

Технические науки

УДК 66.047.7

**Сажин Виктор Борисович**

*доктор технических наук,*

*профессор, академик, директор*

*Российский инвестиционно-инновационный фонд*

*«Научная Перспектива»*

**Сажин Борис Степанович**

*доктор технических наук,*

*профессор, академик советник*

*Российский инвестиционно-инновационный фонд*

*«Научная Перспектива»*

**Sazhin V. B.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician, Director*

*Russian "Scientific Perspective" Investment and Innovation Fund*

**Sazhin B.S.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician, Adviser*

*Russian "Scientific Perspective" Investment and Innovation Fund*

**МЕТОДЫ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДЛЯ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ КАК ОБЪЕКТОВ  
СУШКИ**

**THE USE OF REGULAR THERMAL REGIME FOR THERMOPHYSICAL  
ANALYSIS OF THE MATERIALS TO BE DRIED**

**Аннотация:** Рассмотрены теория и практика применения нестационарных методов регулярного теплового режима для определения теплофизических характеристик дисперсных материалов, подлежащих сушке. Предложены условия для рационального использования таких методов.

**Ключевые слова:** теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность, сушка.

**Summary:** The theory and practice of non-stationary thermal regime of the regular methods for the determination of thermal characteristics of particulate materials to be dried. The conditions for the rational use of such methods.

**Key words:** heat capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity, drying.

Расчёт процесса сушки предполагает определение основных характеристик высушиваемого материала. Нами, наряду с инженерными методами расчёта процесса сушки, разработана классификация характеристик материалов как объектов сушки, которая обосновывает важность теплофизических исследований подлежащих сушке материалов [1-11; 13-18; 21-25; 38-40; 42, с. 120; 54, с. 122; 65-70].

Выбор оптимального режима сушки и конструкции реализующего его аппарата определяется как имеющимся диффузионным сопротивлением, зависящим от внутренней пористой структуры материала, так и способностью материала воспринимать необходимое для сушки количество тепла [1-9, 12-13; 19-20; 23, с. 98; 30-35; 41, с. 120; 43-52; 55-70; 72, с. 154]. Тепловые характеристики материала также необходимы при обработке результатов экспериментальных исследований процессов тепло- и массообмена, определении механизма переноса тепла во влажном материале, анализе форм и видов связи влаги с материалом и т.д. Исследование зависимостей  $\lambda=f(\omega)$  и  $a=f(\omega)$  влажных капиллярно-пористых материалов даёт возможность определить содержание в материале влаги различных форм связи с остовом [1-9; 14, с. 133; 16, с. 93; 18, с. 58; 21, с. 99; 23, с. 98; 26-29; 33-34; 36-37; 60, с. 279; 62, с. 2129; 67, с. 231; 69-71].

Термические свойства дисперсных материалов (и протекающие в них тепловые процессы) описываются при помощи термических коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , температуропроводности  $a$  и объёмной теплоёмкости  $c\rho$ , связанных между собой соотношением  $\lambda = a C\rho$ .

Расчёт температурных полей в слое дисперсного материала сводится к решению дифференциального уравнения:

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (1)$$

В отличие от постоянных характеристик (при постоянной температуре) монолитных тел, теплофизические коэффициенты для дисперсных материалов меняются в зависимости от влажности и пористости. Так для тонкодисперсных влажных материалов в условиях высоких температур теплофизические коэффициенты зависят также и от коэффициентов переноса влаги. Поэтому изучение теплофизических характеристик влажных материалов должно сочетаться с установлением зависимостей тепловых коэффициентов от указанных факторов. Большинство исследований связано с изучением теплопроводности и её зависимости от различных факторов, преимущественно для строительных материалов, почвогрунтов и других неорганических крупнодисперсных систем.

Коэффициент эффективной теплопроводности  $\lambda_{\text{э}}$  зависит от теплопроводности частиц  $\lambda_{\text{ч}}$ , пористости  $\varepsilon$ , влажности  $\omega$  и температуры, причём влияние каждого из перечисленных факторов непостоянно, оно зависит от соотношения между остальными факторами, от абсолютного значения показателя.

