

## Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)

### ОТ РЕДАКЦИИ

В настоящей дополнительной рубрике журнала и в следующих выпусках «Вестника ТГТУ» публикуется ряд докладов, лекций и тезисов сообщений на 3-й Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ–2008» и на Школе молодых ученых, аспирантов и молодых преподавателей СЭТТ–2008, Москва – Тамбов, 16–20 сентября 2008 г.

### EDITORIAL

*The given additional rubric of the journal and the some following issues of "TSTU Transactions" publish a number of reports, lectures and abstracts at the 3<sup>rd</sup> International Scientific-Technical Conference "Energy-Saving Technologies for Drying and Hygro-Thermal Processing – DHTP–2008" as well as at School of Young Scientists, Postgraduates and Lectures DHTP–2008, held in Moscow – Tambov, 16–20 September, 2008.*

УДК 66.047

### RECENT FOREIGN RESEARCHES ON DRYING AND HYGROTHERMAL PROCESSING: STATUS AND TRENDS (1. Bibliography. 3. Software)\*

V.I. Konovalov<sup>1</sup>, T. Kudra<sup>2</sup>, N.Z. Gatapova<sup>1</sup>

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia (1);  
CANMET Energy Technology Centre, Varennes, Montreal, Canada (2)*

**Key words and phrases:** References on Drying and Energy-Saving; Pore Network Models; Fractal Theory; Fuzzy Sets; Neural Networks; Software; Energy-Savings; Process Integration; Pinch Analysis; Onion Model; Heat Pumps; Vortex Tubes; Ranque-Hilsch Effect; Intermittent Drying; Pulse Combustion Drying; Tube Bundle Dryers; Disk Dryers; Mechanical Dewatering; Synergy between Evaporation, Crystallization, Filtration and Drying; Osmotic and Electro-Osmotic Dewatering; Mechanical Thermal Expression; Electric Field in Drying and Dewatering.

**Abstract:** The new foreign researches (mainly – since last DHTP–2005 Moscow conference) on drying and hygrothermal processing are considered on this plenary lecture. Some key results and tendencies are analyzed. Numerous references in the field are cited.

---

\* Разделы 00, 1 и 3 Пленарного доклада на конференции СЭТТ–2008, (Москва, 16 сентября 2008 г.). Стиль доклада, в основном, сохранен. Другие разделы доклада, публикуемые далее, совмещаются с лекциями на Школе СЭТТ–2008.

## 00. СОДЕРЖАНИЕ

В докладе рассматриваются новые (в основном – после предыдущей конференции СЭТТ–2005) зарубежные исследования в области сушки и термовлажностной обработки материалов, анализируются некоторые основные результаты и тенденции, приводится обширная библиография. Содержание основных разделов доклада дано ниже.

**1. Литература (Bibliography).** Даются библиографические ссылки и краткие комментарии-рекомендации на новые книги по сушке, энергосбережению и смежным вопросам, в том числе: А. Муджумдар (Ред.). Справочник по промышленной сушке. 3-е изд. Нью-Йорк. 2007; Т. Кудра, А. Муджумдар. Передовые сушильные технологии. 2-е изд. Нью-Йорк. 2009; Я. Кемп. Пинч-анализ и процессная интеграция. 2-е изд. Лондон. 2007 и др. Приводятся характеристики некоторых основных журналов и конференций.

**2. Некоторые вопросы теории переноса.** Капиллярные модели поровой структуры (**Pore Network Models**), перколяционные системы, кластеры. Фрактальные модели (**Fractal Theory**), микро- и макроструктура. Микро- и наноразмерные структуры. Механизм сушки.

**3. Математическое и компьютерное моделирование.** Нечеткие системы (**Fuzzy Sets**). Нейронные сети (**Neural Networks**). Компьютерные программы (**Software**).

