

**Вывод.** Анализ графиков распределения семян культурных растений и сорняков по скорости витания показал, что применение пневмосепаратора, выделяющего тяжелые примеси, позволит изо льна и клевера полностью выделить куколь, а также частично редьку дикую, мокрицу, плевел, пикульник и овсюг.

#### **Литература:**

1. Сорные растения: Агрономика [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://agronomic.ru/stati/nautchnye-osnovy-zemledeliya/sornye-rasteniya-87.html>. – Дата доступа: 4.09.2012.
2. Слезко Е.И., Менькова А.А. Влияние протеино-энергетического концентрата на мясную продуктивность цыплят-бройлеров кросса «СМЕНА-4» // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2012. – № 1 (34). - С. 117-118.
3. Кожуховский, И. Е. Механизация очистки и сушки зерна / И. Е. Кожуховский, Г. Т. Павловский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1968. – 439 с.
4. Козлов С.И. Результаты отсеивающих экспериментов по изучению процесса экспандирования / Козлов С.И., Кузюр В.М. // Конструирование, использование и надежность сельскохозяйственных машин: материалы науч.-практ. конф. / Брянский государственный аграрный университет. - Брянск, 2018. - №1(17). - С.38-44.

УДК 636.085.55+631.363.636

## **ПОИСКОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРОЦЕССА КОНСЕРВИРОВАНИЯ ЗЕРНА**

*к.т.н. Курзенков С.В.*

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Беларусь*

## **SEARCH EXPERIMENTS OF THE GRAIN CANNING PROCESS**

*Candidate of Engineering Sciences, Kurziankov S.V.*

*Belarusian state agricultural Academy, Belarus*

#### **Аннотация.**

В статье представлена методика поисковых экспериментов процесса консервирования зерна в установке предлагаемой конструкции, обоснованы границы варьирования конструктивных параметров оборудования и технологических параметров рассматриваемого процесса. На основании полученных результатов установлено, что границы варьирования факторов, оказывающих влияние на процесс консервирования зерна изменяются в следующем диапазоне величин: угловая скорость вала  $\omega \in [195; 320]$ ; безразмерный параметр, характеризующий соотношение высоты поднятия обечайки к её диаметру  $\delta_{об} \in [0,02; 0,04]$ ; безразмерный параметр, характеризующий соотношение радиуса частицы обрабатываемого материала к радиусу отверстия  $\nu \in [5,30; 6,70]$ ; безразмерный параметр, характеризующий отношение массы дебаланса к массе колеблющейся части рабочего органа  $\delta_M \in [0,0014; 0,0071]$ ; безразмерный параметр, характеризующий расположение дебаланса, относительно центра масс колеблющейся части системы  $\delta_d \in [1,41; 1,88]$ . Результаты работы будут

использованы при проведении многофакторного эксперимента для определения рациональных параметров процесса нанесения консервантов на поверхность зерна.

*Annotation.* The article presents a method search experiments of the process of preserving grain in the installation of the proposed design, grounded border, varying the design parameters of equipment and technological parameters of the process. Based on the results obtained, it was found that the limits of variation of factors that affect the process of grain canning vary in the following range of values: the angular speed of the shaft  $\omega \in [195; 320]$ ; a dimensionless parameter that characterizes the ratio of the height of the shell lifting to its diameter  $\delta_{\text{об}} \in [0,02; 0,04]$ ; dimensionless parameter describing the ratio of the particle radius of the processed material to the hole radius  $\nu \in [5,30; 6,70]$ ; dimensionless parameter describing the ratio of the mass of the debalance to the mass of the oscillating part of the working body  $\delta_M \in [0,0014; 0,0071]$ ; dimensionless parameter describing the location of the debalance relative to the center of mass of the oscillating part of the system  $\delta_d \in [1,41; 1,88]$ . The results will be used in a multi-factor experiment to determine the rational parameters of the process of applying preservatives to the grain surface.

**Ключевые слова:** поисковый эксперимент, конструктивные параметры оборудования, технологические параметры консервирования зерна.