Теплопередача в дисперсных системах осуществляется следующими путями: теплопроводностью самих частиц материала, теплопроводностью газа в порах, теплопроводностью зазора между частицами, контактной теплопроводностью, конвекцией в среде газа, излучением от частицы к частице. Составление, анализ и решение уравнений, которые бы описывали все виды теплопереноса, связано с большими трудностями и все полученные до настоящего времени расчётные соотношения получены на основе ряда допущений, главное из которых - предположение об аддитивном характере теплопроводности.

Многочисленными исследованиями установлены основные закономерности теплопереноса в дисперсных системах [1-9; 14, с. 133; 16, с. 93; 26-31; 34-37; 42, с. 103; 53, с. 49; 57, с. 121; 60, с. 279; 71, с. 142]. Так теплопроводность твёрдого скелета незначимо влияет на общую (или эффективную) теплопроводность системы (особенно для неметаллических материалов), вследствие малой поверхности контактов между частицами и большого контактного сопротивления. Теплопроводность газа-наполнителя, напротив, оказывает серьёзное влияние на эффективную теплопроводность дисперсных (особенно неметаллических) материалов. Складывающаяся эффективная теплопроводность дисперсного материала определяется теплопроводностью в газовом микрозазоре между частицами. Если в нормальных условиях роль контактной теплопроводности незначительна, то в случае снижения теплопроводности газа-наполнителя (при понижении давления) роль контактной теплопроводности возрастает вплоть до условий глубокого вакуума, где при повышенной температуре эффективная теплопроводность определяется исключительно тепловым излучением. Роль конвективного теплопереноса в дисперсных средах, как правило, незначительна, а для материалов с размером частиц до 6 мм, конвективным теплообменом в порах при  $Gr \cdot Pr < 1000$  можно вообще пренебречь [9, с. 320]. Упрощённо представляя дисперсную систему как смесь твёрдого вещества и газа, можно допустить, что её эффективная теплопроводность должна занимать промежуточные значения между коэффициентами для твёрдого вещества и газа. Также нужно учитывать влияние дисперсности материала на эффективную теплопроводность системы, так как теплопередача осуществляется и через контактные площадки, и путём диффузионной теплопроводности, коэффициенты для которых существенно различаются.

Дифференциальные уравнения температурного поля в случае нестационарного режима (1), по сравнению со стационарным режимом, намного более сложны и в большинстве случаев не решаются аналитически, однако кратковременность процесса и возможность одновременного определения

всех трех теплофизических коэффициентов, пригодность методов для влажных материалов при больших температурных градиентах делают эти методы наиболее предпочтительными при условии компьютерной оснащённости, рост которой существенно изменил приоритеты между стационарными и нестационарными методами теплофизических измерений. В последние годы произошло повсеместное вытеснение методов стационарного теплового потока. При слабо развитых комбинированных методах основными в настоящее время являются нестационарные методы.

Распространение в практике нестационарных теплофизических измерений получили методы регулярного режима, разработанные Кондратьевым и получившие дальнейшее развитие в работах других исследователей. Методы регулярного режима позволяют определить все три теплофизические характеристики материала за сравнительно непродолжительное время эксперимента.

В основу методов положены закономерности второго периода охлаждения или нагревания, характеризующегося постоянным темпом. Распределение температуры по точкам системы зависит не от начального состояния, а от формы, размеров, условий теплообмена на границе и теплофизических характеристик тела.

Теплообмен тела с окружающей средой по закону Ньютона:

$$\frac{\partial t}{\partial n} + \frac{a}{\lambda}(t_{ns} - t_c) = 0 \quad , \quad (2)$$

где  $t_{ns}$ ,  $t_c$  - соответственно температура поверхности тела и окружающей среды.

При граничном условии  $a \rightarrow \infty$  получаем  $t_{ns} = t_c$ . Начиная с некоторого времени  $\tau \geq \tau_1$ , тело при своем охлаждении переходит из нерегулярного состояния в регулярное, описываемое следующей зависимостью:

$$t_{пер} - t_c = A_0 U_0 e^{m\tau} \quad , \quad (3)$$

где  $t_{пер}$  - температура тела в состоянии регулярного режима;  $U_0$  -

функция, зависящая от координат;  $A_0$  - тепловая амплитуда, зависящая от начального распределения температур;  $m$  - темп охлаждения.