**4. Энергосбережение, интегрированный подход, пинч-анализ, луковичная модель (Energy-Saving, Process Integration, Pinch Analysis, Onion Model).** Методология энергосбережения, основанная на интегрированном (комплексном, системном) подходе к производству в целом, к системе всех аппаратов, анализе суммарных горячих и холодных потоков, выявлении пинчей (узких, лимитирующих мест), с луковичной моделью производства (оболочечной иерархической схемой). Первые публикации появились в конце 1970-х годов (Нью-Йорк, Манчестер, Цюрих). Методология сейчас является весьма популярной, успешно используется рядом ведущих мировых фирм. В России стала упоминаться, в основном, только в последние годы.

**5. Термокомпрессия. Тепловые насосы (Heat Pumps),** разновидности циклов, схем, машин и аппаратов (компрессионные, абсорбционные, адсорбционные, химические). **Вихревые трубы** на эффекте **Ранка-Хилша (Vortex Tubes based on the Ranque-Hilsch Effect)**, возможности использования горячего потока для сушки.

**6. Прерывистая сушка (Intermittent Drying).** Стала весьма популярной за рубежом. В СССР и в России выполнены многочисленные работы по различным вариантам такой сушки (осциллирующая, циклично-импульсная, при переменных режимах и пр.). О зарубежных работах в этой области в российской печати почти не упоминается.

**7. Сушка с пульсационным сжиганием топлива (Pulse Combustion Drying).** Имеются примеры успешного промышленного применения (в основном – в США). При этом повышается полнота сгорания, снижается избыток расхода воздуха, уменьшается выброс  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , увеличивается интенсивность сушки, снижаются общие энергозатраты.

**8. Кондуктивно-конвективные сушилки.** Роторные трубчатые и роторные дисковые сушилки (**Tube Bundle Dryers, Disk Dryers**) с вращающимися паровообогреваемыми роторами. Отличаются высокой поверхностью теплообвода (до  $1100 \text{ м}^2$ ), большой производительностью (до  $10000 \text{ кг/ч}$  по испаренной влаге), малой удельной металлоемкостью (по нашему анализу, металлоемкость в  $\text{кг/кг}$  испаренной влаги в час в 5–10 раз меньше, чем у вальце-ленточных сушилок). Весьма актуальны для ряда развивающихся производств в России и СНГ.

**9. Предварительное или сопутствующее механическое и другое обезвоживание (Mechanical and other Dewatering).** Взаимосвязь (в том числе синергизм) процессов выпаривания – кристаллизации – фильтрации – сушки (**Synergy between Evaporation, Crystallization, Filtration and Drying**). Осмотическое, электроосмотическое, комбинированное обезвоживание (**Osmotic and Electro-Osmotic Dewatering**). Механо-термический отжим (**Mechanical Thermal Expression**). Сушка и обезвоживание в электрических полях (**Electric Field in Drying and Dewatering**).

**10. Сушка различных материалов.** Особо интенсивно развивается сушка пищевых и агропромышленных продуктов, ряда строительных, химических и новых (в том числе нано-) материалов.

**11. Сушка в разных странах.** Характерно быстрое развитие сушильных исследований и современных научных школ в ряде развивающихся стран (Азия, Австралия, Африканские страны, Южная Америка).

## 0. ПРЕДИСЛОВИЕ

*Кроме настоящего пленарного доклада на конференции СЭТТ, на Школе в Тамбове, 19 сентября на 1-м пленарном заседании нами прочитаны три лекции для молодых ученых, аспирантов и преподавателей:*

**1) Коновалов В.И., Кудра Т. (Канада), Гатапова Н.Ц.**

**Основные пути энергосбережения** в процессах сушки и термовлажностной обработки.

**Инженерная конструктивно-технологическая оптимизация** сушильных процессов и оборудования.

**2) Коновалов В.И., Кудра Т. (Канада), Пахомов А.Н.**

**Современные аналитические подходы к энергосбережению** в процессах и аппаратах.

**Математическая оптимизация. Термодинамическая оптимизация. Эксергетический анализ. Интегрированный подход. Пинч-анализ. Луковичная модель.**

