**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

Марченко А. Ю.

Серга Г. В.

*Кубанский
государственный
аграрный
университет***УДК 631.363.286****РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШИВАНИЯ
КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ В
ВИНТОВЫХ БАРАБАНАХ**

Представлено обоснование использования винтовых барабанов в качестве рабочих органов оборудования для смешивания компонентов кормов.

The ground of the use of spiral drums is presented as workings organs of equipment for mixing of components of forages.

Многокомпонентность и разнообразие компонентов кормов, высокие требования к их качеству, обуславливают трудности выбора эффективного технологического процесса и оборудования. Поэтому создание условий для интенсификации процессов смешивания компонентов кормов, применение эффективных методов воздействия на частицы компонентов кормов, непрерывная реализация технологического движения и ликвидация непроизводительного труда, т.е. создание ресурсосберегающих технологий смешивания компонентов кормов являются одной из важных задач развития и совершенствования технологических процессов и машин в кормопроизводстве. Работы по созданию таких технологических процессов и оборудования важны и актуальны. Многолетний опыт использования разработок Блехмана И.И., Богомягих И.О., Калашникова А.П., Аблаутова В.М., Евдокимова И.К. Евсенкова С.В., Ермачкова А.М., Завраненова А.И., Ивановой А.П., Коваленко В.П., Кукты Г.М., Кулаковского И.В., Кулешова Н.И., Кузьмичева В.А., Ковтуна В.Ф., Керимова С.Ф., Новобранцева Ф.К., Новобратского В.Л., Острикова А.Н., Пасько А.А., Полякова Ю.С., Пушко В.А., Сухарева А.М., Уланова И.А., Федоренко И.Я., Финкельштейна А.Ш. и многих других ученых позволил создать условия для решения этой проблемы. Однако в современный период рыночных отношений многие операции смешивания компонентов кормов стали серьезным препятствием в создании непрерывных технологических процессов их приготовления.

Такая задача может быть решена внедрением прогрессивного технологического

процесса и комплекта оборудования для его осуществления на базе новых конструкций рабочих органов, позволяющих осуществлять смешивание компонентов кормов непрерывным потоком в процессе их транспортирования. Возможность совмещения транспортных и технологических функций в одной установке реализуется за счет использования рабочих органов с дискретно расположенными по периметру, разнонаправленными по отношению к винтовым линиям плоскими элементами. Такие рабочие органы названы нами винтовыми барабанами. Уникальные возможности винтовых барабанов позволяют осуществлять в условиях сельскохозяйственного производства не только смешивание компонентов кормов, но и транспортировку сыпучих материалов, дражирование семян, обработку семян жидкими препаратами, сепарацию семян по размерам, сушку, измельчение, очистку и мойку корнеклубнеплодов и ряд других процессов с использованием низкочастотных колебаний с большой амплитудой. С учетом вышеизложенного очевидна актуальность и перспективность решения проблемы, которой посвящено настоящее исследование.

На предприятиях нашей страны и за рубежом для смешивания компонентов кормов наиболее широкое распространение получили различные барабанные устройства (рис.1). Однако низкая интенсивность протекающих процессов и локализация его в ограниченной зоне приводит к большой длительности реализации технологического процесса смешивания компонентов кормов.

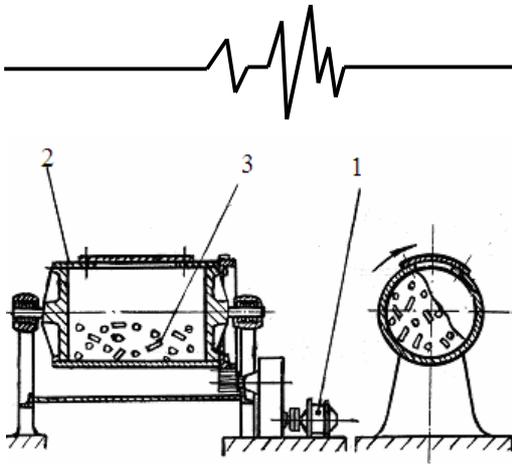


Рис. 1. Барабанное устройство для смешивания компонентов кормов (1 - привод, 2- барабан, 3- компоненты кормов)

смешивания и поэтому выполнение этих технологических операций в барабанных устройствах малоэффективно. Поэтому постоянно ведется инженерный и научный поиск совершенствования технологий смешивания компонентов кормов, разработка новых машин и принципов работы, обеспечивающих повышения их эффективности и производительности.

Так как вибрация – наиболее распространенный вид механического воздействия на компоненты кормов, обеспечивающий быстрое протекание технологических процессов, то одним из прогрессивных видов техники для приготовления кормов являются вибрационные машины (рис.2). Такие машины не только обеспечивают более высокую удельную производительность при относительно низких энергозатрат, имеют значительно меньшие габариты по сравнению с барабанными устройствами, но и обладают определенными преимуществами.

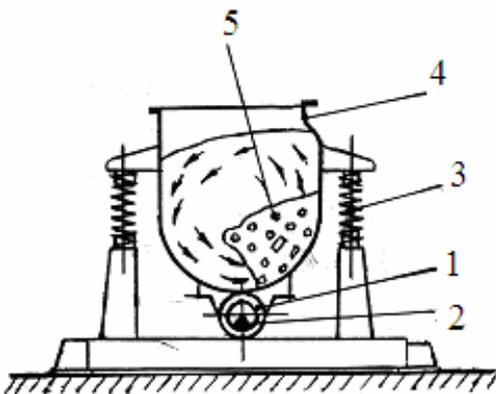
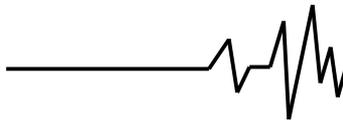


Рис. 2. Вибрационная машина для смешивания компонентов кормов (1-привод, 2- вибroadтиватор, 3- упругие связи, 3-контейнер, 4-компоненты кормов)

Это, прежде всего, конструктивная простота вибрационных машин, основными узлами которых (рис.3) являются двигатель 1, совершающий вращательное движение, вибroadтиватор 2, преобразующий вращательное движение двигателя в колебательное движение. Эти колебания посредством упругих связей 3 передаются рабочему органу 4, который в свою очередь своими стенками или дном сообщают колебательные движения частицам компонентов кормов.

