

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 636.035

**Математическая модель оценки качества процесса получения
увлажненно-обогащенного зернового сырья**

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

Установлено, что наиболее приемлемой физической формой кормовых продуктов для молодняка сельскохозяйственных животных и птицы является жидкая – пюре- или пастообразная. Готовят данные виды продуктов из сырья сбалансированного по основным питательным веществам или же путем обогащения готового продукта.

При этом, применяемые для обогащения минорные вещества в виде микроскопических доз витаминов и минеральных веществ, подлежат дозированию и последующему вводу их в основной продукт с тщательным перемешиванием в составе основного продукта. Для получения однородной смеси минорных веществ и основного продукта, а, как правило, это концентрированные и высокобелковые зерновые продукты, их необходимо предварительно измельчить с приготовлением массы однородного гранулометрического состава. После этого минорные вещества вводятся в дробленую массу, которая тщательно перемешивается и уже на основе готовой смеси, путем добавления жидкой фазы, консистенция продукта доводится до пастообразного состояния.

На основании проведенных исследований получена математическая модель оценки увлажненно-обогащенного состояния зерновки по равномерности ее насыщения питательными веществами.

Ключевые слова: ПАСТА, ОБОГАЩЕНИЕ, УВЛАЖНЕНИЕ, КОРМОВОЙ ПРОДУКТ, ЗЕРНОВКА, ПЛАСТИЧНОСТЬ, ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Введение

Одним из основных этапов приготовления концентрированных кормов является измельчение зернового сырья, что позволяет увеличить площадь поверхности частиц. Перевариваемость корма улучшается, и он в более полном объеме усваивается животными.

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Наиболее распространены в комбикормовой промышленности молотковые дробилки, работающие по принципу классического «безподпорного» измельчения ударом. К основным недостаткам таких дробилок следует отнести затраты большого количества энергии, затрачиваемой на разрыв межмолекулярных связей измельчаемого продукта (зерна) и образования в рабочей камере дробилки циркулирующего воздушного потока, насыщенного мучными частицами. При определенных условиях данная смесь может стать взрывоопасной, что требует применения в конструкции кормодробилок такого типа специальных фильтровально-разделительных систем.

С другой стороны, известен способ получения кормового продукта для свиноводства и птицеводства на основе измельченных зерновых и зернобобовых культур в виде паст (пюре) при использовании специальных смесителей. Однако, его применение на существующих машинах сдерживается высокой металло- и энергоемкостью [1, 2]. Это говорит о том, что разрушать влажное зерно целесообразней способом его истирания, что нашло применение при получении кормовых продуктов в жидком виде, например, соевого «молока». Применение данного способа для получения кормовых продуктов в пастообразном (пюреобразном) видах имеет свои особенности, так как из-за своей формы и содержания данные продукты отличаются от жидких кормов. При этом необходимо учитывать также и структуру тела зерновки, используемой в приготовлении комбикормов.

В связи с этим **целью нашей работы** является получение математической модели оценки увлаженно-обогащенного состояния зерновки по равномерности ее насыщения питательными веществами.

Материалы и методы

Согласно разработанной схеме [3], предварительно замоченные в водном минерально-витаминном растворе исходные семена зерновых или зернобобовых культур подлежат дезинтеграции с помощью четырехступенчатого аппарата решетчато-ножевого типа с последующей гомогенизацией дезинтегрированного влажного и обогащенного минерально-витаминным комплексом в щелевидном аппарате конического типа.

Замачивание зерна в предложенном минерально-витаминном водном растворе приводит к водонасыщению семян, форму которых можно принять в виде эллипсоида вращения, сектора цилиндрического и шара.

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

При этом тело зерновки по своему содержанию представляет в основном совокупность углеводов и белковых составляющих, представленных определенным их соотношением и размещенных под оболочкой.

В то же время, структура тела зерновки, согласно модели, принятой Белянкиным Ф.П., Мельниковым С.В. и др. представляет собой «скелет и наполнитель» с наличием пор, микро- и макродефектов, статистически распределенных в толще и частично выходящих на наружную поверхность [4].

Процесс деформации зерновок ячменя с уровнем влажности $W = 10-14\%$ в результате сжимающего усилия, достаточно полно изучен д.т.н., профессором Мельниковым С.В. [4]. Проведенными исследованиями установлено, что крайние значения разрушающего напряжения находятся в интервале значений $\sigma = 4,7 \text{ МПа} - 9,2 \text{ МПа}$.