**3) Коновалов В.И., Кудра Т. (Канада), Колиух А.Н.**

**Современное оборудование для комбинированной кондуктивно-конвективной сушки и термообработки.**

В лекциях-докладах на Школе будут затронуты не только зарубежные исследования, но и **отечественные работы**, а также будут даны некоторые **продвинутые материалы на базе лекционных курсов** по энерго- и ресурсосбережению, которые мы последние 5 лет читаем в ТГТУ для наших магистрантов и студентов старших курсов.

**В конце 2008 – начале 2009 гг. эти доклады и лекции планируется опубликовать.**

В настоящем пленарном докладе затронуты все перечисленные вопросы, но только (в основном) по зарубежным работам. Исследования, выполняемые **в Украине и в Белоруссии не затрагиваются**, поскольку в нашей конференции участвуют руководители и ведущие сотрудники ИТТ НАН Украины (акад. А.А. Долинский, проф. Ю.Ф. Снежкин и др.) и ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси (проф. В.Н. Павлюкевич, проф. П.В. Акулич и др.).

## 1. ЛИТЕРАТУРА (BIBLIOGRAPHY) И ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

При подготовке этого доклада мы имели в виду в основном новые, появившиеся **после предыдущей конференции СЭТТ–2005, зарубежные исследования** в области сушки, термовлажностной обработки и в некоторых смежных областях.

К сожалению, приходится отмечать, что с литературой по этой тематике в России сейчас положение безобразное: **даже РГБ и ГПНТБ не имеют самых важных книг, журналов и трудов зарубежных международных конференций.**

**Есть предложение поручить нашему Оргкомитету подготовить перечень важнейших зарубежных изданий такого рода и лично обсудить с руководством РГБ и ГПНТБ возможности их приобретения и подписки. Некоторые из них целесообразно рекомендовать для перевода и издания на русском языке, возможно – через спонсоров или через РФФИ.**

Пока же приходится добывать литературу и информацию с большим трудом: по личным контактам, как члену редколлегии и оргкомитетов, в зарубежных поездках (ксерокопированием в библиотеках, покупкой со скидками и пр.), иногда – через online, изредка даже выписывать за доллары через Amazon, а узнавать о работах – аналогичными путями, а также через сайты ведущих издательств или через электронные каталоги ведущих зарубежных библиотек, прежде всего – Библиотеки конгресса США, Вашингтон. Из Интернета удастся использовать, к сожалению, только некоторые, наиболее надежные источники.

Назовем некоторые, **недавно вышедшие или выходящие в ближайшее время, важнейшие общие книги.** По отдельным частям доклада библиография будет даваться также по ходу изложения.

[1]. 3-е издание «Справочника по промышленной сушке» под редакцией А. Муджумдара: **A.S. Mujumdar (Edit.). Handbook of Industrial Drying. 3rd Ed. New York: Taylor&Francis, 2007. 1280 pp.** 3-е издание вышло в одном крупноформатном томе, предыдущие 2 издания были в 2-х томах. Во 2-м издании было 1423 стр., то есть объем почти не изменился. К сожалению, из приложения исключен важный раздел общей библиографии с комментариями. В новом издании – 4 части, 53 раздела и, как обычно (в отличие от наших изданий), – квалифицированные указатели. Все разделы переработаны или написаны заново, введены **13 новых разделов**, в том числе по предварительному механическому или другому обезвоживанию, по новым способам сушки, по сушке новых материалов, в том числе наноразмерных и др. Коллектив **авторов и редакторов – 69 человек**, профессионалов в соответствующих областях из разных стран мира, среди которых, к сожалению, – нет ни одного из России и бывших республик СССР.