**Keywords:** explorado-experiment, design parameters of equipment, technological parameters of grain preservation.

## Введение

Обработка фуражного зерна жидкими консервантами позволяет одновременно провести мероприятия по его обеззараживанию от патогенной микрофлоры и микотоксинов перед включением его в корма [1]. В связи с актуальностью данного вопроса для сельского хозяйства и комбикормовой промышленности Республики Беларусь сотрудниками сельскохозяйственной академии (г. Горки, Могилевской области) совместно с сотрудниками НПП “Белама плюс” (г. Орша, Витебской области) предложена установка, предназначенная для нанесения консервантов в виде растворов, эмульсий или суспензий на поверхность зерна. Подробное ее описание и принцип работы рассмотрены в источниках [2, 3]. Узлы и агрегаты этой установки позволяют произвести подачу, равномерное нанесение и смешивание потока зерна с жидким компонентом, за счёт реализованных в нём конструктивных особенностей [4, 5].

Данная статья посвящена исследованиям, направленным на выявление основных факторов изучаемого процесса и обоснование их границ варьирования.

## Результаты и их обсуждение.

На первом этапе трехстадийного отбора факторов, включаемых в модель,

производился априорный их анализ. При этом на факторы ограничений не накладывалось.

На основании априорной информации и теоретических исследований [5, 6, 7] к таким факторам были отнесены: угловая скорость вращения вала –  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ), высота поднятия обечайки –  $h_{об}$  (м), диаметр обечайки –  $D_{об}$  (м), эквивалентный радиус обрабатываемого материала –  $r_ч$  (м), радиус отверстий перфорированной поверхности –  $r_{отв}$  (м), масса дебаланса –  $m_д$  (кг), масса рабочего органа –  $M_{р.о.}$  (кг), расстояние расположения дебаланса по вертикали от центра масс –  $z_д$  (м), расстояние расположения дебаланса от вертикальной оси симметрии системы –  $x_д$  (м). В работе [6] была установлена методика расчета таких конструктивных параметров камеры смешивания, как коэффициент перфорации  $k_{пер}$  сепарирующей поверхности, ее ширина  $H_{перш}$  (м), радиус диска рабочего органа  $r_д$  (м). Поэтому при проведении экспериментов эти параметры не рассматривались нами в качестве объектов факторного пространства.

Основными результирующими факторами выступали: производительность установки –  $Q$  (кг/с) и коэффициент неравномерности обработки зерна рабочим раствором  $k_{н.о.}$ . Для проверки рабочей гипотезы о зависимости равномерности обработки зерна консервантом от его распределения по толщине кольцевого потока при постоянных параметрах капельного потока был выдвинут второстепенный показатель – коэффициент неравномерности распределения материала при просыпании его через перфорированную поверхность рабочего органа  $k_{нр.}$

Для целенаправленного и контролируемого проведения экспериментальных исследований и устранения незначимых факторов проводилось мысленное их осмысление. Цель этого этапа – уменьшение числа факторов, влияющих на результирующие, определение границ варьирования каждого из факторов.

Выбор верхней границы угловой скорости вращения вала  $\omega$  обосновывался из условия простоты и надёжности конструкции привода, т.е. привод не должен иметь промежуточных передач. Передача вращения от двигателя к валу

распылителя и дебаланса должна осуществляться напрямую. Верхняя граница угловой скорости вращения вала  $\omega$  была взята равной  $400 \text{ с}^{-1}$  исходя из тех соображений, что максимальная скорость вращения асинхронных двигателей равняется этой величине.

Надёжность конструкции предполагала исключение из технологического процесса режимов, которые могут повлиять на прочностные характеристики оборудования. Предварительные экспериментальные исследования показали, что увеличение  $\omega$  свыше  $400 \text{ с}^{-1}$  может привести к резонансным эффектам. Выбор нижней границы  $\omega=157,1 \text{ с}^{-1}$  обуславливался качеством работы – резким снижением пропускной способности оборудования. Поэтому рассматриваемый фактор при поисковых экспериментах варьировал в пределах от  $157,1 \text{ с}^{-1}$  до  $400 \text{ с}^{-1}$ .