Однако так как масса рабочих органов вместе с массами частиц компонентов кормов составляют достаточно большую величину, то при увеличении амплитуд колебаний происходит разрушение системы упругих связей и поэтому современные вибрационные машины работают в диапазоне амплитуд перемещений от 3мм до 10 мм. Можно предположить, что увеличение амплитуды колебаний позволит повысить интенсивность вибрационных процессов приготовления кормов. Поэтому с точки зрения ресурсосбережения, оптимальной схемой вибрационных машин являются машины без традиционных вибroadтиваторов, позволяющих выполнять технологические процессы смешивания компонентов кормов с большой амплитудой колебаний. Решение проблемы следует искать в нестандартных решениях, поиске оригинальных конструкций машин и технологий, обеспечивающих без вибroadтиваторов существенную интенсификацию смешивания компонентов кормов, усложнения траектории их движения, увеличения амплитуд и активности движения частиц компонентов кормов не только относительно друг друга, но и о стенки рабочих органов. Такая задача может быть решена с помощью машин, рабочими органами которых являются винтовые барабаны, обеспечивающие за счет оригинальной геометрии не только нестандартные формы движения частиц компонентов кормов с большой амплитудой 10-1000 мм и более, но и значительную активность их взаимодействия. Пространственная винтовая форма винтовых барабанов, создана нами за счет сформированных по их периметру винтовых линий основного и противоположного направления. Такие оригинальные рабочие органы машин сохраняют положительные характеристики не только барабанных устройств - простоту изготовления, эксплуатации, незначительные потери при передачи энергии от двигателя к массам частиц компонентов кормов но и вибрационных



машин - быстрое протекание технологических процессов смешивания компонентов кормов, высокую удельную производительность при

относительно низких энергозатратах, а также значительно меньшие габариты по сравнению с другими устройствами.

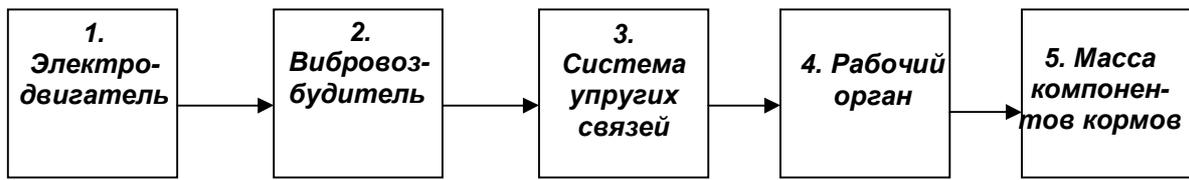


Рис. 3. Схема передачи энергии от двигателя к компонентам кормов в известной конструкции вибрационных машин

В результате создания таких рабочих органов машин для приготовления кормов открывается принципиальная возможность сокращения производственных площадей, транспортных средств, капитальных и эксплуатационных затрат, т.е. создание ресурсосберегающих машинных технологий. При этом при создании прогрессивных ресурсосберегающих машинных технологий смешивания компонентов кормов необходимо было создать такие машины, для которых характерно выполнение технологических процессов смешивания компонентов кормов во время транспортирования их компонентов в неориентированном состоянии через рабочее пространство с произвольной скоростью. Нами предлагаются рабочие органы вибрационных машин, названные винтовыми барабанами, позволяющие создавать вибрационные машины для смешивания компонентов кормов (треугольной, квадратной, прямоугольной, трапециевидной и т.п.), разнонаправленными по отношению к винтовым линиям основного и противоположного направлений по периметру винтовых барабанов [1]. Наличие в винтовых барабанах винтовых или зигзагообразных линий противоположного направления, величина их шага, не только определяют характер движения компонентов кормов от единообразного в одних конструкциях винтовых барабанах до сложного и

без виброактиваторов и упругих связей (рис.4), в которых совершают колебания лишь одни массы частиц компонентов кормов за счет их оригинальной геометрии при их вращении и при одновременном непрерывном перемещении компонентов кормов внутри винтовых барабанов от загрузки к выгрузке. В таких машинах вращательное движение электродвигателя 1 (рис.5) передается непосредственно рабочему органу машины - вращающемуся винтовому барабану 2, который в свою очередь сообщает движение массам частиц компонентов кормов с большой амплитудой колебаний [1,3].

