot M_{10} \end{aligned} \quad (11)$$

$$d = P_{41} \cdot M_5 + P_{42} \cdot M_7 + P_{43} \cdot M_9 + P_{44} \cdot M_{10}.$$

То есть кубический аппроксимирующий полином с учетом (11) примет вид:

$$PL(x) = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d. \quad (12)$$

Как указывалось, кубическая функция зависимости температуры зерна от времени сушки имеет точку перегиба. При достижении этой температуры, соответствующей точке перегиба, необходимо остановить процесс сушки и выгрузить зерно из сушилки. Таким образом, необходимо найти эту точку перегиба и соответствующие ей путь зерна и температуру зерна. Для этого используем условие, что в точке перегиба функции ее вторая производная равна нулю [0].

Найдем первую производную от (12).

$$PL' = 3 \cdot a \cdot x^2 + 2 \cdot b \cdot x + c. \quad (13)$$

Найдем вторую производную от (12).

$$PL'' = 6 \cdot a \cdot x + 2 \cdot b. \quad (14)$$

Приравняем вторую производную (14) к нулю и найдем время сушки зерна X_p , соответствующее точке перегиба.

$$X_p = -\frac{b}{3 \cdot a}. \quad (15)$$

Найдем значение температуры Y_p , соответствующее точке перегиба при X_p . Для этого подставим выражение (15) в (12) и сделаем преобразования. Тогда получим:

$$Y_p = a \cdot \left(\frac{-b}{3 \cdot a}\right)^3 + b \cdot \left(\frac{-b}{3 \cdot a}\right)^2 + c \cdot \left(\frac{-b}{3 \cdot a}\right) + d,$$

или:

$$Y_p = \frac{b \cdot (2 \cdot b^2 - 9 \cdot c \cdot a)}{27 \cdot a^2} + d. \quad (16)$$

Для того чтобы убедиться, что найденная точка (X_p , Y_p) является точкой перегиба, используем условие, при котором третья производная не должна равняться нулю.

Найдем третью производную от (12).

$$PL''' = 6 \cdot a. \quad (17)$$

Из (17) видно, что третья производная не равна нулю. Исключением является точка при $a=0$, когда кубическая функция превращается в квадратичную, и она имеет экстремум, а не точку перегиба. Таким образом, найденная точка (X_p , Y_p) точно является точкой перегиба.

Для того чтобы засечь точку перегиба, можно использовать другой подход. Пре переходе через точку перегиба у функции меняется знак второй производной [0]. Таким образом, если организованы измерения температуры зерна, то на каждом шаге «k» можно сравнивать знак второй производной (14) на данном шаге и на предыдущем шаге. Когда изменится знак второй производной, то произведение ее значений на «k» и на «k-1» шаге станет отрицательным. То есть необходимо контролировать произведение PR:

$$PR = PL''_{k-1} \cdot PL''_k. \quad (18)$$

Когда произведение PR станет меньше нуля, можно остановить процесс сушки – включить в работу выпускное устройство.