Анализ теоретических исследований показал, что на пропускную способность питателя зернового материала оказывает влияние, как высота открытия обечайки, так и её диаметр. Причём одинаковую подачу при фиксированных режимах работы оборудования можно получить варьируя  $h_{об}$ , зафиксировав  $D_{об}$  или варьируя  $D_{об}$  зафиксировав  $h_{об}$ . Это означает, что подача зависит от соотношения этих двух параметров. Естественно, в технологическом процессе более целесообразно изменять  $h_{об}$ , при этом диаметр обечайки  $D_{об}$  выбирать так, чтобы обеспечить максимальную пропускную способность материала через пропускной узел [8]. На основании априорной информации и теоретических исследований было установлено, что диаметр обечайки может быть зафиксирован в пределах:

$$\sqrt{\frac{4Q_{\max}}{\lambda \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_m}}} \leq D_{об} \leq 2 \cdot \left( r_d - \frac{h_{об}}{\text{tg}(\varphi)} \right) \quad , \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент заполнения, определяемый опытным путём,

$h_m$  – высота материала над выпускным отверстием обечайки, м,

$\varphi$  – угол естественного откоса материала, рад,

$r_d$  – радиус диска распределительного устройства, м,

$Q_{\max}$  – максимальная подача, кг/с.

Как правило, величина этого параметра выбирается исходя из конструктивных особенностей оборудования. Таким образом, было установлена целесообразность использования в экспериментальных исследованиях безразмерного параметра  $\delta_{об} = h_{об}/D_{об}$ , характеризующего соотношение высоты поднятия обечайки к её диаметру. Диаметр обечайки в экспериментах был зафиксирован на уровне  $D_{об}=0,18$  м, а диаметр диска распределительного устройства на основании теоретических исследований рассмотренных в работах [6, 7] на уровне 0,25 м.

Максимальная величина параметра  $\delta_{об}$  определялась исходя из условия формирования максимального слоя, устойчивого нахождения его и удержания на диске распределительного устройства в состоянии покоя. Максимальная величина этого параметра при фиксированных диаметрах обечайки и диска составила  $\delta_{об}=0,222$ .

Наилучшие условия просеивания и равномерного распределения зерна по перфорированной поверхности рабочего органа обеспечиваются при определённых соотношениях размеров её отверстий и зернового материала [5, 9]. В источнике [9] рекомендуется объединить эти два параметра в единый безразмерный комплекс  $\nu = r_{отв}/r_{э.ч.}$ , характеризующий соотношение радиуса отверстия к эквивалентному радиусу частицы материала. Нижняя граница данного параметра  $\nu = 5,33$  была определена из предварительных экспериментов на основании стабильности и устойчивости технологического процесса сепарации зерна через отверстия решета и равномерности распределения его по поверхности рабочего органа. Верхняя граница  $\nu = 6,7$  характеризовала величину параметра, при котором сохранялась жёсткость конструкции.

Основной силой, побуждающей зерно к движению, является центробежная сила. Она возникает в результате вращения дебаланса с массой  $m$ . В процессе вращения дебаланса силы, действующие на рабочий орган, стремятся уравновесить друг друга. Поэтому, чтобы обеспечить колебания системы

необходимо выполнение следующего условия

$$m \cdot \omega^2 \cdot z_{\text{цм}} \cdot y_d \geq M \cdot g \cdot x_d, \quad (2)$$

где  $x_d$ ,  $z_{\text{цм}}$  – величины, характеризующие расположение точки подвески колеблющейся части системы соответственно от центра масс и дебаланса, м;

$y_d$  – величины, характеризующие расположения массы дебаланса от оси симметрии рабочего органа, м;

$M$  – масса рабочего органа, кг;

$m$  – масса дебаланса, кг.

Преобразовав данное выражение получим

$$\frac{m \cdot \omega^2 \cdot z_{\text{ц.м.}} \cdot y_d}{M \cdot g \cdot x_d} \geq 1. \quad (3)$$

Анализ данного выражения показывает, что от соотношения масс дебаланса и рабочего органа, а также соотношения расстояний от точки подвески до центров масс рабочего органа и дебаланса зависит динамика движения рабочего органа и динамика движения зернового материала на нем.

Учитывая однородность данных параметров, их взаимное влияние на показатель эффективности и отсутствие взаимосвязи между ними, выделим в соотношении (3) соответствующие безразмерные комплексы: 1)  $\delta_M = m/M$ , 2)  $\delta_d = z_{\text{цм}}/x_d$ . Образованные параметры будем рассматривать в качестве параметров подобия конструкции предлагаемой установки.

