

УДК 536.2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДУЛЮВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КРИТЕРІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ

І.І. Гапонюк, д.т.н., НУХТ, м. Київ, zenidtar@gmail.com

Анотація. Викладено актуальність, фізичну сутність та математичні описання перебігу процесів тепло-масообміну, енергетичного балансу і конвективного сушіння малорухомого шару капілярно-пористих колоїдних тіл. Виконано аналіз спрощених форм математичного описання результатів експериментальних досліджень за допомогою критеріальних рівнянь.

Ключові слова: шар капілярно-пористих колоїдних тіл, теплота, волога, течія газів, теплообмін, волого обмін.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КРИТЕРИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ

И.И. Гапонюк, д.т.н., НУПТ, г. Киев, zenidtar@gmail.com

Аннотация. Изложена актуальность, физическая сущность и математические описания процессов теплового массообмена, энергетического баланса и конвективной сушки малоподвижного слоя сыпучих капиллярно-пористых коллоидных тел. Выполнен анализ упрощенных форм математического описания результатов экспериментальных исследований с помощью критериальных уравнений.

Ключевые слова: слой капиллярно-пористых коллоидных тел теплота, влага, течение газов, теплообмен, влагообмен.

MATHEMATICAL DESIGN OF EXPERIMENTAL RESEARCHES BY CRITERION EQUALIZATIONS

I. Gaponyuk, d.t.s., NUFT, Kiev, zenidtar@gmail.com, Ukraine

Annotation: Actuality, physical essence and mathematical descriptions of motion of processes of thermal mass-transfer, power balance and конвективного drying of not mobile layer of grain, is expounded. The analysis of the simplified forms of mathematical description of results of experimental researches is executed by means of criterion equalizations

Keywords: layer of grain, warmth, moisture, flow of gases, heat exchange, moistly exchange.

Введение.

Для математического описания любого процесса по составляющим затратам средств и времени - принимают количественную оценку составных явлений этого процесса, которые происходят в заданных условиях с допустимыми отклонениями (погрешностями) [3].

Объекты и методы исследований.

Основными способами математического описания считают обычные алгебраические и критериальные уравнения, обычные дифференциальные и дифференциальные уравнения в частях их производных, и тому подобное.

Рассмотрим использование этих форм описания с целью упрощения расчетов и затрат времени на моделирование этих процессов [3].

Критериальные уравнения обобщенного вида обычно используют тогда, когда устанавливаемая величина входит в неизвестное число в уравнении подобия. Например, для определения потерь давления ΔP , при перемещении жидкостей и газов, можно использовать число Эйлера, для определения коэффициента тепловой отдачи α , числа Нуссельта, Стентона или Био.

Свойства среды (рабочего агента) c , λ , μ определяют числом Прандтля, массоотдачи β - числом Нуссельта и так далее.

После этого складывают критериальное уравнение методом анализа размерностей или непосредственно исследовательским методом на соответствующей экспериментальной установке.

Например, коэффициент теплообмена α определяют с помощью критериальных уравнений типа [1, 2]:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m \cdot \Gamma^p \quad (1)$$

Вначале пытаются определить зависимость $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$ от величин, которые входят в это критериальное уравнение $Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu}$, $Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$, $\Gamma = \frac{l}{d}$.

А они в свою очередь зависят от характеристик рабочего агента (λ , ρ , μ , c), режимов нагревания-охлаждения и характеристики нагреваемого продукта v , l .

При этом следует поставить меньше всего опытов по методике складывания критериальных уравнений. Для трех режимов (температура, скорость, и тому подобное) количество опытов представляет $n=2 \times 3 \times 10=60$ повторений (опыты выполняют в двух повторностях). При увеличении чисел подобия в критериальных уравнениях число опытов увеличивается к $n \times 30 \times 2$.

Учитывая влияние отдельных факторов l , v , λ , ρ , μ , c можно также воспользоваться многофакторными планированиями при условии, что эти факторы независимы. Поскольку почти все факторы находятся в зависимости один от другого при описании процессов ВТО, независимыми могут быть только l , v и T , а последние соотносятся между собой, как это показывают сами числа подобия.

В последнем случае при многофакторном эксперименте можно ограничить восемью опытами или поставить несколько однофакторных опытов по уравнению $q = \alpha \cdot F \cdot (T_3 - T_n)$.

При этом также надо поставить не меньше как 30×2 опытов, кроме выполнения которых возникают дополнительные осложнения с решением критериальных уравнений. Для определения кинетических коэффициентов α и β традиционными экспериментальными методами чаще всего используют полученные величины удельных расходов теплоты q и массы m , локальные значения температуры T_i и концентрации c_i около поверхности и во внутренних слоях, которое является составляющими уравнений энергетического или материального балансов $q = \alpha \cdot F \cdot (T_3 - T_n)$ та $m = \beta \cdot F \cdot (c_p - c_n)$

Заметим, что при теплообмене твердых частиц с потоком жидкости теплопроводимость частиц на два порядка больше от теплопроводимости газов ($A=0,1...0,01$). В связи с этим выравнивание температуры по объему частичек слоя капиллярно-пористых коллоидных тел происходит практически мгновенно в сравнении с теплообменом в течении рабочего агента. Полагают, что температура на всех точках поверхности t_3 одинакова и отвечает температуре во внутренних слоях капиллярно-пористого тела. Для газов диффузионное $Pr' = Sc = \frac{\nu}{D}$ и тепловое число Прандтля $Pr = \frac{\rho \cdot c \cdot \nu}{\lambda}$ практически одинаковые, а при условии $Nu' = Sh = Nu$ выплывает соотношение $\alpha = c \cdot \rho \cdot \beta$ и $Nu' = Sh = \frac{\beta \cdot d}{D}$.