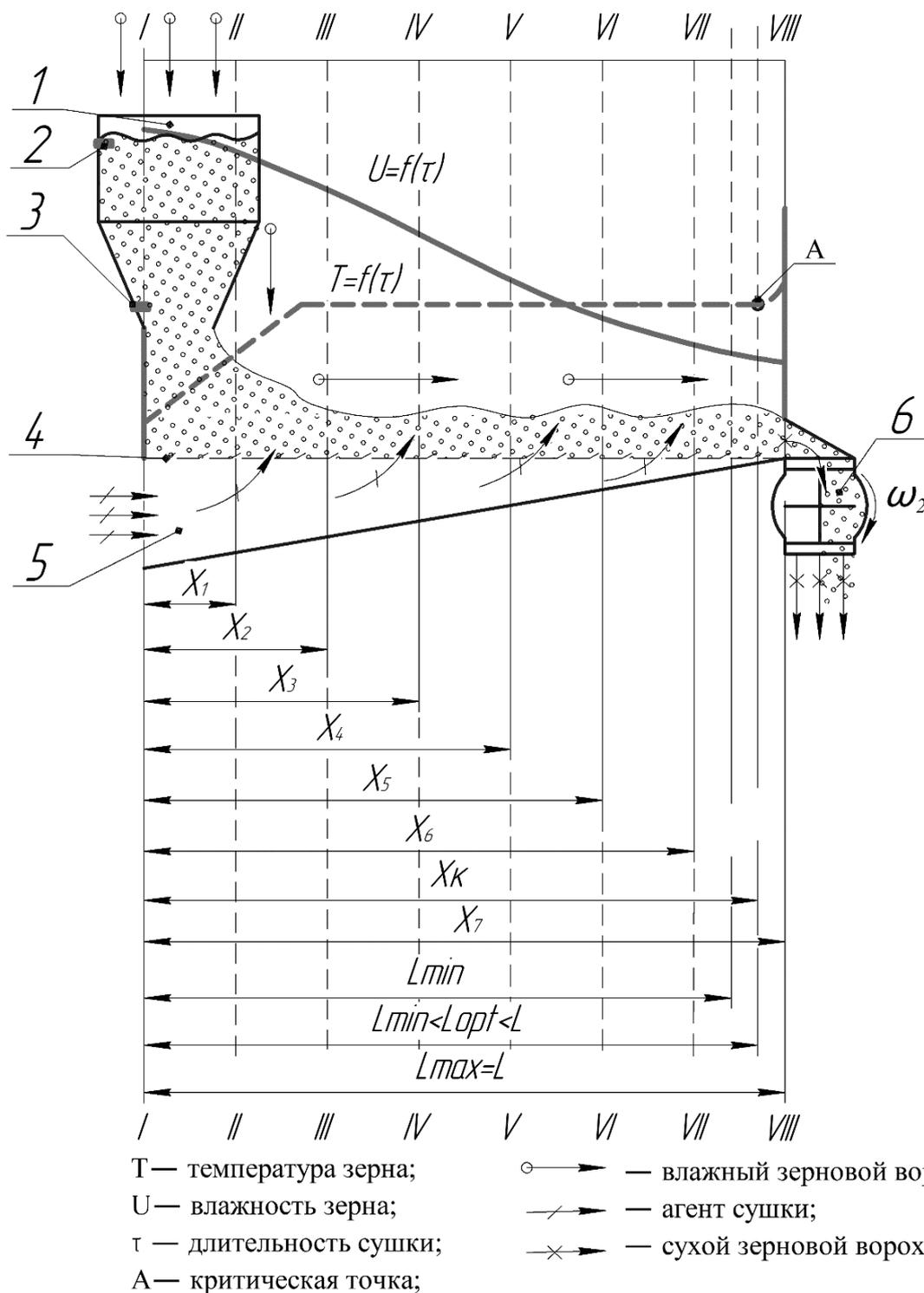


Рисунок 2 – Кинетика сушки зерна, схема работы сушильного короба и сечения, в которых установлены температурные датчики:

1 – надсушильный бункер; **2** – датчик верхнего уровня зерна; **3** – датчик нижнего уровня зерна; **4** – грузонесущая перфорированная перегородка; **5** – короб; **6** – дозатор выгрузки; $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ – путь зерна от начала сушильной камеры до сечений, в которых установлены температурные датчики; X_k – путь зерна от начала сушильной камеры до сечения, где зерно достигает кондиционной влажности [0]