Поскольку в поисковых экспериментах изменять массу рабочего органа нецелесообразно и затруднительно, то для их проведения данный параметр был зафиксирован исходя из условий прочности конструкции при минимально возможной массе  $M = 14$  кг. Нижняя граница параметра  $\delta_M = 0,00143$  была определена исходя из массы дебаланса  $m = 0,02$  кг, при которой движения зернового материала под действием вибрации по горизонтальной поверхности протекает непрерывно и стабильно.

Анализ теоретических исследований [5, 6] и априорной информации [9] показывает, что амплитуда круговых колебаний подвижной части рабочего

органа, зависит от расположения его центра масс и дебаланса до точки подвески колеблющейся части системы, а также жесткости самих подвесок. Так как при изготовлении оборудования применялись стандартные кольцевые подвески, то в исследованиях данный параметр не рассматривали в качестве фактора. Исходя из конструкции рабочего органа, расстояние от центра масс до места подвески колеблющейся части системы было зафиксировано  $x_{цм}=0,085$  м, а расстояние от точки подвески колеблющейся части системы до дебаланса  $z_d$  в процессе исследований изменяли от 0,12 м, как минимально возможное расположение дебаланса на подвижном валу. В результате нижняя граница безразмерного параметра  $\delta_d$  равнялась 1,412.

Исходя из результатов приведенного анализа для проведения поисковых экспериментов был сформирован окончательный набор факторов и определены границы их варьирования таблица 1.

Таблица 1 - Порядок исследования, опорные границы и направления варьирования факторов

Порядок исследования	Факторы, размерность	Обозначения	Границы		Направление варьирования факторов
			(-)	(+)	
1.	Угловая скорость вращения вала, $c^{-1}$	$\omega$	157,1	400,0	↑
2.	Безразмерный параметр, характеризующий отношение высоты поднятия обечайки к её диаметру	$\delta_o$	–	0,22	↓
3.	Безразмерный параметр, характеризующий отношение радиуса частицы обрабатываемого материала к радиусу отверстия	$\nu$	5,33	6,7	↑
4.	Безразмерный параметр, характеризующий отношение массы дебаланса к массе колеблющейся части рабочего органа	$\delta$	0,00	–	↑
5.	Безразмерный параметр, характеризующий положение дебаланса, относительно центра масс колеблющейся части системы	$\delta_d$	1,41	–	↑

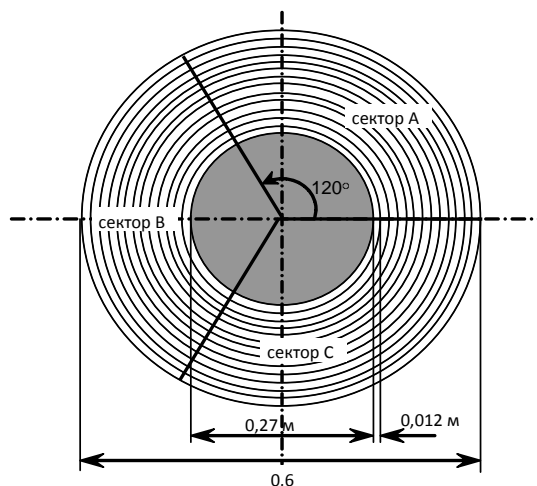


Рисунок 1 - Мерный поддон

С целью определения степени влияния основных факторов, подтверждения и уточнения установленных ограничений, были проведены однофакторные поисковые эксперименты. Объектами исследования служили параметры табл. 1, а предметом – лабораторная установка с предлагаемым модулем дозирования-смешивания. Лабораторная установка повторяла конструкцию модуля дозирования-смешивания с диаметром камеры смешивания 0,6 м (выбор обусловлен характеристиками проникновения капельного потока в плотном слое), с фиксированным диаметром обечайки 0,18 м и диаметром диска распределительного устройства 0,25 м (параметры были зафиксированы на основании теоретических исследований рассмотренных в работах [6, 7]). При варьировании факторов, на основании технологической схемы, зерновой материал в течение времени  $\tau$  (время сбора материала определялось исходя из активности сепарации) собирался в мерный ячеистый поддон, разбитый на сектора, ограничивающиеся дугой  $120^\circ$  (рисунок 1). Ячейки мерного поддона были выполнены в виде состыкованных кольцевых секций шириной 0,012 м высотой 0,2 м и пронумерованных цифрами 1-13 начиная с центра. После проведения опыта накопленный материал взвешивался отдельно по кольцевым секциям каждого из секторов и производился статистический анализ результатов. В журнал фиксировалась пропускная способность оборудования на

заданном режиме работы. Сравнение результатов опытов производилось путём перехода к единой размерности кг/с.