Исходя из анализа этих данных, нами сделано предположение, что снизить данный интервал значений возможно путем придания телу зерновки максимально возможной пластичности.

Возможность и целесообразность такого подхода является вполне реальной, так как крахмальные зерна, так называемого (т. н.) наполнителя, обладают свойствами сорбента, а белковые зерна наполнителя, в виду своей химической природы, склонны к высокой степени набухания. Таким образом, если осуществить т. н. замачивание семян зерновых и зернобобовых культур в водном минерально-витаминном растворе при соотношении зерно : раствор = 1:1, то в результате т. н. «насыщения» углеводные (крахмальные) зерна «сработают» как адсорбирующее вещество и заполнятся витаминной составляющей (витамин С), белковые зерна набухнут, выполнив роль геля, а макрочастицы мела, как источника кальция распределятся слоем определенной толщины по поверхности оболочки семени, в соответствии с ее объемной конфигурацией, в виде принятого эллипсоида вращения (ячмень, пшеница, овес, соя), сектора цилиндра (кукуруза) или шара (просо, горох, сорго).

В то же время, согласно имеющемуся определению, паста – это однородная смесь в виде тестообразной массы [5]. Следуя данному определению, можно дать более расширенное толкование этому понятию. Паста – это структурно связанная между собой совокупность макро- и микрочастиц (дисперсионная среда) посредством жидкой фазы определенной химической природы, имеющей соответствующую вязкость в определенном интервале ее значений.

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

При этом, для семян зерновых и зернобобовых культур «жидкой фазой» является система «вода-жир», а «дисперсионной средой» – крахмальные и белковые зерна, связанные в структурный каркас, а также другие микро- и наноэлементы.

Вполне очевидно, что межмолекулярные связи между указанными компонентами, составляющими структуру через их соотношение, определяют прочность зерновки.

В этой связи, разрушение структуры зерновки, имеющей свое, вполне определенное соотношение между «дисперсионной средой» и «жидкой фазой» приводит к получению вполне очевидного вида продукта, или муки, или дерти, или пасты, или пюре, или суспензии. Следовательно, для получения пастовой формы продукта с наименьшими затратами энергии, необходимо и целесообразно создать условия, при которых в зерновку поступит, например, вода, которая обеспечит какое-то нарушение прочных межмолекулярных связей, а ее количество в зерновке позволит получить при дезинтеграции физическую форму в виде пасты.

При этом, в качестве водной среды, возможно и рационально использовать водный раствор витаминов или минеральных веществ, или же их совокупность (рис. 1).

Как показал анализ технологий и технических средств приготовления пастообразных продуктов ранее данный подход не использовался.

Известный традиционный подход к получению пастообразных продуктов предусматривает предварительное дробление зерна с последующим приготовлением пастовых систем, посредством смешивания предварительно полученной муки или т.н. дерти с водой, в требуемых соотношениях.

Результаты исследований

Согласно принятому инновационному подходу, общее приращение объема - ΔV , в результате минерально-витаминно-водного насыщения зерновки составит

$$\Delta V = V_k - V_n, \quad (1)$$

где V_k – конечный объем зерновки; V_n – начальный объем зерновки.

На рис. 2 представлены модели формы соответствующих семян зерновых и зернобобовых культур.