Для реализации нового способа управления экспозицией сушки зерна разработано устройство, содержащее корпус с датчиком, соединенным с измерительной схемой индикаторного блока, микропроцессор и блок коррекции, обратные связи микропроцессора, связанные с приводом зерносушилки, дозатор и дисплей с блоком выбора контролируемой зерновой культуры, связанные с микропроцессором. Для работы системы используются пирометрические температурные датчики, следящие за изменением температуры зерна на пути зерна по сушильной камере, при этом дозатор регулирует скорость смещения зерна в сушильной камере по результатам измерения температуры [0]. Датчики расположены в местах с наименьшим влиянием агента сушки на зерно. При работе устройство автоматизации управления экспозицией сушки зерна отправляет измерительным датчикам команду на выполнение измерения (рис. 2). Через время, которое необходимо для преобразования температуры в цифровой код, пульт поочередно производит считывание с датчиков результатов измерения. Полученные данные подвергаются математической обработке, по результатам которой осуществляется управляющее воздействие на дозатор, который регулирует скорость смещения зерна в сушильной камере – время температурного воздействия агента сушки на зерно. Затем, через определенный интервал времени, процесс повторяется заново.

Алгоритм работы сушилки с разработанной системой управления экспозицией сушки зерна следующий. Для того чтобы сушилка (рис. 2) вышла на поточный режим, необходимо запустить теплогенератор и прогреть ее до рабочей температуры. Тогда температурные датчики будут показывать температуру решет, равной температуре агента сушки. Затем в сушилку загружается зерно через надсушильный бункер 1. По окончании загрузки, при заполненном

бункере, срабатывает датчик нижнего уровня зерна 3. При этом подается команда на включение в работу систему управления экспозицией сушки, которая с частотой 1–5 Гц опрашивает температурные датчики и работает по заданному алгоритму [0]. Агент сушки из внутреннего распределительного короба 2, проходя через перфорированную перегородку 3, воздействует на зерно и смещает его ровным слоем вдоль перфорированной перегородки в сторону дозатора 4, температурные датчики фиксируют температуру поступающего, непрогретого зерна. Зерно по мере сушки прогревается и по окончании периода прогрева его температура стабилизируется. При достижении зерном кондиционной влажности поверхность зерновок обезвоживается – происходит температурный скачок – в точке А, по причине отсутствия на поверхности зерновок влаги, их охлаждающей. Система управления экспозицией сушки зерна сравнивает данные о местоположении зерна, имеющего влажность близкую к кондиционной – его пройденный путь (расстояние до точки А) с длиной сушильной камеры. Если он меньше, чем L_{min} , то включается в работу дозатор выгрузки 6. Система автоматически подбирает частоту вращения ротора дозатора, для того чтобы путь зерна (до точки А) находился в диапазоне от L_{min} до L_{max} . При отсутствии точки перегиба дозатор выключается из работы.

Результаты исследования. Характер математических зависимостей, полученных в результате проведенных лабораторных исследований обработки экспериментальных данных высокотемпературной сушки зерна пшеницы [0], подтверждает имеющиеся в литературе сведения о кинетике сушки капиллярно-пористых коллоидных тел.

По полученным данным, представленным в таблице 2, и в результате расчета по алгоритму, представленному выше был получен график кубического полинома и найдена точка перегиба.

Таблица 2 – Зависимость температуры Y (градусы) от пути зерна по сушильной камере X (метры)

X	$X_0=0$	$X_1=0,143$	$X_2=0,268$	$X_3=0,429$	$X_4=0,596$	$X_5=0,739$	$X_6=0,882$	$X_7=1$
Y	40	60	70,5	80,5	80	88,5	92	93,5

Для подтверждения верности представленных математических выкладок построим аппроксимирующий кубический полином и найдем его точку перегиба для функции из таб-

лицы 2. Соответствующий график представлен на рисунке 3. На этом рисунке кривая $PL(x)$ соответствует кривой $T=f(\tau)$ на рисунке 1.