Опыты проводились на ячмене в 3 кратном повторении. Обсуждались только те результаты, которые были воспроизводимы в каждом опыте. Конструкция лабораторной установки позволяла реализовать намеченную программу исследований и обеспечить варьирование факторов в установленных пределах.

В качестве критериев оценки исследований использовали показатели пропускной способности установки  $Q_3$  и коэффициент неравномерности распределения материала при просыпании его через перфорированную поверхность рабочего органа  $k_{нр}$ .

На предварительных этапах экспериментов была выбрана опорная точка  $\omega=314,2 \text{ с}^{-1}$ ,  $h_{об}=0,04 \text{ м}$ ,  $r_{отв}=0,008 \text{ м}$ ,  $m=0,08 \text{ кг}$ ,  $z_d=0,12 \text{ м}$  изменения регулируемых параметров, оказывающих влияние на технологический процесс нанесения консерванта на зерно. Схема поисковых исследований подразумевала поэтапное варьирование одного из факторов при фиксированных параметрах остальных на уровнях опорной точки.

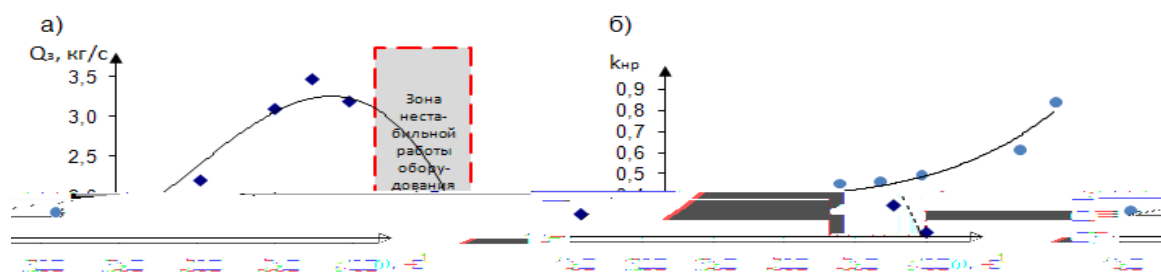


Рисунок 2 -Графики зависимостей пропускной способности оборудования (а) и неравномерности распределения (б) от изменения угловой скорости вращения вала.

Опыты показали (рис 2, а), что увеличение пропускной способности оборудования с 1,67 кг/с до 3,33 кг/с происходит с увеличением угловой скорости вращения вала от 157,1  $\text{с}^{-1}$  до 293,2  $\text{с}^{-1}$ . Дальнейшее увеличение угловой скорости с 293,2  $\text{с}^{-1}$  до 320  $\text{с}^{-1}$  не приводит к значительному повышению подачи,

а её изменение с  $330 \text{ с}^{-1}$  и выше вызывает неустойчивую работу системы и возникновение резонансных эффектов.

Объясняется это тем, что при увеличении угловой скорости свыше  $290 \text{ с}^{-1}$  происходит резкое увеличение горизонтальной составляющей амплитуды  $\alpha_{гор}$  колебательного движения подвижной части системы, при практически неизменной вертикальной составляющей  $\alpha_в$ . В свою очередь, это вызывает уменьшение фиктивной площади отверстий сепарирующей поверхности рабочего органа и замедление просеивания. При этом зерновой материал начинает накапливаться на решетке, что может привести к его завалам или нарушению прочностных характеристик рабочего органа. Такие явления наблюдались на предварительных этапах исследования с увеличением угловой скорости свыше  $320 \text{ с}^{-1}$ .

Было установлено, что увеличение угловой скорости вращения вала от  $157$  до  $400 \text{ с}^{-1}$  приводит к возрастанию неравномерности распределения зернового материала с  $32 \%$  до  $84 \%$  при прохождении его через перфорированную поверхность рабочего органа (рисунок 2, б).