[2]. 2-е издание книги Т. Кудры и А. Муджумдара «Передовые сушильные технологии»: **T. Kudra, A.S. Mujumdar. Advanced Drying Technologies. 2nd Ed. New York: Taylor&Francis, 2009. ~ 500 pp.** Книга выходит в январе-феврале 2009 года. Как и в первом издании, в ней рассматриваются и анализируются перспективные технологии сушки и обезвоживания, **новые конструкции сушильно-термического оборудования**, обсуждаются вопросы **энергосбережения** и экологии. В книге 5 частей, **34 раздела**, обширные указатели и библиография.

[3]. 2-е издание книги С.М. Вэйласа «Выбор и конструирование оборудования для химических процессов». Сейчас это: **James R. Couper, W. Roy Penny, James R. Fair and Stanley M. Walas. Chemical Process Equipment: Selection and Design. 2nd Ed. London: Elsevier, 2005. 814 pp.** Автором 1-го издания этой книги был один Вэйлас, известный у нас по русским переводам его монографии по реакторам. В отмечаемой книге содержатся обширные практические рекомендации по выбору и конструированию оборудования, а также – **методики, необходимые данные и примеры экономических расчетов.**

[4]. Только что вышедшая книга Таулера и Синнота «Проектирование химического оборудования: теория, практика и экономика предприятий и процессов»: **Gavin P. Towler, Ray K. Sinnott. Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2008. 1245 pp.** Впервые книга была выпущена как **6-й том** «Химической инженерии» Коулсона и Ричардсона. Эти книги, издававшиеся в Англии под редакцией Коулсона и Ричардсона, у нас часто цитируются. Рекомендуемая книга – это капитальное учебное пособие с многочисленными задачами и примерами,

включающее **основное и вспомогательное оборудование**, коррозионные таблицы, **экономические расчеты и пр.**, адаптированное для **американского рынка**.

[5]. Еще здесь назовем только последнюю книгу Робина Смита, одного из основных в настоящее время авторов работ по интегрированному подходу к энерго-ресурсосбережению, пинч-анализу и др. с названием «Проектирование и интегрирование химических процессов»: **Robin Smith. Chemical Process Design and Integration. Chichester, West Sussex, England; Hoboken, NJ: Wiley, 2005. 687 pp.** В первом издании 1995 года, **вышедшем в McGraw-Hill**, в заглавии не было слова «интегрирование». Работы по интегрированному подходу, включая специальную библиографию, мы будем также рассматривать **в 4-м разделе нашего доклада**.

[6]. Наконец, целесообразно также сказать о **2-м издании** базовой книги Бёрда-Стьюарта-Лайтфута (или «БСЛ») «Явления переноса», вышедшем в 2002 году, которое прошло у нас практически не замеченным: **R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. Transport Phenomena. 2nd Ed. New York: Wiley, 2002. 895 pp.** В 1-м издании 1960 года было 780 стр. Во 2-м (вышедшем через 42 года!) переработанном и дополненном издании – 5 новых глав, более **20 новых разделов**, много новых примеров, расширенные физико-математические приложения. Хороший и профессиональный русский перевод 1974 года, сделанный Н.Н. Куловым и В.С. Крыловым и сейчас имеет большое значение для науки о процессах и аппаратах. Новое издание еще не поздно было бы **перевести на русский язык**, основываясь на первом переводе, только без сокращений (в 1-м переводе была опущена глава по переносу излучением). Целесообразно было бы в нем дать также статью Астариты к 35-летнему Юбилею БСЛ, опубликованную в **Ind. Eng. Chem. Res., 1995, V. 34, No. 10, pp. 3177–3184**. Возможно, **Ind. Eng. Chem. Res.** к 2010 году снова организует подготовку спецвыпуска журнала к 50-летнему Юбилею БСЛ.

Как уже говорилось, **названных выше книг нет ни в РГБ, ни в ГПНТБ**, ни одного издания, за исключением 1-го издания БСЛ 1960 года, когда важнейшие книги еще приобретались, а основные журналы репродуцировались.