После преобразования (3) получаем для темпа охлаждения:

$$m = \frac{\ln t_1 - \ln t_2}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (4)$$

Исследуемому веществу обычно придается определенная геометрическая форма, чаще цилиндрическая, и коэффициент температуропроводности определяется по формуле  $a = k m$ , где  $k$  - коэффициент формы прибора. Коэффициент формы для цилиндрических тел:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{2,405}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2},$$

где  $R$  - радиус цилиндра, м;  $L$  - высота цилиндра, м.

Для реализации регулярного режима используют акалориметры (работающие при допущении  $a = \infty$  или  $Bi = \infty$ ) для определении температуропроводности и лямбдакалориметры (при  $a = const$  или  $Bi = const$ ) - для определения теплопроводности. Для поддержания постоянной температуры (при  $Bi > 50-100$ )  $\alpha$ -калориметр (металлический сосуд (цилиндрической, призматической или шаровой формы) со слоем анализируемого материала  $s$ ) помещают в термостат. При использовании  $\lambda$ -калориметра термостатируют 2 калориметра, в каждом - слой материала  $s$  погруженным в него горячим спаем дифференциальной термопары, но один калориметр - с эталонным материалом, а другой - с анализируемым.

На основании собственных исследований авторы выявили ряд ограничений метода регулярного режима: сложность аппаратного оформления, необходимость определения теплоотдачи к окружающей среде и зависимость точности измерений физических характеристик от коэффициента теплоотдачи (который предполагается либо постоянным, либо равным бесконечности), определение температуропроводности ( $\lambda$ -калориметр) для эталонного и анализируемого материалов и обеспечение для

них равных плотности и влажности, а также одинаковых условий охлаждения. Авторы согласны с выводом Чудновского, что одним из основных ограничений метода является необходимость определения для калориметра фактора формы, зависящего не только от геометрических пропорций калориметра, но и от плотности набивки испытуемого вещества.

В заключение следует отметить, что методы регулярного теплового режима обеспечивают приемлемую точность и воспроизводимость результатов, и могут быть рекомендованы в качестве рабочих при осуществлении теплофизических исследований в практике определения характеристик дисперсных материалов как объектов сушки.

### **Литература:**

1. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. - Москва: Наука. 1997. - 448 с.
2. B. Sazhin and V. Sazhin Scientific Principles of Drying Technology /New York -Connecticut-Wallingford (U.K.): Begell House Inc.-2007.-506 PP.
3. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы термовлажностной обработки дисперсных и рулонных материалов. М.: Химия, 2012, 776 с., ил.
4. Сажин Б.С., Булеков А.П., Сажин В.Б. Эксергетический анализ работы промышленных установок. – М.: Изд-во МТИ. 2000. - 297 с.
5. Сажин, В.Б. Выбор и расчёт аппаратов с взвешенным слоем /В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. М.: РосЗИТЛП. 2001. - 336 с.
6. Сажин В.Б., Сажин Б.С. Научные основы стратегии выбора эффективного сушильного оборудования. М.: Химия, 2013, 544 с., ил.
7. Сажин, В.Б. / В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. Сушка в закрученных потоках: теория, расчёт, технические решения. М.:РосЗИТЛП. 2001. - 324с.
8. Сажин В.Б. Научные основы техники сушки дисперсных материалов при эффективных гидродинамических режимах взвешенного слоя. Дисс... доктора технич. наук. М., РХТУ, 2000. Т. 1 – 617 с., Т. 2 – 203 с.
9. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М., Химия, 1984, 320 с.

