

**ЕДИНЫЙ ПОДХОД К КИНЕТИКЕ И МОДЕЛИРОВАНИЮ СУШКИ
РАСТВОРИТЕЛЕЙ, ПОКРЫТИЙ, ЖИДКИХ ДИСПЕРСИЙ,
КРИСТАЛЛООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ И
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Н.Ц. Гатапова, В.И. Коновалов

Кафедра «Химическая инженерия», ТГТУ

Реферат препринта № 09

Ключевые слова и фразы: граничные условия тепло-массопереноса; задачи теплопроводности и диффузии; комплексные промышленные процессы; модели и реальность; сопутствующие явления; сушка и тепловая обработка; элементарные явления; эффективные характеристики тепло-массопереноса.

Аннотация: В препринте рассматриваются первичные и сопутствующие явления переноса и превращения в процессах сушки и тепловой обработки материалов, а также комплексные промышленные процессы сушки и другие. Показывается, что число явлений, определяющих промышленный процесс, может достигать десятков и даже сотен. Обсуждаются виды моделей, применяемых для описания явлений и процессов, и основные подходы к их физическому и математическому моделированию. Анализируются причины неадекватности многих существующих моделей реальным процессам. Приведены 11 примеров сопоставления «модель – реальность» для основных групп процессов химической технологии. Отмечены проблемы, остающиеся в этих примерах открытыми. Разработана кинетическая классификация материалов как объектов сушки, включающая комплект из 6 основных видов температурно-влажностных зависимостей. Описан единый кинетический подход, включающий методологию экспериментальных исследований и математического моделирования процессов сушки материалов с существенной температурной кинетикой. Приведены примеры аналитических решений и инженерных расчетных зависимостей.

Проведенные в последние годы на кафедре «Химическая инженерия» («Процессы и аппараты химической технологии») ТГТУ экспериментальные и теоретические работы по испарению растворителей, сушке пропиточно-промазочных составов и покрытий, сушке дисперсий и кристаллообразующих растворов, сушке и термообработке волокнистых полимерных, асбесто-целлюлозных и других рулонных материалов, тепловой обработке рулонных и формованных резинотехнических изделий и дополнительный сопоставительный анализ ранее проведенных исследований позволили выполнить настоящее обобщение результатов и сформулировать единый инженерно-физический подход к анализу кинетики процессов и разработке кинетической классификации материалов как объектов сушки, к соз-

данию единой комплексной методологии физического и математического моделирования обширной группы тепло-массообменных процессов. К этой группе относятся: разнообразные процессы обработки покрытий на подложках, сушки первоначально жидкотекучих водных и органических дисперсий, сушки и термообработки волокнистых и других грубодисперсных материалов, а также многие другие процессы сушки до умеренных влагосодержаний при разных способах теплоподвода (конвективном, в том числе с сопловым обдувом, инфракрасном, кондуктивном, в среде перегретого водяного пара и пр.). Такой подход называется нами «единым», поскольку он применим ко всем крупно-капиллярно пористым материалам с существенной температурной кинетикой.

В этом случае удается экспериментально изучать, сопоставлять и анализировать температурные $T(\tau)$ и температурно-влажностные $T(u)$ зависимости сушки, что позволяет непосредственно использовать их для «физического» описания и более надежного математического моделирования взаимосвязанных процессов сушки и нагрева.

Такой подход позволяет также выявлять, непосредственно моделировать и учитывать другие специфичные явления переноса, часто лимитирующие скорость процесса или качество продукта, например: пленкообразование, образование кристаллов и структурирование; усадку, вытяжку и трещинообразование; образование внутренних пор или пузырьков пропиточного состава на поверхности материала; влияние сушки на внешний тепло-массообмен и др.

На этой основе разработана кинетическая классификация обрабатываемых материалов, методология комплексных экспериментально-теоретических исследований процессов и инженерного проектирования оборудования для сушки и термообработки, которая подтвердила свою эффективность для всех исследованных групп материалов.

В препринте анализируются также причины неадекватности многих существующих моделей различным реальным гидромеханическим, тепло-массообменным и химическим процессам и даются соответствующие рекомендации. Приведены из практики кафедры и авторов соответствующие примеры для основных групп процессов и аппаратов: жидкостной экстракции, масштабного перехода, особенностей коэффициентов тепло- и массоотдачи в промышленных условиях, сушки с физико-химическими и структурно-реологическими превращениями, циклических процессов, мембранного разделения.