В результате поискового эксперимента выявлено, что подача материала увеличивается в пределах от  $0$  до  $3,33 \text{ кг/с}$  при поднятии обечайки дозатора до  $0,04 \text{ м}$ . (рисунок 3, а). Дальнейшее увеличение высоты поднятия обечайки не приводило к увеличению подачи. Основная причина – полное заполнение зерном решетной поверхности.

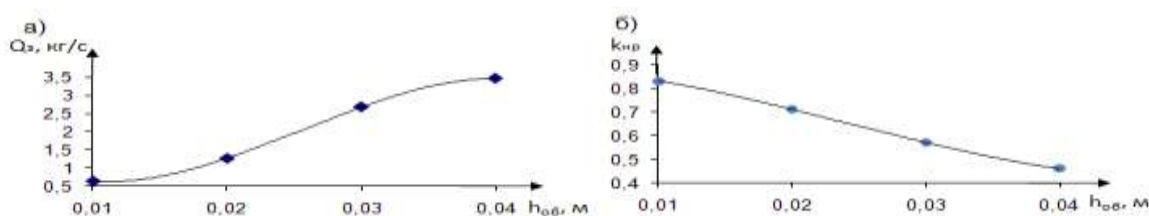


Рисунок 3 - Графики зависимостей пропускной способности оборудования (а) и неравномерности распределения (б) от изменения высоты поднятия обечайки

Опыты показали, что изменение высоты поднятия обечайки дозатора

зернового материала в пределах от 0,01 до 0,04 м. существенно влияет на равномерность прохождения материала через перфорированную поверхность рабочего органа. При поднятии обечайки наблюдалось выравнивание распределения зернового материала (рисунок 3, б), т.е. неравномерность уменьшалась на 37 %.

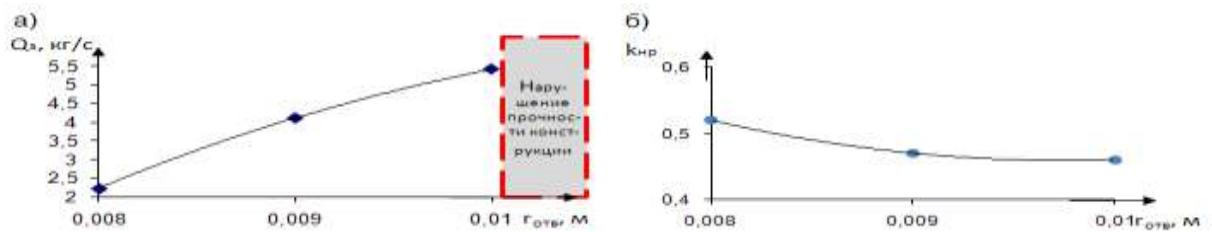


Рисунок 4 - Графики зависимостей пропускной способности оборудования (а) и неравномерности распределения (б) от изменения радиуса отверстий перфорированной поверхности рабочего органа

Анализ зависимостей пропускной способности оборудования и неравномерности распределения материала при прохождении перфорированной поверхности рабочего органа от изменения радиуса отверстий этой поверхности показал, что увеличение радиуса отверстий в пределах от 0,008 до 0,01 м. приводит к существенным увеличениям пропускной способности рассматриваемого оборудования от 2,23 до 5,43 кг/с (рисунок 4, а) и практически не влияет на равномерность распределения материала при прохождении его распределительной поверхности ( $k_{нр}$  изменяется от 0,52 до 0,46) (рисунок 4, б).

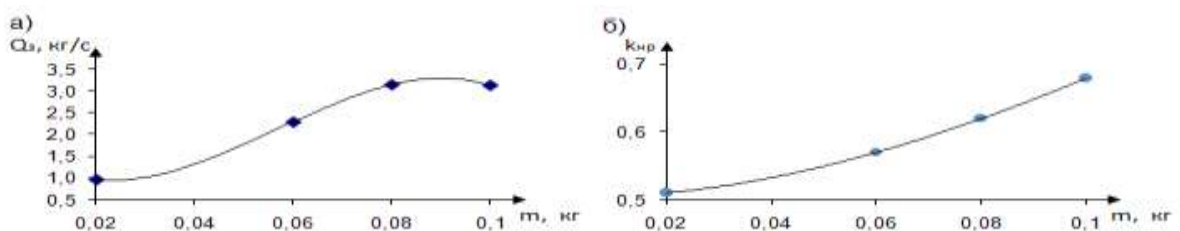


Рисунок 5 - Графики зависимостей пропускной способности оборудования (а) и неравномерности распределения (б) от изменения массы дебаланса

Дальнейшее увеличение радиуса отверстий решета приводило к нарушению прочностных характеристик рабочего органа находящейся под

вибрацией и выхода его из строя.

