

Таким образом, полученное уравнение служит для определения мощности, потребной на привод рабочего органа при технологическом процессе смешивания кормовых компонентов в вертикальном лопастном смесителе влажных кормов.

Выводы

1. Потребная мощность на привод рабочего органа вертикального лопастного смесителя влажных кормов в значительной мере зависит от геометрических размеров рабочих органов и физико-механических свойств смешиваемых компонентов, а также от коэффициента учитывающего удельное сопротивление движению элементов рабочего органа во влажной кормовой массе $k_{уд.с}$.
2. Полученная зависимость для определения мощности, потребной на смешивание кормовых компонентов в лопастном смесителе влажных кормов, может использоваться в инженерных расчетах при проектировании рабочих органов лопастных смесителей влажных кормов и расчете отдельных конструктивно-технологических параметров данных смесителей.

Библиография

1. Стрэнк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. – «Ленинградское отделение». Химия. – 1975. – 384 с.
2. Кафаров В.В. Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: «Высшая школа», 1991. – 400 с.
3. Руицо А.А., Селезнев А.Д. Экспериментально-теоретические основы расчета лопастных смесителей непрерывного действия. / Вопросы с.-х. механики. Мн.: Ураджай, 1971. – Т.20. – 143 с.
4. Мацукевич А.В. Обоснование параметров электрифицированного раздатчика-смесителя. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Мн.: 1986. – 21 с.
5. Передня В.И., Пунько А.И. Расчет потребной мощности на смешивание для одновального смесителя периодического действия. / Достижения науки и техники в АПК. 2000. – №10. – С32-33.

УДК 631.363.7

Гутман В.Н., М.В. Навышко
(РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВЛАЖНЫХ КОРМОВ

Введение

Анализ существующего технологического оборудования в области приготовления влажных кормосмесей показывает, что в настоящее время используется различное по конструктивно-технологическим параметрам оборудование, обусловленное различными по характеристикам смесителями, а также дифференцированными требованиями к отдельным операциям. При формировании каждой технологической линии по приготовлению кормов, где ключевым зве-

ном является смеситель кормов, оборудование подбирают исходя из ее часовой производительности, с учетом структуры линии, наличия в ней оперативных емкостей и длительности работы ее основных участков, а также ряда других технологических и технико-экономических факторов [1]. Наличие типоразмерного ряда смесителей влажных кормов позволяет наиболее эффективно использовать кормоприготовительное оборудование в зависимости от технологических и технико-экономических факторов.

Использование информации, заложенной в конструкциях кормоприготовительного оборудования, прошедшего длительную проверку практикой, является залогом успеха при проектировании типоразмерного ряда кормоприготовительного оборудования. Это является возможным при использовании теории подобия.

Применение теории подобия и размерности при проектировании кормоприготовительного оборудования обусловлено следующим:

1. При описании процесса смешивания влажных кормосмесей она позволяет перейти от исходных физических величин к некоторым обобщенным переменным – критериям подобия. Этим достигается уменьшение количества физических параметров (факторов процесса), описывающих явление, и обобщенный характер полученных результатов.

2. Появляется возможность заменить натуральный эксперимент изучением характеристик уменьшенной, физически подобной модели с последующим переходом от параметров модели к соответствующим параметрам реальной конструкции.

Задача разработчиков кормоприготовительного оборудования заключается в переходе от пилотных лабораторных установок к реальному объекту – смесителю влажных кормов. Здесь с помощью теории подобия и размерности возможно в значительной мере облегчить выполнение задач в области проектирования типоразмерного ряда смесителей влажных кормов.

На начальном этапе проектирования кормоприготовительного оборудования при использовании теории подобия исследуют рабочий процесс смешивания, а также определяют основные конструктивно-технологические параметры кормоприготовительного оборудования (смесителя влажных кормов). При изучении рабочего процесса конкретной машины, приходится иметь дело с целым набором величин, характеризующих ее функционирование. Среди них можно выделить определяющие параметры, которые часто называются факторами процесса. К ним относятся геометрические и кинематические параметры рабочих органов, а также характеристики используемых компонентов кормосмеси.