Возможность создания низкочастотных колебаний с большой амплитудой в винтовых барабанах реализуется за счет оформления их наружных поверхностей, дискретно расположенными по периметру плоскими элементами различной формы и типоразмеров бесконечно разнообразного в других, но и увеличивает или уменьшает транспортный или технологический эффект. Новизна предлагаемых конструкций вибрационных машин на базе винтовых барабанов для приготовления кормов обусловлена тем, что элементы, из которых собраны винтовые барабаны, смонтированы под некоторыми углами не только друг к другу, но и к оси вращения, поэтому интенсивность и

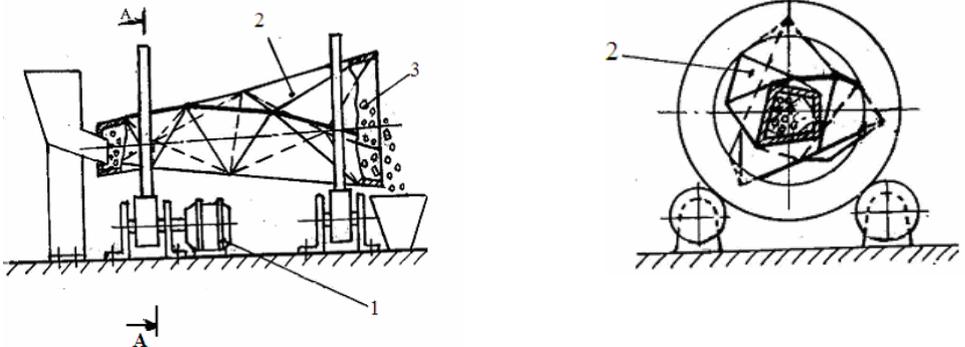
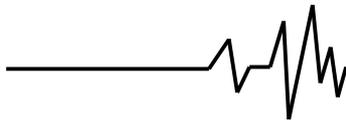


Рис. 4. Установка для смешивания компонентов на базе винтового барабана (1 – привод, 2 – винтовой барабан, 3 – компоненты кормов)



активность смешивания частиц компонентов кормов возрастает, так эти элементы, работая как полки захватывают порции частиц компонентов кормов и направляют их навстречу не только друг другу, но и противоположным вращающимся стенкам винтового барабана. При этом, так как площадь, форма и размеры проходного сечения винтового барабана по его длине меняется от загрузки частиц компонентов кормов до их выгрузки, то интенсифицируется процесс их смешивания, увеличивается не только активность взаимодействия частиц друг с другом и со стенками винтового барабана, но и изменяется частота их взаимодействия и амплитуда движения.

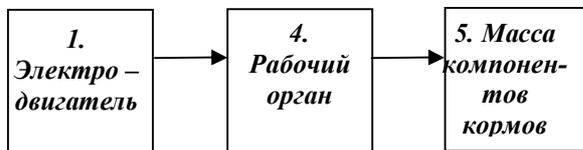


Рис. 5. Схема передачи энергии от двигателя компонентам кормов в предлагаемой конструкции установки для смешивания компонентов кормов на базе винтового барабана

Для создания и поиска пространственных форм винтовых барабанов предлагается методика компьютерного моделирования с использованием программ для рисования трехмерных объектов, которая позволила получить наглядные изображения ранее неизвестных форм винтовых барабанов, например, как на рис.6, рис.7 [2].



Рис. 6. Компьютерное изобретение неизвестной конструкции винтового барабана

Предложенная методика позволяет создавать винтовые барабаны с заданной точностью и в соответствии техническому заданию и технологическому требованию, при этом, так как частота движения частиц компонентов кормов зависит не только от частоты вращения винтового барабана, но и от

количества плоских элементов по периметру винтового барабана, то создание новых

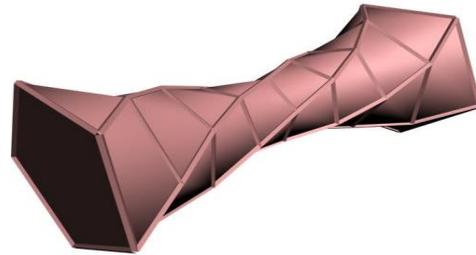


Рис. 7. Компьютерное изобретение винтового барабана неизвестной конструкции

конструкций винтовых барабанов с большим количеством плоских элементов по периметру становится затруднительным. Например, на рис.7 представлено наглядное компьютерное изображение винтового барабана вогнутой формы, который должен не только осуществлять процесс смешивания компонентов кормов, но и для интенсификации процесса приготовления кормов, обеспечить поджатие их компонентов в процессе транспортирования их от загрузки к выгрузке. По найденным пространственным формам винтовых барабанов, в соответствии с предложенной схемой выполняется конструкторская проработка винтового барабана и разработка технологии его изготовления и сборки. Например, на рис. 8 представлен винтовой барабан вогнутой формы, сконструированной по компьютерному изображению рис.7.

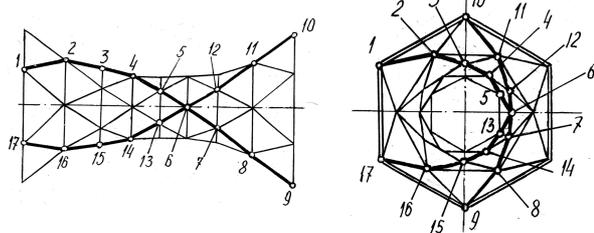
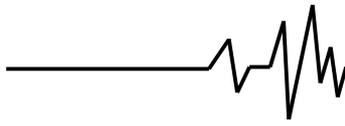


Рис. 8. Конструкция винтового барабана вогнутой формы разработанная по компьютерному изобретению

Утолщенными линиями 1,2,3,4,5,6,7,8,9 показана одна из шести винтовых, ломаных линий основного направления и утолщенной линией 10,11,12,6,13,14,15,16,17 одна из шести винтовых ломаных линий противоположного направления.

К основным параметрам необходимым при проектировании оборудования на базе винтовых барабанов, кроме длины,



относятся наружный и внутренний диаметры (диаметр проходного сечения) винтового барабана. В результате проведенных исследований получены зависимости, с помощью которых можно определить:

- Наружный диаметр (D) цилиндрических винтовых барабанов:

$$D = k_1 \cdot a_1, \quad (1)$$

где a_1 - ширина (сторона) элемента, из которых собран цилиндрический винтовой барабан;

k_1 - коэффициент, определенный по результатам исследований.