Результаты и их обсуждение.

Недостатком приведенных соотношений является то, что они описывают зависимость только от значений движущих сил ΔT и ΔC и формально не учитывают другие изменения свойств капиллярно-пористых коллоидных тел и рабочего агента. Критериальные уравнения учитывают эти изменения, но при этом усложняется процесс исследований и увеличивается вероятность погрешности.

Сложности заключаются в потребности измерений на опытной установке всех составляющих величины, которые есть в каждом месте подобия (температура, скорость, вязкость, давление, и тому подобное), а потом определить и записать значение определяющих критериев.

Поскольку критериальное уравнение является степенной, то есть нелинейной функцией, то для определения коэффициентов регрессии (показателей степени) нелинейное уравнение следует привести к линейному. Т.е. следует способом приведения координат полученной экспериментальной зависимости к соответствующей шкале для получения линейной функции, которую и считают искомой зависимостью между критериями. Отдельные сложности возникают при определении величины давления ΔP , что входит в число Eu .

При увеличении числа определяющих критериев количество превращений увеличивается, а определение показателей степени становится хлопотливой трудоемкой операцией, что связано с измерением значительного количества точек, и не всегда бывает оправданной.

Наиболее простым примером определения постоянных в критериальных уравнениях может быть зависимость [4]

$$Eu = C \cdot Re^n, \quad (2)$$

Для этого логарифмируя это уравнение можно получить уравнение прямой линии $\ln Eu = \ln C + n \ln Re$. Через полученные за опытными данными точками строят график зависимости $\ln Eu - \ln Re$. Показатель степени n находят как тангенс угла наклона прямой к линии абсцисс, а постоянную C как отрезок, который отсекается на оси ординат.

Уравнения Навье-Стокса и Фурье-Кирхгофа сложно развязываются и непосредственное их использование для практических заданий описания

процессов теплообмена очень ограничено. Поэтому для решения практических задач, то есть для установления связи между характеристиками процесса используют экспериментальные исследования, которые осуществляют не на натуральных объектах, а на их моделях (лабораторных установках).

В обобщенном виде используют теории подобия при исследовании процессов сушки и активного вентилирования неподвижного слоя сыпучих капиллярно-пористых коллоидных тел предоставил В.Ф. Сорочинский. В частности для определения коэффициента массообмена β (м/с) процессов сушки и охлаждения им составлено уравнение [5]

$$Nu_m = 3,8 \cdot 10^{-3} Fo_m^{-0,78} Re^{0,44} \quad \text{и} \quad Nu_m = 2,6 \cdot 10^{-3} Fo_m^{0,51} Re^{0,34},$$

$$\text{где, } Nu_m = \frac{\beta \cdot \ell}{D} \quad \text{диффузионное число Нусельта (Шервуда); } Fo_m = \frac{D \cdot \tau}{e^2}$$

диффузионное число Фурье.

Заключение и выводы.

Подытоживая изложенное можно отметить, что использование теории подобия при исследовании процессов тепло-массообмена в неподвижном слое капиллярно-пористых коллоидных тел имеет определенные особенности, которые связаны с неоднозначностью характеристик слоя капиллярно-пористых коллоидных тел, как объекта сыпучих капиллярно-пористых тел, и заданиями исследований. Во-первых характеристики слоя капиллярно-пористых коллоидных тел, как капиллярно-пористого объекта имеют вероятностные значения и распределяются по закону близкому к нормальному. Во-вторых, надо корректно определить задание исследований, которые имеют ограниченный характер и представить его как совокупность упрощенных.

Преимуществом использования метода анализа размерностей в исследованных процессах слоя капиллярно-пористых частичек является то, что экспериментальная установка используется ограниченно, или вовсе не используется, поскольку вероятностный характер распределения характеристик неподвижного слоя сыпучих капиллярно-пористых коллоидных тел дает возможность выбрать и исследовать весь диапазон изменения параметров для создания математических зависимостей между первичными и вторичными характеристиками с помощью соответствующей обработки экспериментальных данных. О недостатках использования метода анализа размерностей отмечено выше.

Литература

1. Остапчук М.В. Математическое моделирование на ЭВМ / М.В. Остапчук, Г.М. Станкевич. - Одесса, Печать, 2006. - 368 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств / За ред. И.Ф. Малевича. - К.: НУХТ, 2003. - 511 с.
3. Сорочинский В.Ф. Повышение эффективности конвективной сушки и охлаждения на основе интенсификации теплообменных процессов. Автореферат дис. докт. техн. наук. - М.: МГУПП, 2003. - 39 с.

4. Остапчук Н.В. Гидравлическое течение жидкости в процессе мойки зерна / Н.В.Остапчук, А.А. Гончарук, С.Т.Танстанбеков // Научные труды ОДАХТ, 2002.- Вып. 24. - С. 316.