*Dedicated to 100th anniversary
of Petr Grigoryevich Romankov*

**Unified Approach to Kinetics and Modeling of Drying
of Solvents, Coatings, Liquid Dispersions, Crystal-Forming Solutions
and Fibrous Materials**

N.Z. Gatapova, V.I. Konovalov

Chemical Engineering Department, TSTU

Key words and phrases: boundary conditions of heat-mass transfer; tasks of heat conductivity and diffusivity; complex industrial processes; models and reality; accompanying phenomena; drying and heat processing; elementary phenomena; efficient coefficients of heat-mass transfer.

Abstract: Initial and accompanying phenomena of transfer and conversion in the process of drying and heat processing of materials as well as complex industrial drying process and others are considered. It is shown that the number of phenomena determin-

ing industrial process can reach tens and even hundreds. Types of models applied to phenomena and processes description and basic approaches to physical and mathematical modeling are discussed. Reasons for inadequacy of many existing models to real processes are analyzed. 11 examples of comparison "model – reality" for basic groups of chemical technology processes are given. Problems, which remain open in these examples, are pointed out. Kinetic classification of materials as objects of drying is developed; it contains a set of 6 basic types of temperature-moisture relationships. Unified kinetic approach, which contains methodology of experimental research and mathematical modeling of processes of drying of materials with significant temperature kinetics is described. The examples of analytical solutions and engineering calculating dependencies are given.

Die einheitliche Einstellung zur Kinetik und der Modellierung der Trocknung von Lösungsmitteln, Deckungen, flüssigen Dispersionen, kristallbildenden Lösungen und Faserstoffen

Zusammenfassung: Es werden die primären und begleitenden Erscheinungen der Übertragung und der Umwandlung in den Prozessen der Trocknung und der thermischen Bearbeitung der Stoffe, sowie die komplexen industriellen Prozesse der Trocknung und andere betrachtet. Es wird aufgezeigt, daß die Zahl der Erscheinungen, die den industriellen Prozeß bestimmen, Dutzende und sogar Hunderte erreicht werden kann. Es werden die Arten der Modelle, die für die Beschreibung der Erscheinungen und der Prozesse verwendet werden, und die Hauptprinzipien ihrer physischen und mathematischen Modellierung besprochen. Es werden die Gründe der Unadequätheit vieler existierender Modelle den realen Prozessen analysiert. Es sind 11 Beispiele der Gegenüberstellung "Modell – Realität" für die Hauptgruppen der Prozesse der chemischen Technologie angeführt. Es sind die Probleme, die in diesen Beispielen geöffnet bleiben, gezeigt. Es ist die kinetische aus 6 Hauptarten temperaturfeuchtigen Abhängigkeiten bestehende Klassifikation der Stoffe als der Objekte der Trocknung ausgearbeitet. Es ist das einheitliche kinetische Prinzip, das die Methodologie der Experimentalforschungen und der mathematischen Modellierung der Prozesse der Trocknung der Stoffe mit der wesentlichen Temperaturkinetik einschließt, beschrieben. Es sind die Beispiele der analytischen Lösungen und der ingeniermässigen Rechenabhängigkeiten angeführt.

Approche unique envers la cinétique et le modélage du séchage des solvants, des recouvrements, des dispersions liquides, des matériaux fibreux

Résumé: Sont examinés les phénomènes primaires et secondaires du transfert et de la transformation dans les processus du séchage et du traitement thermique des matériaux, ainsi que les processus industriels complexes du séchage et autres. Il est montré que le nombre des phénomènes qui définissent le processus industriel peut atteindre plusieurs dizaines et même centaines. Sont discutés les types des modèles qui sont appliqués pour la description des phénomènes et des processus et les approches essentielles pour leur modélage physique et mathématique. Sont analysées les raisons de la non-conformité de beaucoup de modèles existants aux processus réels. Sont cités 11 exemples de la comparaison "modèle – réalité" pour les groupes essentiels de la technologie chimique. Sont marqués les problèmes qui restent irrésolus dans ces exemples. Est élaborée la classification cinétique des matériaux comme objet du séchage comprenant un ensemble de 6 types des dépendance de température et d'humidité. Est décrite l'unique approche cinétique comprenant la méthode des recherches et du modélage mathématique des processus du séchage des matériaux avec une cinétique de température considérable. Sont cités les exemples des solutions analytiques et des dépendances d'ingénieur.