- Диаметры проходного сечения (d) цилиндрических винтовых барабанов:

$$d = m_1 \cdot a_1, \quad (2)$$

где m_1 - коэффициент, определенный по результатам исследований.

- Наружные диаметры (D_1 , D_n) секций конических винтовых барабанов:

$$\text{Для 1 секции} \quad D_1 = k_2 \cdot a_2, \quad (3)$$

$$\text{для 2 секции} \quad D_2 = k_2(a_2 + c), \quad (4)$$

$$\text{для 3 секции} \quad D_3 = k_2(a_2 + 2c), \quad (5)$$

$$\text{для } n \text{ секции} \quad D_n = k_2[a_2 + (n-1)c], \quad (6)$$

где k_2 - коэффициент определенный по результатам исследований;

a_2 - ширина элементов из которых собран винтовой барабан;

c - коэффициент увеличения ширины элемента секции, из которых собран винтовой барабан;

n - количество секций в коническом винтовом барабане.

- Диаметр проходного сечения (d_1) конического винтового барабана:

$$\text{для 1 секции} \quad d_1 = m_2 \cdot a_2, \quad (7)$$

$$\text{для 2 секции} \quad d_2 = m_2(a_2 + c), \quad (8)$$

$$\text{для 3 секции} \quad d_3 = m_2(a_2 + 2c), \quad (9)$$

$$\text{для } n \text{ секции} \quad d_n = m_2[a_2 + (n-1)c], \quad (10)$$

где m_2 - коэффициент, определенный по результатам исследований.

Для внедрения в производство нами были разработаны технологии сборки винтовых барабанов для единичного и серийного производства.

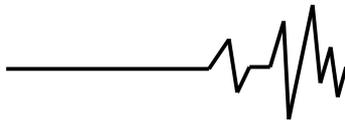
При сборке в единичном производстве винтовые барабаны всех отделов, классов, собирают из отдельных плоских элементов: треугольников, трапеций, четырехугольников,

полученных в свою очередь известными способами, например: резкой, штамповкой и т.д. Плоские элементы могут быть соединены в винтовой барабан друг с другом известными способами (клеякой, сваркой, пайкой и т.д.). Перед соединением плоские элементы подвергаются дополнительной обработке в соответствии, с которой на кромках плоских элементов выполняют скосы. Как показала практика изготовления винтовых барабанов такой дополнительной обработки целесообразно подвергать плоские элементы толщиной 2 и более мм.

При сборке в серийном производстве винтовые барабаны выполняют из полосового материала, имеющего направляющую поверхность, образованную, по меньшей мере, тремя полосами, кромки которых образуют винтовую линию в продольном сечении винтового барабана, при этом кромки полос размещены по винтовым линиям и в поперечном сечении винтового барабана. В результате по периметру винтового барабана образуются различные по шагу и числу заходов направленные навстречу друг другу винтовые внутренние поверхности и соответствующие их пересечениям винтовые линии внутренней поверхности винтовых барабанов. Образование сложных внутренних поверхностей винтового барабана в виде сочетания двух криволинейных поверхностей, в каждой точке которых возникают разнонаправленные составляющие движения, усиливают эффект смешивания благодаря наличию множества разнонаправленных векторов. Таким образом, двоякая кривизна поверхности обеспечивает усиление технологического и транспортного эффекта благодаря наличию разнонаправленных векторов в каждой точке поверхности.

Полосы могут иметь переменную ширину, в частности, постепенно сужающуюся от одного конца к другому, благодаря чему можно осуществлять постепенное уплотнение массы материала.

Полосы могут быть выполнены ребристыми в поперечном направлении, и каждые два смежных ребра полосы пересекаются между собой и с двумя ребрами другой смежной полосы на продольной винтовой линии смежных полос с образованием чередующихся граней, расположенных попарно под тупым углом друг к другу с наружной и внутренней стороны винтового барабана, причем эти углы могут быть либо равными, либо постепенно возрастающими от одного конца винтового барабана к другому в зависимости от



требований к процессу смешивания. Скручивание каждой полосы в поперечном направлении обеспечивает дополнительное искривление поверхности винтового барабана, благодаря чему увеличивается разность между углами наклона векторов перемещения частиц компонентов кормов в соседних участках поверхности винтового барабана. При этом частицы сыпучих материалов движутся по сложным траекториям, увеличивая частоту столкновений или иным образом интенсифицируя процесс.

Анализ механизма придания колебаний массам загрузки в винтовых барабанах показал, что в процессе вращательного движения их плоские элементы, разно наклоненные к оси вращения и друг к другу, разные по площади, по размерам и конфигурации, работая как ковш (полки), захватывают различные по объему порции масс сыпучих материалов, поднимают их по направлению вращения винтового барабана несколько выше угла естественного откоса, а затем направляют, эти порции масс сыпучих материалов в направлениях перпендикулярным этим полкам (ковшам), под некоторыми углами не только к оси вращения, но и к другим потокам масс сыпучих материалов движущихся внутри винтового барабана под другими углами и с другими скоростями. Длина траектории движения (амплитуда) масс сыпучих материалов в значительной степени зависит от диаметра винтового барабана, от углов наклона плоских элементов друг к другу и к оси вращения. Частота движения определяется не только частотой вращения винтового барабана, но и количеством плоских элементов по периметру винтового барабана. Поэтому, в настоящее время нами предлагаются конструкции винтовых барабанов, обеспечивающие повышение частотных характеристик в десятки раз.