Эксперименты по варьированию массы дебаланса (рисунок 5) выявили, что пропускная способность оборудования увеличивается от 0,96 до 3,14 кг/с при изменении массы дебаланса от 0,02 до 0,08 кг. Дальнейшее увеличение этого параметра приводило к стабилизации пропускной способности, а в некоторых случаях и её снижению. Данные опыты показали, что с увеличением массы дебаланса возрастает неравномерность распределения материала при прохождении его через перфорированную поверхность распределительного устройства. При увеличении массы дебаланса свыше 0,1 кг наблюдались нежелательные эффекты, связанные с нарушением прочности конструкции и вызванные резонансными явлениями.

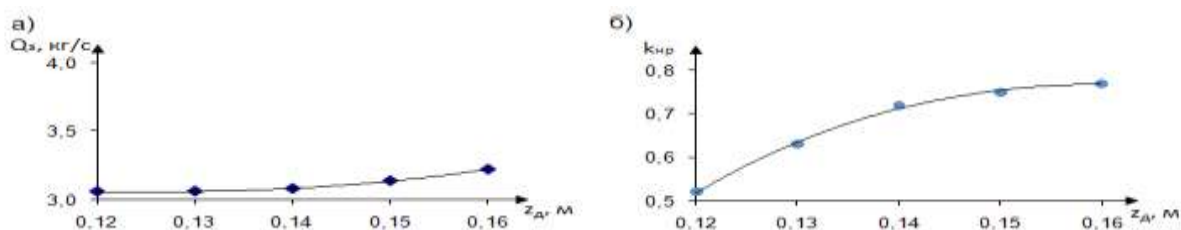


Рисунок 6 - Графики зависимостей пропускной способности оборудования (а) и неравномерности распределения (б) от изменения величины, характеризующей расположение точки подвески колеблющейся части системы от дебаланса

Графики зависимостей пропускной способности оборудования (рисунок 6, а) и неравномерности распределения (рисунок 6, б) от изменения величины, характеризующей расположение точки подвески колеблющейся части системы от дебаланса показали, что данный параметр не существенно влияет на пропускную способность оборудования, однако, значим для распределения зернового материала в камере смешивания. Так при изменении величины  $z_d$  от 0,12 до 0,16 м пропускная способность оборудования увеличилась лишь на 5,3 %, тогда как изменение неравномерности распределения материала в камере смешивания составило 25%, причём в сторону её увеличения.

## **Заключение.**

Обобщив результаты исследований, был сделан вывод, что границы варьирования факторов, оказывающих влияние на процесс консервирования зерна в предлагаемом оборудовании, изменяются в следующем диапазоне:

- угловая скорость вала  $\omega \in [195; 320]$ ;
- безразмерный параметр, характеризующий соотношение высоты поднятия обечайки к её диаметру  $\delta_{об} \in [0,02; 0,04]$ ;
- безразмерный параметр, характеризующий соотношение радиуса частицы обрабатываемого материала к радиусу отверстия  $v \in [5,30; 6,70]$ ;
- безразмерный параметр, характеризующий отношение массы дебаланса к массе колеблющейся части рабочего органа  $\delta_M \in [0,0014; 0,0071]$ ;
- безразмерный параметр, характеризующий расположение дебаланса, относительно центра масс колеблющейся части системы  $\delta_d \in [1,41; 1,88]$ .

Результаты работы будут использованы при проведении многофакторного эксперимента для определения рациональных параметров процесса нанесения консервантов на поверхность зерна.