Согласно первой теореме теории подобия при подобии систем всегда могут быть найдены такие безразмерные комплексы величин (критерии подобия), которые для сходственных точек данных систем одинаковы по величине, т.е. такие явления характеризуются численно равными критериями подобия [3].

На характер процесса смешивания главным образом влияет ряд таких факторов как: потребляемая мешалкой мощность N , характерный геометрический размер рабочего органа, в данном случае наружный диаметр лопастей d ; частота вращения рабочего органа n ; динамическая вязкость μ и плотность ρ смешиваемой кормовой массы.

Перечень определяющих параметров составляет: N, d, n, μ, ρ , т.е. всего пять переменных. Выпишем единицы измерения всех величин перечня параметров:

$$[N] = \text{Вт} = \frac{H \cdot M}{c} = \left(\frac{\text{кг} \cdot M}{c^2} \right) \cdot \frac{M}{c} = \frac{\text{кг} \cdot M^2}{c^3}; \quad [d] = M; \quad [n] = \frac{1}{c};$$

$$[\mu] = \frac{H \cdot c}{M^2} = \left(\frac{\text{кг} \cdot M}{c^2} \right) \cdot \frac{c}{M^2} = \frac{\text{кг}}{M \cdot c}; \quad [\rho] = \frac{\text{кг}}{M^3}.$$

Независимые размерности в этом перечне – килограмм, метр и секунда.

Согласно π -теореме данное явление определяется двумя безразмерными комплексами параметров, так как $\pi = 5 - 3 = 2$ [4,5].

Составим из приведенного перечня параметров два независимых безразмерных комплекса. Для этого проведем предварительный анализ искомых зависимостей. Перемешивание – гидродинамический процесс, в который входит образование поля скоростей и давлений в жидкой среде и на который влияют силы вязкости и инерции. На основании анализа известных критериев гидродинамического подобия можно предположить, что на процесс влияют только критерии: Рейнольдса и Эйлера (табл.53).

Таблица 53. Основные критерии подобия гидродинамических процессов

Критерий	Формула	Физический смысл
Критерий Рейнольдса (критерий режима течения жидкости)	$Re = \frac{wl}{\nu} = \frac{Pe}{Pr}$	Отношение сил инерции к силам вязкостного трения в потоке. Характеризует режим течения жидкости
Критерий Эйлера (критерий подобия полей давления)	$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2}$	Мера отношения сил давления и скоростного напора
Критерий Галилея (критерий подобия силовых полей при свободном падении)	$Ga = \frac{gl^3 \rho^2}{\mu^2} = \frac{Re^2}{Fr}$	Отношения сил вязкостного трения и тяжести в потоке
Критерий Фруда (критерий подобия сил инерции и тяжести)	$Fr = \frac{w^2}{gl} = \frac{Re^2}{Ga}$	Мера отношения сил инерции и тяжести

Все критерии, характеризующие свободное движение, здесь неприменимы, так как исследуемое движение вынужденное, а критерий Фруда не может быть использован в анализе, так как влиянием движения под действием силы тяжести в исследуемом процессе пренебрегаем.

Комбинируя параметры (с возможным учетом критериев Рейнольдса и Эйлера), получим два безразмерных комплекса параметров:

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}; \quad \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}$$

Первый из этих комплексов совпадает по физическому смыслу с критерием Эйлера (Eu), т.е.

$$Eu = \left[\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} \right] = \left[\frac{\Delta p}{\rho \cdot v^2} \right],$$

где v – скорость кормовой массы, м/с;

Δp – перепад давлений, Па.