В зависимости от габаритов винтового барабана, коэффициентов заполнения, геометрии винтового барабана и ряда других факторов большая или меньшая часть масс компонентов кормов может работать в лавинообразном режиме- остальная в водопадном, в этом случае имеет место смешанный водопадно-лавинообразный режим.

Если исходить из технических требований к процессу смешивания компонентов кормов, то параметры траектории движения их частиц должны быть номинальными (для максимального обеспечения выполнения данных требований),

т.е. иметь определенные в этом смысле характеристики. Так, например, траектория их движения может быть спиралеобразной пространственно кривой с неравномерным шагом и различным диаметром витков, на которую наложены колебания стохастического характера. В зависимости от геометрии внутренней поверхности винтового барабана, т.е. от задания формы рабочего органа, его пространственной ориентации и совершаемому сложному движению, в принципе возможны и другие формы образования пространственных кривых перемещения частиц компонентов кормов. При этом пространственная траектория каждой из перемещаемых частиц должна иметь достаточную протяженность для обеспечения качественного технологического процесса приготовления кормов.

Разумеется, такая задача не может быть решена чисто аналитически (с заданной степенью точности определения параметров, удовлетворяющих качественный технологический процесс смешивания компонентов кормов), а требует комплексного подхода, с использованием экспериментальных данных и эмпирических зависимостей. Аналитическое решение данной задачи (даже в узком смысле - при определении параметров движения компонентов кормов: текущих координат, скоростей и времени) явно затруднено без дополнительных ограничений и принятых допущений. Как известно, значительное их количество может привести к неудовлетворительным результатам при решении поставленной задачи, к значительному снижению точностных характеристик. При построении тех или иных математических моделей (в данной задаче) может оказаться целесообразным привлечение эмпирических зависимостей и констант с целью наименьшего объема проводимых математических выкладок. Таким образом, при наложении тех или иных ограничений на протекающий процесс смешивания компонентов кормов можно сформулировать серии математических моделей решения данной задачи с той или иной степенью точности определения искомых параметров, например:

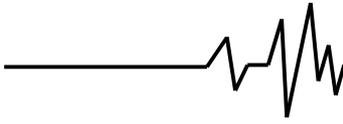
- модель сплошной среды;

- энергетическая модель;

- модель замкнутой среды со

стохастическим процессом соударений частиц компонентов кормов.

Как показал анализ этих математических моделей, аналитически такие задачи не могут



быть решены. Поэтому была рассмотрена модель движения частиц компонентов кормов как материальной точки массой m . В этом случае моделируемое движение является условным в том смысле, что его изучение сводится только к изучению движущихся в поперечной плоскости xOy частиц компонентов кормов в вращающемся винтовом барабане. Затем все параметры продольного движения (в частности и скорость) могут быть получены при использовании свойства $j = \text{const}$ – постоянства угла наклона винтовой линии к продольной оси винтового барабана.

После введения полярной системы координат (r, φ) , в поперечную плоскость движущихся частиц компонентов кормов вращающегося винтового барабана получена система дифференциальных уравнений в виде:

$$\begin{cases} m \cdot (\ddot{r} - r \cdot \dot{\varphi}^2) = F_r \\ m \cdot (r \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi}) = F_\varphi \end{cases} \quad (11)$$

где r – некоторый выбранный радиус вращения в зависимости от меняющейся геометрии стенок вращающегося винтового барабана в плоскости сечения xOy , в зависимости от характера моделируемых F_r и F_φ – сил может описывать любое движение (в данном случае это движение стеснено боковой поверхностью вращающегося винтового барабана), где под m понимается масса каких-то моделируемых, условно движущихся материальных точек

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt}, \quad \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \ddot{r} = \frac{d^2r}{dt^2}, \quad \ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

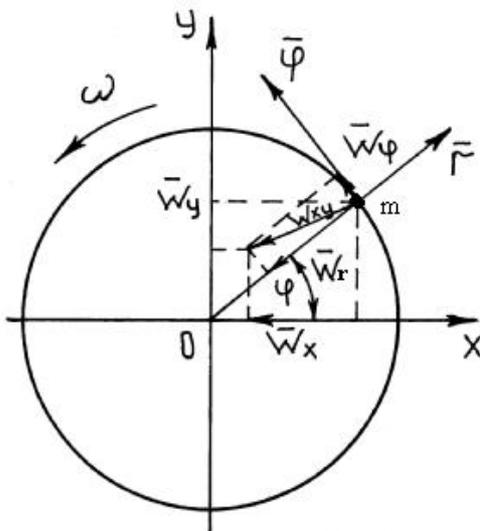


Рис. 9. Схема движения частицы компонентов кормов

Пусть $\vec{W} = \vec{W}(r, \varphi, \dot{r}, \dot{\varphi})$, $\vec{V} = \vec{V}(r, \varphi, \dot{r}, \dot{\varphi})$ – величины ускорений M – точки по каждой из координатных осей плоскости xOy , где величина общего ускорения (W_{xy}):

$$W_{xy} = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2} \quad (12)$$

Тогда в данном случае величина W_z – ускорения точки M вдоль оси Z , которую условно обозначим \dot{z} , равна:

$$\dot{z} = V_z = W_{xy} \cdot \text{tg} j < 0 \quad (13)$$

Следовательно, становится известным движение продольного перемещения. Перемещение происходит вдоль продольной оси винтового барабана в противоположном направлении оси Z , т. е. все характеристики продольного движения $V_z, V_z, Z < 0$, если оси системы xuz координат образуют правую тройку векторов относительно неподвижного пространства полости винтового барабана). В этом заключен смысл условности изучения этих движений, так как становится известным общее ускорение сложного пространственного движения вдоль винтовых линий вращающегося винтового барабана частиц компонентов кормов (условное ускорение).