[7]. В заключение этого фрагмента доклада приятно отметить, что недавно в США был издан английский перевод книги Б.С. и В.Б. Сажиных «Научные основы техники сушки» (со 2-го издания, 1997 года): **B.S. Sazhin, V.B. Sazhin. Scientific Principles of Drying Technology. New York: Begell House, 2007. 497 pp.** Качество американского издания лучше отечественного оригинала.

Из выходящих в мире **журналов, непосредственно сушильной тематике** посвящен один журнал – Технология сушки: «**Drying Technology – An International Journal**» (**DRT**). В 2008 году выходит **26-й том** журнала. Сейчас в годовом томе 12 номеров (было меньше). Уже третий год они выпускаются ежеквартально – по 3 номера в одном блоке большого формата (что неудобно). До 2004 года **DRT** выпускался издательством **Dekker**, с 2005 года – купившей его издательской группой **Taylor & Francis**, Филадельфия, США (аналогичная история была с **Pergamon** и **Elsevier**). **Стоимость годовой подписки в 2008 году – 3215 долларов США** для организаций, личной – 636 долларов. **Стоимость одной статьи по онлайну – 31,5 доллара**. Редколлегия – международная, **главный редактор Арун С. Муджумдар** работал в Монреале в университете МакГилл, а несколько лет назад переехал в Сингапур. **Импакт-фактор у DRT** для такого узко специализированного журнала **высокий – 1,171**. Конечно, его нельзя сравнивать с **Nature – 28,751** – это самый высокий ИФ среди общенаучных журналов и даже с ведущими мировыми химико-технологическими журналами широкого профиля – такими, как вышеупомянутый **Ind. Eng. Chem. Res.** – 1,749 или **AIChEJournal** – 1,607 или **Chem. Eng. Sci.** – 1,775.

Из **общих зарубежных научных** химико-технологических и тепло-массообменных **журналов первичными** для нашей области **можно считать:** американские **Ind. Eng. Chem. Res.** и **AIChEJournal**, английский **Chem. Eng. Sci.**

и международный **Int. Heat and Mass Transfer Journal** (ИФ – 1,500, издательство Elsevier).

Общее количество выходящих и возникающих сейчас в мире журналов по химическим технологиям и, особенно, по родственным и новым технологиям и материалам, а также по энергосбережению, экологии и пр. очень велико. **Персонально отслеживать удастся только некоторые конкретные области, выбираемые индивидуально.** В остальном приходится ограничиваться реферативными источниками (прежде всего – РЖ «Химия» ВИНТИ и Chemical Abstracts, USA; on line или CD из-за очень высоких цен), а также перекрестным поиском, Интернетом и личными контактами.

Важнейшей **мировой зарубежной конференцией** по сушке является Международный сушильный симпозиум: «**International Drying Symposium (IDS)**». Он проводится **раз в два года**, в разных странах, за место проведения бывает конкурс (не такой как за Олимпийские игры, но 2–3 страны часто конкурируют). Первый IDS был в 1978 году в Монреале, затем симпозиумы были в США, еще дважды в Канаде, в Англии, Франции, Греции, Чехословакии, Польше, Нидерландах, Венгрии, а также в Японии, Австралии, Китае, Бразилии. Прошлый, 15-й был в Будапеште, **будущий, 16-й – будет 9–12 ноября 2008 г. в Хайдерабаде, Индия.** Организация этих конференций очень хорошая, отработанная и ставшая традиционной. Конференции весьма представительные, на них регулярно встречаются ведущие и молодые сушильщики всего мира. Всегда издаются печатные труды, обычно в 2-х больших томах (за исключением IDS-2000 в Нидерландах, когда ограничились выпуском CD). Устраиваются выставки, вручаются премии за лучшие работы.