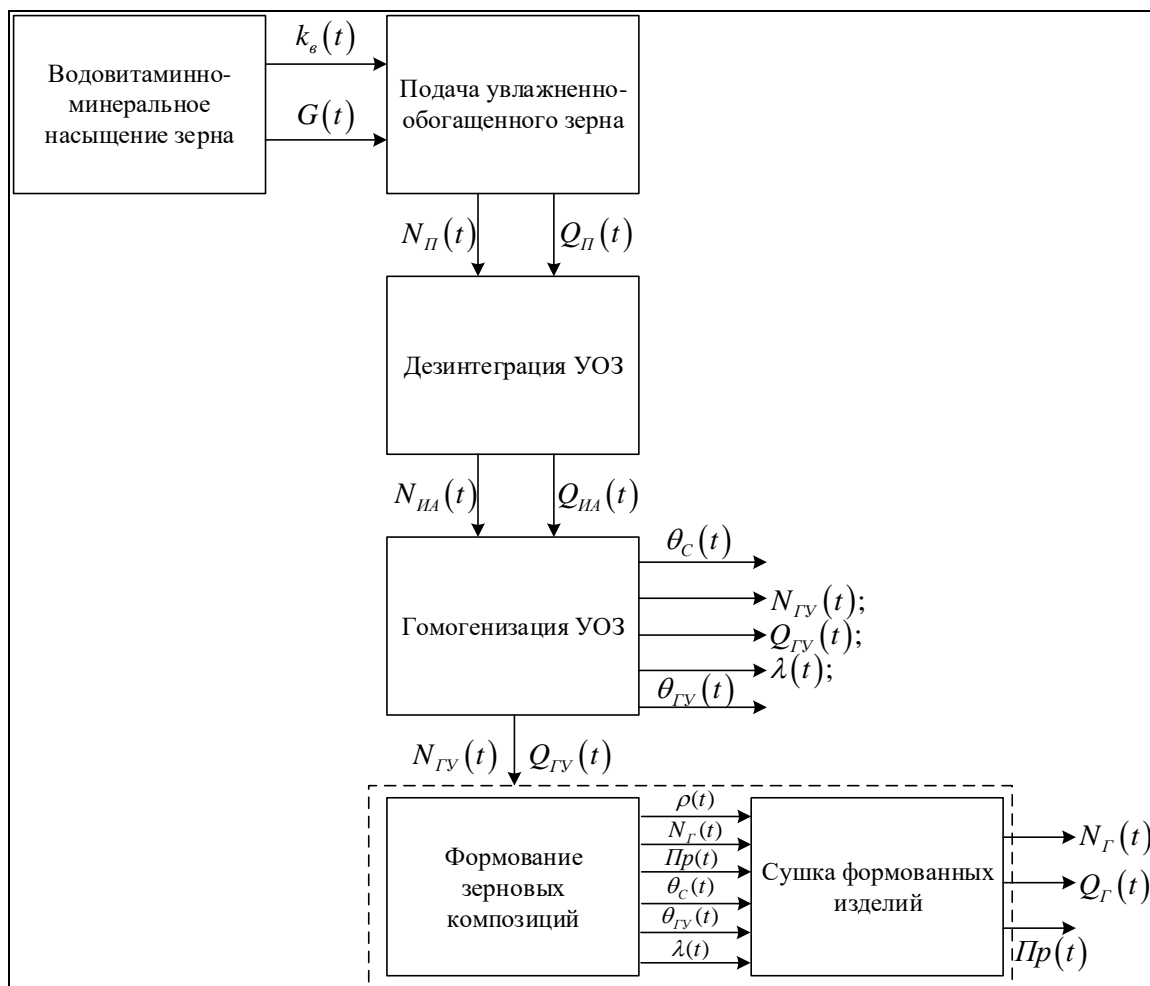


Рис. 1. Структурно-функциональная схема процесса приготовления пастообразных и формованных продуктов с использованием увлажненно-обогащенного зерна (УОЗ)

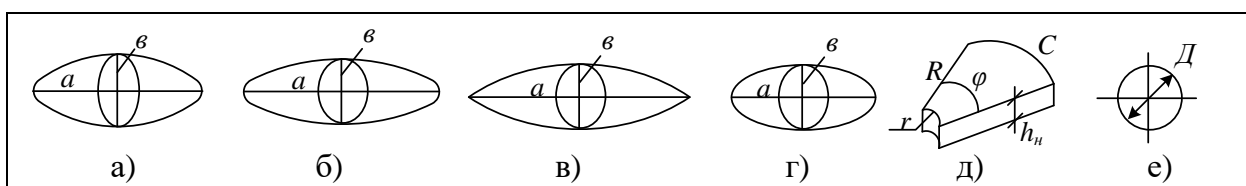


Рис. 2. Схемы к определению объемных характеристик зерновок

Примечание: а) ячменя; б) пшеницы; в) овса; г) сои; д) кукурузы; е) гороха, проса и сорго.