$$W = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2} \quad (14)$$

Даже при такой упрощенной условной схеме интегрирование зависимостей 11,12,13,14 явно затруднено, а поэтому в целях изучения качественной стороны этого процесса дополнительно упростим:

$$r = r_{cp} = \text{const} \quad (15)$$

Тогда из левой части второго уравнения системы (11) и условия (13) следует:

$$\dot{z} = r \cdot \text{tg} j \cdot \dot{\varphi} \quad (16)$$

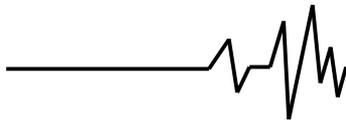
После интегрирования находим продольную скорость перемещения частиц сыпучих материалов V_z :

$$V_z = (r \cdot \text{tg} j \cdot \varphi + C) < 0 \quad (17)$$

или

$$V_z = r \cdot \text{tg} j \cdot \omega + C \quad (18)$$

Как показали проведенные нами однофакторные экспериментальные исследования, скорость процесса смешивания компонентов кормов в винтовых барабанах в диапазоне частот от 0 до 30 об/мин незначительна, а свыше 90 об/мин скорость смешивания частиц снижается, поэтому достаточно и целесообразно получить зависимости (расчетные формулы) для определения скорости их продольного перемещения в диапазоне частот вращения от $n = 30$ об/мин до $n = 90$ об/мин.



Поэтому, введя в (18) постоянную G , которая выражена через характеристики винтовых барабанов

$$G = r \cdot \operatorname{tg} j \quad (19)$$

получим уравнение для определения продольной скорости перемещения частиц компонентов кормов в винтовых барабанах удобное для инженерных расчетов при проектировании установок для смешивания компонентов кормов при частоте вращения винтовых барабанов от 30 до 90 об/мин:

$$V = G \cdot \omega + C \quad (\text{мм/с}), \quad (20)$$

где C – постоянная, которая выражает характеристики технологического процесса смешивания компонентов кормов, например: коэффициент заполнения объема винтового барабана - $K_v = V_m / V_{p.k.}$, угол наклона оси вращения винтового барабана θ ; угол уклона (конусность) стенок винтового барабана α . V_m – объем загрузки внутренней полости винтового барабана компонентами кормов, $V_{p.k.}$ - объем все внутренней полости винтового барабана.

Анализ накопленных результатов аналитических и экспериментальных исследований позволил сделать предположение о наличии у винтовых барабанов признаков (характеристик), которые характеризуют только конструктивные особенности (тип) винтового барабана и одинаковы для всех условий их работы. Поэтому целесообразно провести поиск их универсальных характеристик. С этой целью проведено исследование движения частиц сыпучих материалов в винтовых барабанах. Выполнен анализ процесса движения частиц сыпучих материалов внутри винтовых барабанов в поперечном и продольном его сечениях. Результаты исследований показали, что описание полученных результатов изменения скорости продольного движения частиц компонентов кормов в винтовых барабанах позволяет однозначно отдать предпочтение полиному P_4 [3]:

$$P_4 = a_0 \cdot x^4 + a_1 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x + a_4, \quad (21)$$

и может быть представлена в виде:

$$P = A \cdot P_0, \quad (22)$$

где A – коэффициент, зависящий от условий работы винтового барабана (геометрических размеров, массы частиц компонентов кормов, степени заполнения винтового барабана - K_v);

$$P_0 \text{ -полином вида } P_0 = x^4 + B_1 \cdot x^3 + B_2 \cdot x^2 + B_3 \cdot x + B_4; \quad (23)$$

B_1, B_2, B_3, B_4 – коэффициенты, которые характеризуют только класс винтового барабана, т.е. одинаковы при всех условиях их работы.

Таким образом, эмпирическая зависимость для определения скорости продольного перемещения деталей в винтовых барабанах имеет вид:

$$V = A \cdot (\omega^4 + B_1 \cdot \omega^3 + B_2 \cdot \omega^2 + B_3 \cdot \omega + B_4) \quad (24)$$

где ω – угловая скорость вращения винтового барабана.

В то же время анализ результатов исследований показал, что экспериментальные зависимости достаточно просто и однозначно описываются полиномом 2-ой степени:

$$V = A_0 \cdot (B_1 \cdot \omega^2 + B_2 \cdot \omega + B_3), \quad (25)$$

где $A_0 = K_v \cdot K_m$; $K_m = m_2 / m_1$; m_1 – масса малых частицы компонентов кормов; m_2 – масса больших частиц компонентов кормов.

С использованием двухфакторного эксперимента определены оптимальные режимы работы винтовых барабанов, собранных из октаэдров. При рассмотрении факторов влияющих на производительность и качество обработки выбрали как наиболее существенно влияющие на технологических процесс смешивания компонентов кормов коэффициент заполнения K_v и угол наклона винтового барабана.

Конструктивные и режимные параметры работы винтового барабана предварительно исследованы однофакторным экспериментом. При изготовлении лабораторной установки предусматривалось изменения угла наклона винтового барабана от 0 до 10 градусов (установлено по предварительным опытам).

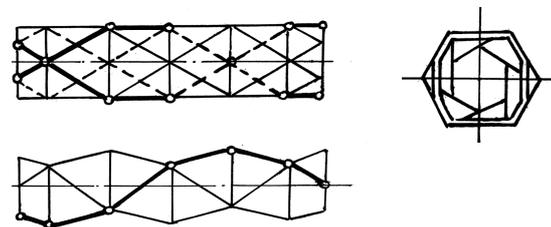
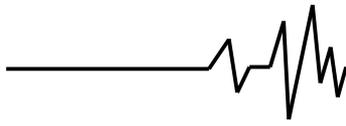


Рис. 10. Винтовой барабан Ц-3а

Коэффициент заполнения винтового барабана изменялся в пределах от 0,3 до 0,7 заполняя объем винтового барабана.