10. Белоусов А.С., Сажин Б.С., Сажин В.Б. и др. Метод расчёта эффективности разделения в аппаратах с встречными закрученными потоками / Успехи в химии и хим. технологии.-Том XX.-2006. №10 (68). С. 45-48
11. Булеков А.П., Сажин В.Б. Разработка методов расчёта и повышения эффективности энергоёмких процессов отделочного производства / Успехи в химии и химической технологии. XIII, 5, 1999. С. 12-14.
12. Булеков А.П., Сажин В.Б., Орешкина Е.В. и др. Эксергетические потери в пылеуловителях ВЗП / 11 межд. конф. молодых учёных по химии и химической технологии ("МКХТ-97"): Сб. науч. тр. /под ред. П.Д. Саркисова и В.Б. Сажина. М.: РХТУ, часть 2, 1997.
13. Время сушки сыпучих продуктов в условиях псевдооживленного слоя / А.А. Ойгенблик, Б.А. Корягин, В.Б. Сажин и др. // Химическая промышленность, №11, 1989. С. 66-72 (866-872).
14. Дорохов И.Н., Сажин В.Б. Принципы создания отраслевого банка данных кинетических характеристик сыпучих материалов для автоматизированного проектирования сушильных установок с псевдооживленным слоем. - В книге: Методы кибернетики химико-технологических процессов / Тезисы докладов 2 Всесоюзной научной конференции. Баку. 1987, часть 1. С. 133-134.
15. Запорожец Е.П., Холпанов Л.П., Сажин В.Б. Моделирование процесса сушки твёрдого материала в фонтанирующем слое / ТОХТ, 1997, том 31, №4, с. 638-653.
16. Панова А.Ю., Сажин В.Б. Изучение влияния размеров частиц и их теплофизических свойств на величину продольного перемешивания в аппаратах взвешенного слоя / Успехи в химии и химической технологии. Т. XVII. № 8 (33). 2003. С. 93-99.
17. Метод исследования кинетики сушки сыпучих продуктов в псевдооживленном слое / С.В. Сорокин, В.Б. Сажин // Аппараты с

- неподвижными и кипящими слоями в хлорной промышленности: Сб. науч. тр. / ГосНИИхлорпроект. М.: НИИТЭхим, 1988. С. 106-111.
18. Ойгенблик А.А., Сажин В.Б. и др. Моделирование кинетики сушки полидисперсных частиц различной формы (одиночная частица) / Процессы в зернистых средах: Межвуз. сб. науч. тр. Иваново, 1989. С. 58-62.
19. Сажина М.Б., Углов В.А., Сажин В.Б. и др. Сушилки взвешенного слоя с управляемой гидродинамикой для дисперсных волокнообразующих полимеров / Известия вузов: Технология текстильной промышленности. №4 (273), 2003. С. 92-95.
20. Сажина М.Б., Углов В.А., Сажин В.Б., и др. Выбор эффективной сушильной установки с взвешенным слоем для дисперсных волокнообразующих и текстильно-вспомогательных материалов / Известия вузов: Технология текстильной промышленности №5 (274), 2003. С. 98-102.
21. Сажин, В.Б. Анализ основных подходов к классификации материалов как объектов сушки / В.Б. Сажин, М.Б. Сажина, Б.С. Сажин // Известия вузов: Химия и хим. технология, Том 48, №5, 2005. С. 99-104.
22. Сажин Б.С., Булеков А.П., Сажин В.Б. Оценка эффективности работы аппаратов с активным гидродинамическим режимом на основе их эксергетических характеристик / ТОХТ. 1999. Т. 33. №5. С. 521-527.
23. Сажин, В.Б. Анализ основных характеристик влажных материалов как объектов сушки при рациональном выборе сушильного оборудования / В.Б. Сажин, М.Б. Сажина, Б.С. Сажин / Известия вузов: Химия и химическая технология, Том 48, №12, 2005. С. 98-104.
24. Сажин В.Б., Ойгенблик А.А., Корягин Б.А. и др. Моделирование кинетики сушки полидисперсных частиц различной формы / Исследования по химии и химической технологии минеральных удобрений и сырья для их производства: Сб. науч. тр. М.: МХТИ им. Менделеева, 1990. С. 46-50.

25. Сажин В.Б., Ойгенблик А.А., Дорохов И.Н. и др.. Математическая модель процесса сушки сыпучих продуктов в псевдооживленном слое / Промышленная теплотехника/АН БССР, 1985, № 6, т. 7, с. 40-46 .
26. Сажин В.Б., Дорохов И.Н. Принцип формализации кинетических характеристик высушенных продуктов для расчёта аппаратов с псевдооживленным слоем сыпучего материала / Повышение эффективности технологических процессов и оборудования в текстильной промышленности и производстве химических волокон и разработка систем пылеулавливания: Межвуз. сб. науч. тр. М.: МТИ им. Косыгина, 1988. С. 130-132.
27. Сажин В.Б., I. Seldin, Бойцев П.Н. и др. Применение термодиагностических микропроцессорных комплексов для автоматизации научных исследований / Создание и внедрение аппаратов с активными гидродинамическими режимами для текстильной промышленности и производства химических волокон: сб. 3 ВНТК. М.: ЦНИИТЭИлегпром. 1989. С. 31-32.
28. Сажин В.Б., I. Seldin, Ойгенблик А.А. и др. Использование микропроцессорного комплекса "ЛДКК-Рефлекс" для исследования кинетики сушки в режиме автоматизированного эксперимента: Сб. тр. 7 межд. симпозиума по сушке. Польша. Лодзь. 1991.
29. Сажин В.Б., I. Seldin, О. Seldin и др. Автоматизированная экспресс-диагностика прочностных характеристик элементов конструкций из полимерных композиционных материалов: Сб. науч. тр. 6 нац. конф. по механике и технологии композиц. материалов. Болгария. Варна. 1991.
30. Сажин В.Б., Ермишин Ю.М., Сажин В.Б. и др. Исследование математической модели процессов сушки на основе системы дифференциальных уравнений сопряжённого тепло - и массообмена применительно к задачам режимно-конструктивной оптимизации: сб. науч. тр. 2 межд. минского форума по тепло-массообмену. Минск, 1992.

