

*Секція: Розвиток продуктивних сил і региональна економіка*

**Сажин Виктор Борисович**

*доктор технических наук, профессор, академик, директор Фонда  
Российский инвестиционно-инновационный Фонд «Научная Перспектива»  
г. Москва, Россия*

**Сажин Борис Степанович**

*доктор технических наук, профессор, академик, советник Фонда  
Российский инвестиционно-инновационный Фонд «Научная Перспектива»  
г. Москва, Россия*

## **ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СУШИЛОК КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КЛАСТЕРОВ**

Сушка - один из самых энергоёмких процессов промышленности, определяющий до 80% тепловых затрат промышленного предприятия в химической и смежных отраслях. Номенклатура высушиваемых материалов включает сотни тысяч наименований в микробиологии, производстве удобрений и ядохимикатов для сельского хозяйства, в пищевой промышленности, химико-фармацевтической отрасли, деревообработке, производстве лакокрасочной продукции, в ряде перерабатывающих отраслей, металлургии и так далее [1; 2; 3; 4].

Среди подлежащих сушке материалов в различных отраслях промышленности более 80 % являются дисперсными материалами, для которых наиболее эффективным методом является сушка в активных гидродинамических режимах взвешенного слоя. При активном гидродинамическом режиме в сушильном аппарате существенно интенсифицируется технологический процесс без снижения экономической эффективности его работы и обеспечивается высокое качество готового

продукта с требуемой остаточной влажностью. Следует учесть, что активные гидродинамические режимы существуют не для каждого процесса, так как не всегда на технологический процесс можно эффективно воздействовать средствами гидродинамики.

Активность гидродинамического режима в сушилке определяется учётом характеристик материала как объекта сушки и соответствием технологической задаче. При сушке широкопористых материалов со свободной влагой одним из активных гидродинамических режимов является режим пневмотранспорта, а при сушке тонкопористых материалов этот же режим не будет активным, так как приведет к непроизводительным затратам энергии и не обеспечит решение технологической задачи, соответствующей, так называемой, внутренней задаче [1; 4].

Основными признаками активных гидродинамических режимов являются: развитая поверхность взаимодействия фаз, гидродинамическая устойчивость (стабильность гидродинамической обстановки во времени по всему объему аппарата), приближение гидродинамической модели потоков в аппарате к модели идеального вытеснения, а также увеличение относительной скорости движения фаз, снижение энергоемкости процесса и металлоемкости аппаратов. За косвенный показатель гидродинамической активности аппарата можно принять коэффициент межфазной теплоотдачи с учетом доли тепла, идущей на испарение влаги. Эта доля для активного гидродинамического режима должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить экономичность процесса.

Возрастающее применение находят различные варианты закрученных потоков, отличающиеся высокой интенсивностью процесса и позволяющие создавать в аппаратах управляемую гидродинамическую обстановку. Во многих случаях применение таких аппаратов позволяет совмещать сушку и улавливание пылевой фракции в одном и том же аппарате, что важно в экологическом отношении и позволяет экономить ресурсы. Создание

ресурсосберегающих и экологически чистых сушильных аппаратов и установок целесообразно осуществлять на базе закрученных потоков, если при этом они позволяют решать технологическую задачу по сушке. Последнее обстоятельство крайне важно и ответ на этот вопрос должен даваться на основе комплексного анализа материалов как объектов сушки.

Так как процесс сушки, в основном, определяется комплексом характеристик влажных материалов, первостепенное значение имеет выделение важнейших характеристик, разработка методов их получения, классификации и расчета. Наиболее целесообразна классификация влажных материалов, базирующаяся на сорбционно-структурных характеристиках, которые ответственны за диффузионное сопротивление в процессе сушки. В случае внешней задачи массообмена при сушке определяющими являются термические характеристики, а в случае смешанной задачи — сорбционно-структурные характеристики. При этом за базовый показатель целесообразно взять критический размер пор, рассчитанный по десорбционной ветви изотермы сорбции-десорбции с использованием уравнения Томсона–Кельвина [1].

Комплексный анализ влажных дисперсных материалов как объектов сушки показывает, что абсолютное большинство из них высушивается в условиях внешней и смешанной задачи массопередачи, а это означает, что определяющую роль в процессе сушки дисперсных материалов играет гидродинамическая обстановка процесса. Закрученные потоки имеют много принципиальных преимуществ перед другими гидродинамическими режимами взвешенного слоя (режимами псевдоожижения, фонтанирования, пневмотранспорта): гидродинамическая устойчивость высокая интенсивность процесса, возможность сочетания процесса сушки с одновременным пылеулавливанием, относительно небольшое гидравлическое сопротивление, простота конструктивного оформления и ряд других [1; 2; 3; 4].

Учитывая преимущества безуносных сушилок, нами с учениками и сотрудниками были детально рассмотрены модели гидродинамики (включая вопросы структуры потоков, гидравлического сопротивления, движения газовой и твердой фазы, удерживающей способности, разработки методов управления процессами) безуносных сушилок с закрученными потоками, а также сушилок с расширяющимся конусом, предназначенных для обработки комкующихся и истирающихся дисперсных материалов. Вопросом первостепенной важности является согласование требуемого времени обработки материалов в закрученных потоках для достижения требуемой остаточной влажности и времени пребывания частиц материала в аппарате при том или ином режиме закрученных потоков. Комплексный анализ материалов как объектов сушки в сочетании с анализом особенностей и возможностей различных режимов, закрученных потоков позволяет определить область рационального применения того или иного режима и дать соответствующие технические рекомендации по аппаратурно-технологическому оформлению сушилки и сушильной установки для каждого конкретного материала, исходя из разработанного нами набора эффективных типовых решений. Используя принцип соответственных состояний и данные по кинетике сушки в закрученных потоках модельных материалов, можно рассчитать процесс сушки любого материала без проведения опытов по сушке на лабораторных и пилотных установках на основании комплексного анализа материалов как объектов сушки и определения места исследуемого материала в разработанной нами классификационной таблице [1; 2; 4].

Основным фактором, сдерживающим широкое применение аппаратов с взаимодействующими закрученными потоками, является время пребывания в зоне сушки, не превышающее 3-5 секунд, (за исключением многокамерных и комбинированных аппаратов, у которых время пребывания может быть

больше, но значительно сложнее конструкции и управление процессом, вследствие чего существенно сужена область их рационального применения.

Открытый и описанный нами новый режим сушки в аппаратах с вращающимся кольцевым слоем дисперсного материала (СВЗП) существенно расширяет область применения безуносных сушилок со встречными закрученными потоками и позволяет высушивать в них не только широкопористые, но и тонкопористые материалы с размерами пор порядка 60 Ангстрем (с полным улавливанием пылевой фракции продукта).

Нами разработаны основы экспергетического анализа сушильных установок на основе определения экспергетического КПД, что (в отличие от теплового баланса, погрешность которого (как доказано нами) составляет до 40%) гарантирует корректную оценку энергоэффективности сушилок.

## Литература

1. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. Москва: Наука. 1997. 448 с.
2. Сажин В.Б. Научные основы выбора эффективного сушильного оборудования / В.Б. Сажин, Б.С. Сажин. М.: Химия, 2013. 544 с.
3. Научные основы термовлажностной обработки дисперсных материалов / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. М.: Химия, 2012. 776 с.
4. Sazhin B. and Sazhin V. Scientific Principles of Drying Technology /New York -Connecticut-Wallingford (U.K.): Begell House Inc. 2007. 506 p.