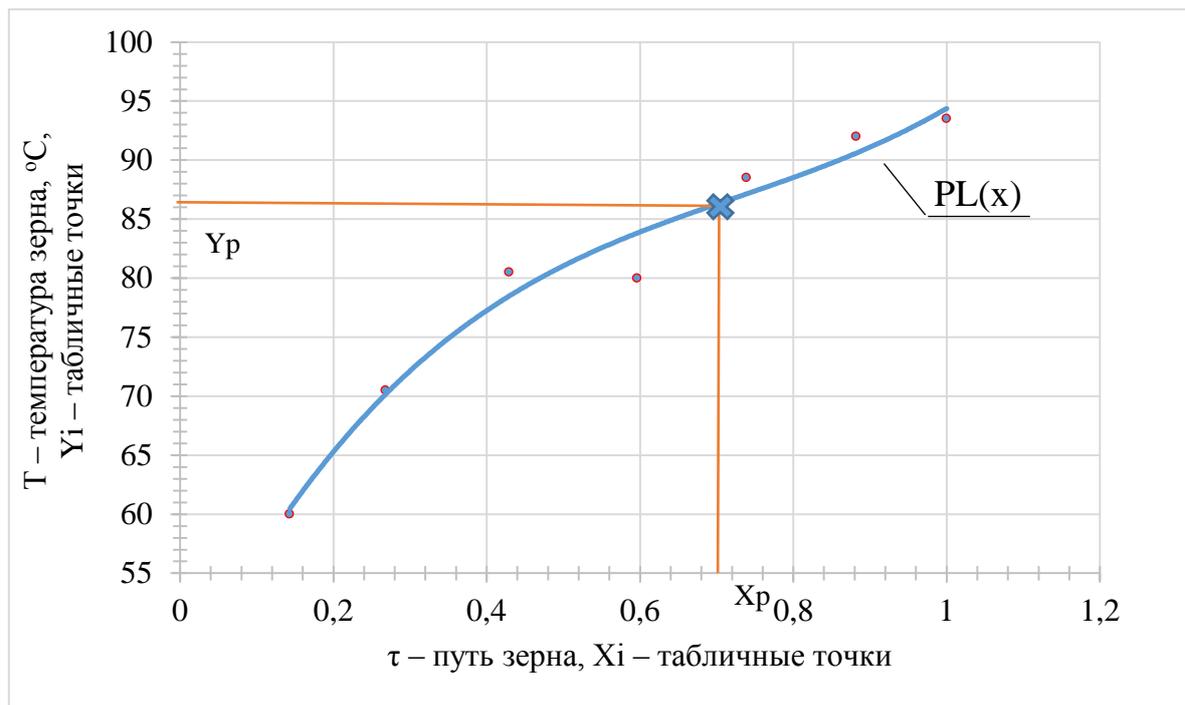


Рисунок 3 – Табличные значения X_i и Y_i , график кубического полинома $PL(x)$, точка перегиба X_p и Y_p

Из рисунка 3 видно, что найденный кубический полином хорошо аппроксимирует заданную табличную функцию и имеет точку перегиба при $X_p=0,702$ и $Y_p=86,139$ согласно выражениям (22), (23). При этом коэффициенты полинома (18), (19) равны: $a=90,051$, $b=-189,753$, $c=153,744$, $d=40,561$.

То есть в данном случае критическая точка А будет находиться на расстоянии $0,702$ длины камеры сушки, при этом температура зерна будет $86,1$ °С.

Полученные в ходе экспериментальных исследований зависимости температуры от времени сушки (рис. 1) имеют точки перегиба и хорошо аппроксимируются полиномом третьей степени [0]. Очевидно, что резкое возрастание температуры происходит по причине обезвоживания поверхности материала, его средняя относительная влажность находится близко к кондиционной и составляет – $15...16$ %. Поэтому зерно в начале интенсивного повышения его температуры необходимо выгружать из сушилки и доводить до кондиционной влажности при его охлаждении в охладителе.

Выводы. Разработан способ контроля и управления окончанием сушки капиллярно – пористых коллоидных материалов без использования поточных влагомеров, основанный

на законе изменения температуры зерна в процессе его сушки. Получены аналитические выражения для определения пути зерна по сушильной камере, пройдя который оно достигает кондиционной влажности. Разработан алгоритм расчета кубического аппроксимирующего полинома для моделирования процесса сушки зерна.