31. Сажин Б.С., Сажина М.Б., Сажин В.Б. и др. Расчёт и интенсификация тепло-массообменных процессов химической технологии в текстильной промышленности / Успехи в химии и химической технологии. Т. XVII. № 5 (30). 2003. С. 102-107.
32. Сажин В.Б., Булеков А.П., Фирсаев И.Р. Численный алгоритм для оценки размеров готового продукта в аппаратах со взвешенным слоем инертного материала / Успехи в химии и химической технологии. XIII, 5, 1999. С. 46-49.
33. Сажин В.Б., Фирсаев Ил.Р., Геллер Ю.А. Структурно-механические характеристики дисперсных материалов как объектов сушки / Успехи в химии и химической технологии. XIV, 3, 2000. С. 83-86.
34. Сажин В.Б., I. Seldinas, O. Seldinas. Анализ теплопроводности для влажных дисперсных материалов / Успехи в химии и химической технологии. Том XV. 2001, №1. С. 33-37.
35. Сажин Б.С., Акулич А.В., Сажин В.Б. Математ. моделирование движения газа в сепарационной зоне прямоточного вихревого аппарата на основе ( $k_t$ - $\epsilon$ )-модели турбулентности / ТОХТ. 2001, Т. 35, № 5, с. 472-478.
36. Сажин В.Б., I. Seldin, O. Seldin Диагност. компьютер. комплекс "НМК-Рефлекс" и его примен. для теплофизич. Исследований / Теплофиз. проблемы пром. производства: Сб. межд. теплофиз школы. Тамбов, 1992.
37. Сажин В.Б., I. Seldinas, O. Seldinas Установка для теплофизического анализа влажных дисперсных материалов импульсным методом плоского источника тепла / Успехи в химии и химической технологии. Том XV. 2001, №1. С. 37-41.
38. Б.С. Сажин, В.Б. Сажин Стратегия выбора рационального аппаратурно-технологического оформления процесса сушки / Современные энергосберегающие тепловые технологии: Сб. науч. тр. МНПК. Том. 3

- Технол. сушки, расчёт и проект. суш. установок. М.: МГАУ. 2002. С. 6-13.
39. Сажин В.Б., Сажин Б.С., Сажина М.Б. и др. Оптимизация аппаратного оформления сушильных процессов в технике взвешенного слоя / Успехи в химии и хим. технологии. Том XXI. 2007. №1 (69). С. 49-65
40. Сажин Б.С., Сажин В.Б., Отрубьянников Е.В. и др. Сушка в активных гидродинамических режимах / ТОХТ, 2008, том 42, №6, с. 638-653.
41. Сажин Б.С., Дмитриева Л.Б., Сажин В.Б. Влияние пластифицирующего действия воды на проявление адгезионно-аутогезионных свойств в процессе сушки гранулированного полиэтилентерефталата / Успехи в химии и химической технологии.- Том XXII.-2008.- №8 (88).- С. 120-123.
42. Сажин Б.С., Чунаев М.В., Сажин В.Б. Термокапиллярный механизм неустойчивости слоя жидкости (Эффект Марангони) // Успехи в химии и химической технологии, 2009. Т. XXIII. №3(96). С. 103-106.
43. Сажин, Б.С. Вибрационная сушилка для сыпучих и пастообразных материалов / Б.С. Сажин, О.С. Кочетов, В.Б. Сажин и др. - Патент на изобретение №2312285 от 18.07.2006.
44. Сажин, Б.С. Многосекционная вибрационная сушилка / Б.С. Сажин и др. - Патент на изобретение №2312287 от 18.07.2006.
45. Сажин, Б.С. и др. Установка для сушки жидких материалов в кипящем слое инертных тел. - Патент на полезную модель от 27.08. 2008
46. Сажин, Б.С. Установка для сушки растворов и суспензий в кипящем слое инертных тел / Б.С. Сажин и др. - Патент на полезную модель №68665 от 26.06.2007.
47. Сажин, Б.С. Сушильная установка / Б.С. Сажин и др. - Патент на полезную модель №68368 от 14.05.2007.
48. Сажин, Б.С. Сушильный аппарат / Б.С. Сажин и др. - Патент на полезную модель №68369 от 14.05.2007.