Для прироста массы – ΔM обогащенных зерновок имеет, что

$$\Delta M = \Delta V \cdot \rho_k = V_k \cdot \rho_k - V_n \cdot \rho_n, \quad (2)$$

где ρ_k , ρ_n – соответственно плотность зерновки в ее конечном и начальном состояниях.

На рис. 3 представлены схемы к определению параметров зерновок.

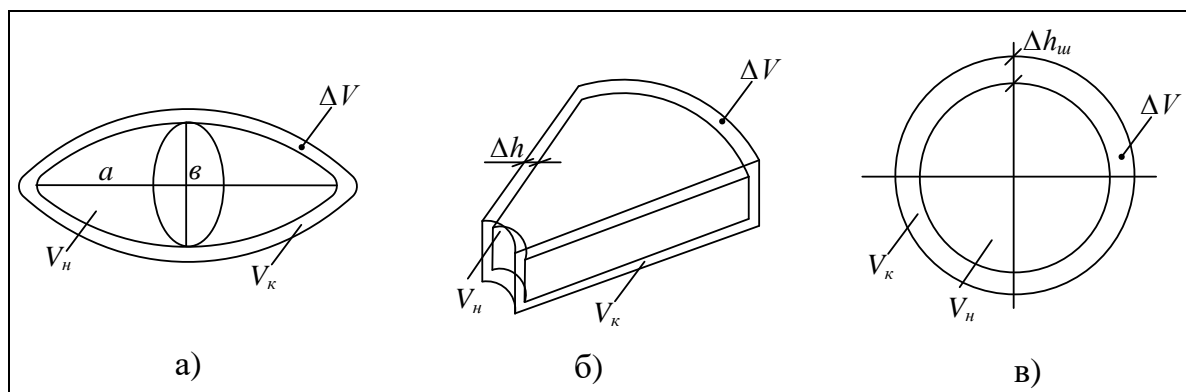


Рис. 3. Схемы к определению параметров увлажненно-обогащенных зерновок
 Примечание: а) эллипсоидной формы; б) сектора цилиндрического; в) шара.

Для случая использования в качестве минерального кальцийсодержащего компонента, например, мела, объем и масса «пленки», покрывающей оболочку зерновки на ее поверхности, равны

$$\Delta M_{Ca} = V_k \cdot C_a - V_n, \quad (3)$$

$$\Delta M_{Ca} = \Delta V \cdot C_a \cdot \rho_{Ca} - V_n \rho_n, \quad (4)$$

где ρ_{Ca} – плотность меловой пленки на поверхности увлажненно-обогащенной зерновки (УОЗ).

Приняв содержание минеральных или витаминных веществ (МВВ) в водном растворе как γ , г/100 г, а содержание в обогащаемой совокупности зерновок – $\Delta M = \varphi$, составим систему дифференциальных уравнений, характеризующих изменение содержаний МВВ за время t .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} &= \psi_1 \cdot \varphi - \psi_2 \cdot \gamma \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \psi_1 \cdot \varphi \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где ψ_1 и ψ_2 – эмпирические коэффициенты, характеризующие условия осуществления процесса.

При $\psi_2 = 0$ имеем следующую систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} &= \psi_1 \cdot \varphi \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \psi_1 \cdot \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Решение данной систем дает

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{y_0} \frac{dy}{y} &= - \int_0^t \psi_1 \cdot dt \\ \ln y &= \int_0^t \psi_1 \cdot dt \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Отсюда имеем, что

$$\gamma = \gamma_0 \cdot e^{-\int_0^t \psi_1 [T(t)] dt} \quad , \quad (8)$$

где $T(t)$ – функция, характеризующая изменение температуры системы зерно-раствор от времени диффузионного увлажнения и обогащения зерновок.

Решение второго уравнения системы (7) дает

$$\frac{d\varphi}{dt} = \psi_1 \cdot \gamma_0 \cdot e^{-\int_0^t \psi_1 dt} \quad , \quad (9)$$

или

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \gamma_0 \cdot \left[1 - e^{-\int_0^t \psi_1 [T(t)] dt} \right]. \quad (10)$$

Для условий, когда $\varphi = 0$ получаем, что содержание МВВ в водном растворе составит

$$\gamma_0 - \Delta = \gamma_0 \cdot e^{-\psi T} \quad , \quad (11)$$

где Δ - содержание вещества, перешедшего в зерновку или на её поверхность за время t_i .