## **Литература:**

1. Яковлева С.Е., Кривопушкин В.В., Гапонова В.Е., Рябичева А.Е. Разведение с основами частной зоотехнии // Методическое пособие по прохождению учебной практики по разведению с основами частной зоотехнии. - Брянск, 2013. – 50 с.
2. Шаршунов В.А., Червяков А.В. Курзенков С.В. Состояние и тенденции применения новых ресурсосберегающих технологий при производстве комбикормов/ В.А. Шаршунов и др. - М.: Девятка Принт, 2004. – 136 с.
3. Червяков А.В. Повышение эффективности хранения фуражного зерна при производстве комбикормов/ А.В. Червяков. Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: материалы науч.-практ. конф., г. Горки, 15 сентября 2006 г. – Горки: БГСХА, 2007. – С. 126-134.
4. Червяков А.В., Курзенков С.В., Иващенко Л.М. Результаты испытаний установок консервирования зерна УКЗ – 20 и УКЗ – 50. /А.В. Червяков, С.В. Курзенков, Л.М. Иващенко // Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: материалы науч. – практ. конф., г. Горки, 15 сентября 2006 г. – Горки: БГСХА, 2007. – С. 152-156.
5. Червяков А.В., Курзенков С.В., Козлов С.И. Теоретические исследования динамики движения точки распределительного устройства питателя-дозатора оборудования для внесения консервантов/ А.В. Червяков, С.В. Курзенков, С.И. Козлов // Вестник БГСХА. – № 2.– Горки: БГСХА, 2007. – С. 132-138.
6. Шаршунов В.А., Червяков А.В. Курзенков С.В. Изучение параметров потока сыпучего материала в камере смешивания установки консервирования зерна / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.В. Курзенков // Известия НАН Беларуси. Серия аграрных наук. –

№ 4. – Минск: Белорус. наука, 2008. С. 94-102.

7. Шаршунов В.А., Червяков А.В. Курзенков С.В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа оборудования для внесения консервантов в поток зернового материала / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.В. Курзенков // Вестник МГУП. – № 1(4). – Могилёв: МГУП, 2008. – С. 74-81.

8. Козлов С.И. Результаты отсеивающих экспериментов по изучению процесса экспандирования / Козлов С.И., Кузюр В.М. // Конструирование, использование и надежность сельскохозяйственных машин: материалы науч.-практ. конф. / Брянский государственный аграрный университет. - Брянск, 2018. – №1(17). – С.38-44.

УДК 621.867.2

## **КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ НАСЫПНОГО ГРУЗА В ПРОЦЕССЕ СВРАЧИВАНИЯ ЛЕНТЫ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА В ТРУБУ**

*к.т.н. Дьяченко А.В., к.с.-х.н. Орехова Г.В.*

*Брянский государственный аграрный университет, Россия*

## **KINEMATICS OF MULTI-LOAD MOVEMENT DURING THE TUBING OF A TUBULAR CONVEYOR TO A PIPE**

*candidate of technical Sciences Dyachenko A.V., candidate of agricultural Sciences Orehova G.V.*

*Bryansk State Agrarian University, Russia*

**Аннотация.** В статье рассмотрена кинематика движения насыпного груза в процессе сворачивания ленты трубчатого конвейера в трубу. Сделаны выводы, что траектории главных напряжений имеют волнистый, знакопеременный характер. Каждую из них можно однозначно охарактеризовать исходной точкой на поверхности ленты. А также, что каждая из траекторий главных напряжений пересекается на определенной высоте с вертикальной осью. Для нахождения этой высоты можно использовать уравнение траектории главных напряжений в полярных координатах. Выведены формулы для определения уровня груза на различных этапах процесса сворачивания ленты в трубу.

**Annotation.** The article discusses the kinematics of the movement of bulk cargo in the process of folding the tape of the tubular conveyor into the pipe. It is concluded that the trajectories of the main stresses have a wavy, alternating character. Each of them can be unambiguously characterized by a starting point on the surface of the tape. And also, that each of the trajectories of the main stresses intersects at a certain height with a vertical axis. To find this height, you can use the equation of the trajectory of the main stresses in polar coordinates. Formulas for determining the level of cargo at various stages of the process of folding the tape into the pipe are derived.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, трубчатый конвейер, конвейерная лента, напряженно-деформированное состояние, насыпной груз.

**Key words:** belt conveyor, pipe conveyor, conveyor belt, stress-strain state, bulk cargo.

### **Введение**

Ленточные конвейеры (транспортёры) получили широкое распространение в агропромышленном комплексе и дорожном строительстве для транспортировки сыпучих, порошкообразных, мелко- и среднекусковых, а также