Частота вращения винтового барабана экспериментальной установки равна 60 об/мин. (установлено по предварительным опытам).



С целью оптимизации количества исходных данных использовали симметричный композиционный план типа В_к (звездные точки которого равны ±1).

Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или учитывающие существующие ограничения, попадали в центр интервала варьирования.

На основании этих рассуждений были выбраны интервалы варьирования и уровни факторов, Матрица планирования сведена в таблицу. Порядок проведения опытов выполнялся согласно таблице случайных чисел. Результаты экспериментальных исследований по определению основных качественных показателей и оптимизации параметров винтовых барабанов обработали по известным методикам [4].

После математической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии для скорости перемещения частиц сыпучих материалов в винтовом барабане.

$$Y = 61,079 + 9,067 \cdot x_1 + 105,715 \cdot x_2 + 13,144 \cdot x_1 \cdot x_2 - 44,238 \cdot x_1^2 + 74,325 \cdot x_2^2, \quad (26)$$

где Y - скорость перемещения, мм/с.

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений.

$$\begin{aligned} 2b_{11}x_1 + b_{12}x_2 &= -b_1 \\ b_{12}x_1 + 2b_{22}x_2 &= -b_2, \end{aligned}$$

Решая систему линейных уравнений находим координаты центра поверхности отклика:

$$\begin{aligned} x_1 &= -0,00313 \\ x_2 &= -0,71089, \end{aligned}$$

Подставив в исходное уравнение (26) значения x₁, x₂ нашли значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика Y_s=23,49 мм/с. Тогда уравнение регрессии (26) в канонической форме будет иметь вид

$$Y - 23,49 = -44,6 \cdot x_1^2 + 74,69 \cdot x_2^2, \quad (27)$$

Поверхность отклика - гиперболоид, а ее центр - минимакс, поскольку коэффициенты при X₁ и X₂ имеют разные знаки, представлена на рис. 11.

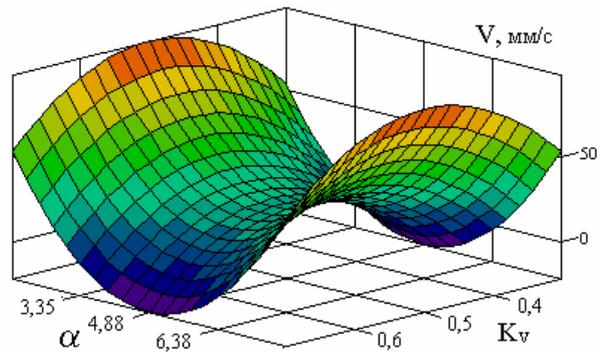


Рис. 11. Поверхность зависимости скорости перемещения сыпучих тел в винтовом барабане от коэффициента заполнения и угла его наклона

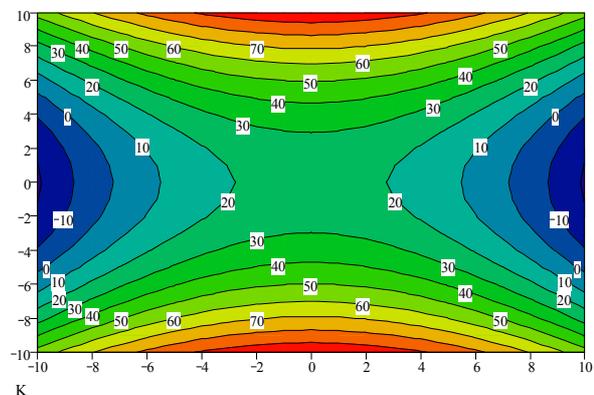
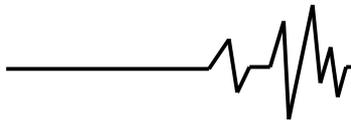


Рис. 12. Двумерное сечение зависимости скорости перемещения сыпучих тел в винтовом барабане от коэффициента заполнения и угла его наклона

Рассмотрим двумерное сечение плоскостью (рис. 12). Расположение элементов скорости перемещений в области экспериментов напоминало поверхность типа «Сходящихся гребней». Из рис. 12 можно сделать вывод, что изменение значения x₁ в пределах эксперимента влияет на скорости перемещения по закону параболы, т.е. с увеличением коэффициента заполнения от центра плана скорость перемещения падает, а при увеличении значения угла наклона винтового барабана x₂ скорость перемещения возрастает. С использованием планирования трехфакторного эксперимента по В_к плану определены оптимальные режимы работы винтового барабана при условии выполнения исходных требований к качеству смешивания компонентов кормов. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальная скорость перемещения частиц компонентов кормов соответствует 23,49 мм/с,



оптимальный коэффициент заполнения винтового барабана составил 0,499, а минимальный угол его наклона, при котором будет обеспечиваться устойчивый рабочий процесс, равен 4,88 градуса. Сравнение результатов экспериментальных исследований и рассчитанных по формуле 20 и формуле 25 показывает достаточно хорошую их сходимость (рис. 13) в пределах $\pm 5\%$.