С учетом переводных коэффициентов, используемых при преобразовании параметров, можно утверждать, что первый из выписанных безразмерных комплексов пропорционален критерию Эйлера и может быть назван критерием мощности – $K_N = Eu_m$. Второй из этих комплексов пропорционален критерию Рейнольдса, т.е.

$$Re_m = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu} = \frac{\mu}{\rho}; \quad \frac{\mu}{\rho} = \nu; \quad [n \cdot d] = [\nu].$$

Таким образом, связь параметров можно искать в критериальной форме $Eu_m = f(Re_m)$.

Представим циркуляцию кормовых компонентов в смесителе как движение по замкнутому трубопроводу сложной формы, тогда критериальное уравнение для расчета потребляемой мощности типа

$$Eu = f(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots) [5],$$

где Eu – Критерий Эйлера (критерий подобия полей давления);

Re – Критерий Рейнольдса (критерий режима течения жидкости);

$\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$ – параметрические критерии, характеризующие геометрические размеры мешалки и смесителя.

В качестве определяющего линейного размера принимают диаметр мешалки d_M , а вместо линейной скорости кормовой смеси, среднюю величину которой определить практически нельзя, в критерии подобия подставляют окружную скорость конца лопасти мешалки:

$$v_{окр} = \pi \cdot d_M \cdot n / 60,$$

где n – частота вращения, с⁻¹.

Перепад давлений между передней и задней плоскостями лопасти мешалки выражают через полезную мощность N , введенную в кормовую смесь, по аналогии с мощностью насоса, расходуемой на перекачивание кормовой массы по трубопроводу:

$$\Delta p = \frac{N}{V_{сек}},$$

где $V_{сек} = F \cdot H \cdot m$ – объем перемещаемой кормосмеси, который определяется произведением объема кормосмеси в аппарате на кратность циркуляции, M^3/c ;

F – площадь поперечного сечения аппарата, M^2 ;

H – высота уровня кормосмеси в аппарате, M ;

m – кратность циркуляции, c^{-1} .

Выразим размеры аппарата через диаметр мешалки, так как эти размеры взаимосвязаны:

$$F = C_2 \cdot d_M^2; \quad H = C_3 \cdot d_M,$$

а кратность циркуляции можно принять пропорциональной частоте вращения мешалки:

$$m = C_4 \cdot n.$$

С учетом того, что $v = C_1 \cdot v_{окр} = C_1 \pi \cdot d_M \cdot n = C_5 \cdot d_M \cdot n$, получим модифицированный критерий Эйлера:

$$Eu_m = \frac{N}{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5)}.$$

Исключив коэффициенты пропорциональности C_2 , C_3 , C_4 и C_5 , получим модифицированные критерии Эйлера и Рейнольдса:

$$Eu_m = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_M^5}, \quad Re_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu_{ж}},$$

где ρ – плотность кормосмеси, $кг/м^3$;

$\mu_{ж}$ – вязкость, $Па \cdot с$.

Тогда связь между модифицированными критериями выразится уравнением $Eu_m = f_1(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$, конкретный вид которого для каждого типа мешалки определяют экспериментальным путем.

После преобразований получим упрощенное критериальное уравнение: $Eu_m = A(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$. Значения коэффициента A и показателей степеней зависят от типа мешалки, конструкции смесителя и режима перемешивания, и их находят экспериментально[2].

На потребляемую мешалкой мощность, кроме того, значительное влияние оказывают форма аппарата и расположение мешалки в нем. Для аппаратов, форма которых отличается от цилиндрической, а также при размещении в смесителе перегородок, змеевиков и т.д., потребляемая при перемешивании мощность возрастает[2, 4, 5].

Представленные зависимости позволяют по заданной на основании экспериментальных данных интенсивности перемешивания подобрать методом последовательных приближений тип мешалки, ее размеры и частоту вращения и рассчитать мощность двигателя для привода мешалки.

По рабочему объему аппарата V_p и требуемой интенсивности перемешивания j определяют потребляемую мешалкой мощность [в $H \cdot м/(м^3 \cdot с)$]

$$N = j \cdot V_p.$$

Затем выбирают тип мешалки, ее размеры и частоту вращения.