**Симпозиумы IDS вместе с вышеназванным журналом DRT образуют хороший взаимосвязанный комплекс, значение которого для мировой сушильно-термической науки и практики весьма велико.**

### **3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Математическое обеспечение** и соответствующие **программные продукты (Software)** для базовых инженерных расчетов процессов сушки обычно включают:

- сушильные диаграммы (чаще всего Молье, реже – Гросвенора, Салина, редко – Рамзина);
- расчет дополнительных характеристик (теплофизических свойств, температур мокрого термометра, точки росы, давления пара и пр.);
- программы для тепловых и материальных балансных расчетов;
- иногда – для подбора вентиляторов, калориферов и пр.;
- иногда – программы для упрощенных расчетов кинетики сушки (влагоудаления), обычно по двухпериодной аппроксимации.

**Важнейшие из этих программ:**

- несколько версий программы «**dryPAK**», разработывавшихся группой проф. З. Паковского (**Z. Pakowski**, Лодзь, Польша), с 1992 г. (DOS-формат);
- программы «**Humidity**» группы проф. П. Керкхофа (**P.J.A.M. Kerkhof**, Айндохвен, Нидерланды), примерно с 1995 г.;
- программы «**Simprosys**» корпорации **Simprotek** (Купертино, США), включают **19 видов вспомогательных процессов и оборудования** (в том числе циклоны, фильтры, электрофильтры, эжектора, насосы, скруббера, смесители, арматуру и пр.); пользователям предлагаются пакеты, которые продолжают расширяться.

Имеются хорошие **последние обзоры** программного обеспечения по сушке:

[12]. **Ian C. Kemp. Drying Software: Past, Present, and Future.** DRT, 2007, Vol. 26, No.7, pp.1249–1263 (27 Ref.) – **Программное обеспечение сушки: про-**

шлое, настоящее и будущее. До этого в DRT был опубликован также обзор Я. Кемпа с сотрудниками AspenTech (2004 г.).

[13]. Обзор Гонга и Муджумдара «Программные продукты для проектирования и анализа сушильных систем» находится в печати в DRT, 2008, Vol. 26: **Zhen–Xiang Gong, A.S. Mujumdar. Software for Design and Analysis of Drying Systems** (~ 19 стр., 30 библиографических ссылок). Особенно рекомендуется вышеупомянутая программа **Simprosyst**. Она предусматривает также расчет циклов по газу, по материалу, для двухступенчатой сушки и пр. Наличие компьютеризованных расчетов почти всего вспомогательного оборудования позволяет проектировщикам оперативно просчитывать серии вариантов и выбирать из них оптимальный.

Имеются программы для автоматизированного **выбора сушильного оборудования**, например:

– программа **DrySel** компании **Aspen Technology** (Бурлингтон, США), специализирующейся на разработке программного обеспечения процессных расчетов; она включает **более 50 типов сушилок и более 50 групп свойств материалов**.

Отметим, что работы по компьютеризованным исследованиям и выбору сушилок успешно выполняются группой Н.В. Меньшутиной (РХТУ). См., например статью **Н.В. Меньшутиной и Т. Кудры**, посвященную этим вопросам, в DRT, 2001, Vol.19, No.8, pp. 18250–1850 и др.

**Основой** для возможности такой компьютеризации выбора, естественно, являются **конструктивно-технологические работы по созданию сушилок, анализ и составление баз данных, классификационных таблиц** и пр. Например, в России это **работы НИИхиммаша, Б.С. Сажина и др.**

В целом это работы по интеллектуальным системам в комплексе: по выбору, расчету, конструированию, оптимизации, контролю и управлению в системах сушки и обезвоживания. Публикации по этой тематике регулярно даются в DRT, в трудах IDS, а также на многочисленных специализированных конференциях по компьютерно-информационной тематике (например, **ESCAPE – European Symposium on Computer Aided Process Engineering; CISSE – International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering** и др.).

**Новые физико-математические методы** (структурно-сетевые модели, перколяция, кластеры, фракталы), рассматриваемые во 2-м разделе доклада, по своей сути являются компьютеризованными, и в упомянутых исходных публикациях по их применению обычно содержатся ссылки на используемое или разрабатываемое программное обеспечение.