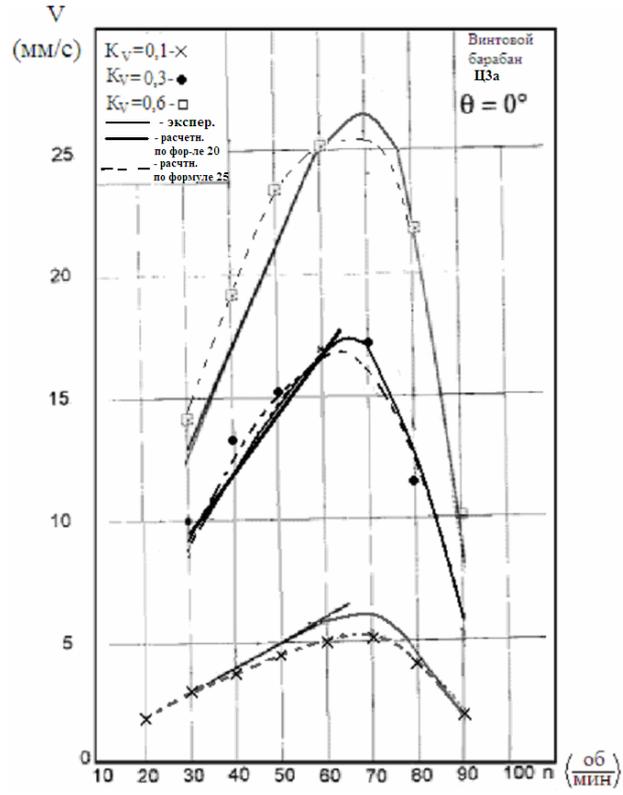


Рис. 13. Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований скорости продольного перемещения частиц компонентов кормов в винтовых барабанах

К числу наиболее важных выводов теоретических и экспериментальных исследований следует отнести:

1. Показана возможность создания ресурсосберегающих технологий и оборудования для смешивания компонентов кормов. Ранее она ограничивалась низкой интенсивностью протекающих процессов и локализацией в ограниченной зоне, а также малыми величинами амплитуд колебаний в известных конструкциях. В предлагаемых конструкциях оборудования для смешивания компонентов кормов отсутствуют, как таковые, виброактиваторы, необходимость в которых отпала, так как движение частицам

компонентов кормов обеспечивается оригинальной конструкцией рабочих органов - винтовых барабанах, совершающих лишь вращательное движение вокруг собственной оси. При этом сложное пространственное движение с большой амплитудой до 1000 мм. и более частицам компонентов кормов сообщается элементами стенок винтового барабана различных типоразмеров и конфигураций, которое усложняется винтовыми линиями и винтовыми поверхностями с различным числом противонаправленных друг другу их заходов по периметру винтового барабана.

2. Наибольшее влияние на скорость перемещения компонентов кормов имеет частота вращения винтового барабана. Вначале с увеличением частоты вращения скорости продольного перемещения частиц компонентов кормов нарастает примерно по линейной зависимости. Затем в определенном интервале частот вращения скорость перемещения остается примерно одинаковой, а затем с увеличением частоты скорость интенсивно снижается - наступает момент, когда центробежные силы инерции будут равны или больше веса частиц компонентов кормов.

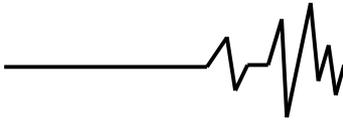
3. Выявлено существенное влияние на скорость перемещения частиц компонентов кормов коэффициента заполнения внутренней полости винтового барабана. Для каждого типа, формы, класса, подкласса винтового барабана существует определенный оптимум коэффициента заполнения, когда скорости перемещения компонентов кормов максимальна.

4. Весьма существенно влияние на скорость перемещения оказывает конструкция винтового барабана. Здесь имеет место четкая зависимость от эффекта шнека, поэтому в винтовых барабанах наиболее высокого класса 6 и 7 класса [1] скорость продольного перемещения - наибольшая.

5. С увеличением площади проходного сечения винтового барабана скорость продольного перемещения компонентов кормов увеличивается примерно в линейной зависимости.

6. Масса частиц компонентов кормов не оказывает существенного влияния на скорость перемещения компонентов кормов.

7. Каждый тип, класс винтового барабана соответствует определенному технологическому процессу смешивания компонентов кормов. При этом, чем выше класс, тем выше транспортирующая способность винтовых барабанов, однако



меньше энергоемкость воздействия частиц компонентов кормов. Поэтому реальной основой для осуществления процессов смешивания компонентов кормов являются винтовые барабаны 3 и 4 классов при этом для смешивания компонентов кормов с порционной загрузкой рекомендуется использовать винтовые барабаны 3 класса. В установках непрерывного действия целесообразно применять винтовые барабаны 4 класса.

Список литературы

1. Марченко А.Ю. Научно-технические основы создания ресурсосберегающих машинных технологий приготовления кормов в винтовых барабанах / А.Ю.Марченко// Научный журнал. Труды государственного аграрного университета.- Краснодар, 2008.- С. 2.
2. Марченко А.Ю. Компьютерное моделирование рабочих органов машин для

отделочно-зачистной обработки, смешивания, измельчения сыпучих материалов/ А.Ю. Марченко// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Известия Орел ГТУ, 3-4/271 (546)- Курск, 2008,- С.70-73.

3. Марченко А.Ю. Ресурсосберегающие машинные технологии отделочно-зачистной обработки, смешивания и измельчения сыпучих материалов в винтовых барабанах/ А.Ю. Марченко, В.В. Цыбулевский, Г.В. Серга// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Известия Орел ГТУ, 3-4/271 (546)- Курск, 2008,- С.11-20.

4. Марченко А.Ю. Расчет скорости перемещения частиц сыпучих материалов в цилиндрическом винтовом барабане (ЦЗа) в зависимости от частоты вращения при разных углах его наклона / А.Ю. Марченко В.В. Цыбулевский, Г.В. Серга // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613487, 23.06.2008.