Разработано устройство управления экспозицией сушки зерна, содержащее корпус с датчиками, соединенными с измерительной схемой индикаторного блока, микропроцессор и блок коррекции, обратные связи микропроцессора, связанные с приводом зерносушилки, дозатор и дисплей с блоком выбора контролируемой зерновой культуры, связанные с микропроцессором. По результатам измерения температуры зерна пирометрическими датчиками дозатором регулируется скорость смещения зерна в сушильной камере.

Полученные экспериментальные зависимости температуры зерна от времени сушки в аэрожелобной сушилке имеют точки перегиба, при этом влажность материала в критических точках составляет $15-18$ %. Температурный скачок происходит по причине обезвоживания поверхности материала, когда его относительная влажность находится близко к кондиционной – 14 %. Сушку в целях исключения порчи

зерна от перегрева рекомендуется прекратить, а оставшуюся влагу 1-2 % снять при его охлаждении в охладителе, при этом сохраняется качество зерна и исключаются возможность перерасхода энергии от пересушки материала.

Список используемой литературы

1. Кленин Н.И., Киселев С.Н., Левшин А.Г. Сельскохозяйственные машины. М.: Колосс, 2008.
2. Волхонов М.С., Габалов С.Л., Джаббаров И.А., Волхонов В.М. Обоснование способа контроля и управления окончанием сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Выпуск 84. Карavaeво: Костромская ГСХА, 2016.
3. Волхонов М.С., Джаббаров И.А., Солдатов В.А., Смирнов И.А. Разработка способа управления экспозицией сушки зерна в высокотемпературных сушилках // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2018. Т.3. № 3 (93). С. 22-29.
4. Заварыгин В.М. Численные методы. М: Просвещение, 1991.
5. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М.: Издательство «Наука», 1967.
6. Пат. 2667250 Российская Федерация, МПК - F 26 B25/22. Способ автоматизации управления экспозицией сушки зерна в высокотемпературных сушилках и устройство для его осуществления / Волхонов М.С., Габалов С.Л.; Джаббаров И.А.; Полозов С.А.; Волхонов В.М.; заявитель и патентообладатель

ФГОУ ВПО Костромская ГСХА, опубл. 18.09.2018.

7. Иванов А. П. Аппроксимация функций. Санкт-Петербург, 2013.

References

1. Klenin N.I., Kiselev S.N., Levshin A.G. Selskokhozyaystvennyye mashiny. M.: Koloss, 2008.
2. Volkhonov M.S., Gabalov S.L., Dzhabbarov I.A., Volkhonov V.M. Obosnovanie sposoba kontrolya i upravleniya okonchaniem sushki kapillyarno-poristykh kolloidnykh materialov // Trudy Kostromskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. Vypusk 84. Karavaevo: Kostromskaya GSKhA, 2016.
3. Volkhonov M.S., Dzhabbarov I.A., Soldatov V.A., Smirnov I.A. Razrabotka sposoba upravleniya ekspozitsiy sushki zerna v vysokotemperaturnykh sushilkakh // Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. 2018. T.3. № 3 (93). S. 22-29.
4. Zavarygin, V.M. Chislennyye metody. M: Prosveshchenie, 1991.
5. Bronshteyn I. N., Semendyaev K. A. Spravochnik po matematike. M.: Izdatelstvo «Nauka», 1967.
6. Pat. 2667250 Rossiyskaya Federatsiya, MPK - F 26 B25/22. Sposob avtomatizatsii upravleniya ekspozitsiy sushki zerna v vysokotemperaturnykh sushilkakh i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya / Volkhonov M.S., Gabalov S.L.; Dzhabbarov I.A.; Polozov S.A.; Volkhonov V.M.; zayavitel i patentoobladatel FGOU VPO Kostromskaya GSKhA, opubl. 18.09.2018.
7. Ivanov A. P. Approksimatsiya funktsiy. Sankt-Peterburg 2013.