Значение параметра определили, как

$$t_i = \frac{1}{\psi_1} \ln[\gamma_0 / (\gamma_0 - \Delta)] \quad . \quad (12)$$

Тогда для зерновок [6]:

– в форме эллипсоида:

$$\Delta V_э = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a_k \cdot B_k^2 - \frac{4}{3} \pi \cdot a_n \cdot B_n^2 = 4,186(a_k \cdot B_k^2 - a_n \cdot B_n^2) \quad (13)$$

$$\Delta M_э = 4,186 \cdot \rho_k (a_k \cdot B_k^2 - a_n \cdot B_n^2) \quad (14)$$

– в форме цилиндрического сектора:

$$\begin{aligned} \Delta V_{цс} &= \pi \frac{\varphi(R_k^2 - r_k^2)h_k}{360^\circ} - \pi \frac{\varphi(R_n^2 - r_n^2)h_n}{360^\circ} = \\ &= \frac{\pi \cdot \varphi [(R_k^2 - r_k^2)h_k - \varphi(R_n^2 - r_n^2)h_n]}{360^\circ} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\Delta M_{цс} = \frac{\pi \cdot \varphi \cdot \rho_k [(R_k^2 - r_k^2)h_k - \varphi(R_n^2 - r_n^2)h_n]}{360^\circ} \quad (16)$$

– в форме шара:

$$\Delta V_{ш} = \frac{\pi D_k^3}{6} - \frac{\pi D_n^3}{6} = \frac{\pi(D_k^3 - D_n^3)}{6} = 0,523(D_k^3 - D_n^3) \quad (17)$$

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

$$\Delta M_{ш} = 0,523\rho_k(D_k^3 - D_n^3) \quad (18)$$

Принятый подход позволяет расчетным путем оценить неравномерность насыщения зерновок обогащаемым компонентом

$$\delta_{yo} = \frac{\delta}{\Delta \bar{M}} \cdot 100\% , \quad (19)$$

где δ – среднеквадратическое отклонение содержания обогатителя в составе зерновки соответствующей формы;

$\Delta \bar{M}$ – среднее значение прироста обогатителя в составе зерновки соответствующей формы.

Для показателя среднеквадратического отклонения применительно ко всем трем формам зерновок, имеем, что

$$\sigma = D^{0.5} = \pm \sqrt{\frac{\sum^n (\Delta M_i - \Delta \bar{M})^2}{n-1}}, \quad (20)$$

где D – дисперсия контролируемых величин параметров; $\Delta M_i = \varphi(t)$, определяемое по формуле (10).

Данную зависимость можно принять в качестве математической модели оценки увлаженно-обогащенного состояния зерновки по равномерности ее насыщения питательными веществами.

Выводы

На основе проведенных теоретических исследований обоснована структурно-функциональная схема процесса приготовления пастообразных и формованных продуктов с использованием увлаженно-обогащенного зерна, а также математическая модель оценки качества его водно-витаминно-минерального насыщения с обогащением питательными веществами. Разработанный подход позволяет также снизить затраты энергии на дезинтеграцию такого сырья при получении пастообразных продуктов.

Список использованных источников

1. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. - Л.: Колос, 1978. - 560 с.

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А.

Математическая модель оценки качества процесса получения

увлажненно-обогащенного зернового сырья

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

2. Миончинский П.Н., Кожарова Л.С. Производство комбикормов. - М.: ВО Агропромиздат, 1991. - 288 с.

3. Бурмага А.В., Чубенко А.В. Перспективная схема получения кормового продукта на основе зернового сырья //Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2021. – С. 139-143.

4. Мельников С.В. Поточные линии в животноводстве и кормопроизводстве: учебное пособие для слушателей ФПК. – Л.: СХИ, 1981. – 46 с.

5. Ожегов С.И. Словарь русского языка. – М., 1990. – 521 с.

6. Конченко Н.Ф., Трофимов С.К. Сортирование семян сои // Сборник научных трудов СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1986. – С. 16-18.

=====

Цитирование:

Бурмага А.В., Курков Ю.Б., Самуйло В.В., Панова Е.В., Чубенко А.В., Винокуров С.А. Математическая модель оценки качества процесса получения увлажненно-обогащенного зернового сырья [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_413.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202124413>.