По значению Re_m определяют частоту вращения мешалки:

$$n = Re_m \cdot \mu_{ж} / (d_M \cdot \rho). \quad (1)$$

Если найденная из этого соотношения частота вращения окажется меньше или больше предварительно принятой, то задаются другим ее значением: большим или меньшим. Расчет проводят до совпадения предварительно принятой частоты вращения мешалки с найденной из соотношения (1).

Если полученную в результате такого расчета частоту вращения мешалки представляется целесообразным увеличить или уменьшить, для этого соответственно уменьшают или увеличивают предварительно принятый диаметр мешалки.

Мощность двигателя ($B \cdot км$) вычисляют по уравнению:

$$N_D = N / \eta,$$

где η — коэффициент полезного действия привода.

Таким образом, представленные зависимости позволяют на основании экспериментальных данных подобрать методом подобия основные конструктивно-технологические параметры (тип мешалки, ее размеры и частоту вращения и рассчитать мощность двигателя для привода мешалки) смесителя влажных кормов, используя предварительные конструктивно-технологические параметры смесителей, входящих в типоразмерный ряд.

Выводы

1. Перемешивание влажных кормосмесей механическими мешалками может происходить при ламинарном или турбулентном режиме. При ламинарном режиме $Re < 20$ перемешиваются слои кормосмеси, которые непосредственно примыкают к лопастям мешалки. При $Re > 100$ имеет место турбулентный режим перемешивания.

2. В области развитой турбулентности число Эйлера практически не зависит от критерия Рейнольдса. В этой автомодельной области увеличение частоты вращения мешалки приводит к увеличению затрачиваемой энергии без достижения желаемого эффекта.

3. Приведенные зависимости для определения основных конструктивно-технологических параметров (тип мешалки, ее размеры, частота вращения, мощность двигателя для привода мешалки) вертикального смесителя влажных кормов, могут использоваться при проектировании типоразмерного ряда смесителей влажных кормов и расчете отдельных конструктивно-технологических параметров данных смесителей.

Библиография

1. Голушко В.М., Иоффе В.Б., Гутман В.Н. Приготовление кормов для свиней. Минск: Ураджай, 1990. – 216 с.
2. Федоренко И.Я. Переработка сельскохозяйственного сырья на малогабаритном оборудовании. Барнаул: Алтайский университет, 1998. – 317 с.
3. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М.: «Высшая школа», 1991. – 400 с.
4. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. М.: Наука, 1965, – 384 с.
5. Пляксин Ю.М., Малахов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 2005. – 760 с.
6. Минько Ф.Ф., Бурдыко В.М. и др. Механизация технологических процессов на свиноводческих фермах и комплексах (рекомендации). Минск: Минсельхозпрод РБ, 1998. – 45 с.

УДК 664.83

В.В. Чуешков

(РУП «БелНИИ ПП»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Для получения натуральных красящих веществ в качестве исходного сырья можно использовать морковь, столовую свеклу, ягоды и другое сырье. Подготовленный из сырья сухой полуфабрикат следует подвергать обработке до конечного продукта требуемой степени измельчения. Основной операцией при этом является измельчение материала, приготавливаемого на измельчителе молоткового типа. Качество материала, затраты энергии и труда зависят от рабочих органов и производительности измельчителя. Как известно, назначение измельчителя состоит в том, чтобы придать исходному материалу требуемую степень измельчения. В РУП «БелНИИ пищевых продуктов» разработана технологическая линия с комплексом оборудования для обработки материала. В линии ответственной операцией является измельчение продукта до требуемой степени измельчения. Такая технологическая линия для производства пищевых красителей из натурального сырья налажена и смонтирована в ДУПП «Технопрод» в г. Марьина Горка Минской области.

Производительность линии – 15...20 кг/ч, установленная мощность – 50 кВт, занимаемая площадь – 132 м², габариты: длина – 40 м, ширина – 3,3 м и высота – 4,5 м.