Кроме этих названных методов, в теории тепломассопереноса и сушки используются многочисленные другие, в том числе вновь **появляющиеся подходы**. Работы практически по всем таким новым направлениям регулярно публикуются в DRT, трудах IDS и в др. упомянутых в разделе 1 источниках. Среди таких подходов **выделим**, например:

– работы, связанные с применением **нейросетевых моделей (Neural Networks)\***;

– работы с применением **нечетких множеств (Fuzzy Sets)\***;

– работы с использованием **численных методов динамики жидкостей (CFD)**; одна из статей группы проф. Муджумдара на базе CFD была опубликована в нашем «Вестнике ТГТУ»: **Huang Lixin, K. Kumar, A.S. Mujumdar. Simulation of Spray Evaporation – a Comparative Analysis** // Trans. TSTU. 2004. V. 10. No. 1A. Pp. 83–100 (на англ. яз.);

– начинают появляться и подходы на базе методов **нелинейной динамики (NLD)** и др.

---

\* См., напр., выполненную в ТГТУ диссертацию И.Л. Коробовой, 2001 г.

При этом используются или разрабатываются многочисленные **программные продукты**: от массовых типа **MatLab** – до более **мощных** типа **ANSYS**, и до **уникальных многомашинных комплексов (CAD-FEM и др.)**.

Большинство сложных программных продуктов сейчас стало **коммерческими**.

**Стоимость** их в зависимости от уровня находится в широких пределах – примерно **от 200 до 10 000 долларов США**.

Для высшей школы и академии часто делаются существенные **скидки**.

---

### **Новые зарубежные исследования в области сушки и термовлажностной обработки материалов: результаты и тенденции (1. Библиография. 3. Программное обеспечение)**

**В.И. Коновалов<sup>1</sup>, Т. Кудра<sup>2</sup>, Н.Ц. Гатапова<sup>1</sup>**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» (1);  
Энерго-технологический центр «Канмет», Монреаль, Канада (2)*

**Ключевые слова и фразы:** библиография по сушке и энергосбережению; сетевые модели пористой структуры; фрактальный анализ; нечеткие множества; нейронные сети; программное обеспечение; энергосбережение; интеграция процессов; пинч-анализ; луковичная модель; тепловые насосы; вихревая труба; эффект Ранке–Хилша; прерывистая сушка; механическое обезвоживание; синергетика выпаривание–кристаллизация, фильтрация–сушка; осмотическое и электроосмотическое обезвоживание; механо-термический отжим; электрические поля в сушке и обезвоживании.

**Аннотация:** В докладе рассматриваются новые (в основном – после предыдущей конференции СЭТТ–2005) зарубежные исследования в области сушки и термовлажностной обработки материалов, анализируются некоторые основные результаты и тенденции, приводится обширная библиография.

---

### **Neue ausländische Untersuchungen auf dem Gebiet des Trocknens und thermoflüssigkeitlichen Bearbeitung der Stoffe: Resultate und Tendenzen (1. Bibliographie. 3. Software)**

**Zusammenfassung:** Im Vortrag werden die neuen ausländischen Untersuchungen auf dem Gebiet des Trocknens und thermoflüssigkeitlicher Bearbeitung der Stoffe betrachtet. Es werden einige Grundresultate und Tendenzen analysiert. Es wird die umfangreiche Bibliographie angeführt.

---

### **Etudes nouvelles russes et étrangères dans le domaine du séchage et du traitement thermohumide des matériaux: résultats et tendances (1. Bibliographie. 3. Software)**

**Résumé:** Dans le rapport sont examinées les nouvelles (en générale depuis la précédente conférence de 2005) études étrangères dans le domaine du séchage et du traitement thermohumide des matériaux, sont analysés quelques résultats et tendances, est citée une large bibliographie.

---