49. Сажин, Б.С. Сушилка для полидисперсных материалов / Б.С. Сажин и др. - Патент на полезную модель №68370 от 14.05.2007.
50. Сажин, Б.С. Установка для сушки полидисперсных материалов / Б.С. Сажин и др. - Патент на полезную модель №68371 от 14.05.2007.
51. Сажин Б.С., Сажин В.Б., Сажина М.Б. Активность гидродинамического режима как фактор повышения эффективности процесса сушки во взвешенном слое / Успехи в химии и химической технологии. Том XXII. 2008. №6 (86). С. 111-119.
52. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Основные проблемы сушки дисперсных материалов, научно-практический анализ и решение / Успехи в химии и химической технологии.- Том XXII.-2008.- №1 (81).- С. 98-111.
53. Сажин Б.С., Чунаев М.В., Сажин В.Б. Равновесие и конвекция в горизонтальном слое жидкости (Эффект Релея) / Успехи в химии и химической технологии, 2009. Т. XXIII. №4(97). С. 49-51.
54. Сажин Б.С., Тюрин М.П., Сажин В.Б. и др. Ресурсосбережение в вихревых аппаратах / Успехи в химии и химической технологии, 2011. Т. XXV. №1 (117). С. 122-124.
55. Сажин Б.С., Дмитриева Л.Б., Сажин В.Б. Сорбционная способность и влияние сорбируемой влаги на структуру полиэтилентерефталата / Успехи в химии и хим. технологии.- Том XXII.-2008.- №4 (84).- С. 115-118.
56. Сажин Б.С., Сажин В.Б., Тюрин М.П. и др. Научные основы сушильной техники с активными гидродинамическими режимами / Успехи в химии и химической технологии. Том XXI. 2007. №6 (74). С. 115-123.
57. Сажин Б.С., Дмитриева Л.Б., Сажина М.Б. и др. Особенности реализации процесса сушки гранулята полиэтилентерефталата / Успехи в химии и химической технологии.- Том XXII.-2008.- №9 (89).- С. 121-123.
58. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Проблемы сушки дисперсных материалов. (Проблемный доклад) / Современные энергосберегающие технологии

- (сушка и термовлажностная обработка материалов) «СЭТТ-2008»: Сб. Науч. тр. 3 МНПК. Т.2. М: ООО «Франтера».-2008. - С. 179-191.
- 59.Фирсаев Иг. Р., Сажин В.Б., Сажина М.Б. Изучение реологических свойств сыпучих продуктов как объектов сушки / Успехи в химии и химической технологии. XIV, 3, 2000. С. 79-82.
- 60.Сажин В.Б., Сажин Б.С. Устройство для определения теплофизических характеристик дисперсных материалов / Инновационная наука в глобализующемся мире: Сб. Науч. тр. межд. научно-практ. конф. (Уфа, 5-6.03.2014).- Уфа: РИО ИЦИПТ, 2014. - 256 с. С. 279-265.
- 61.Сажин, В.Б. Создание эффективной сушильной установки и разработка промышленного кода: технологическая задача и её решение для материала как объекта сушки [Текст] / В.Б. Сажин, Б.С.Сажин // Международный академический вестник (ISSN: 2312-5519), №5(11), 2015. С. 99-102.
- 62.Efremov G., Sazhin B., Sazhin V. Calculation of parameters of drying using a combination of microwave and convective heating. Drying' 98, Proc., vol. C, ZITI Edition, Greece, 1998, p. 2129-2133.
- 63.Drying in Active Hidrodinamic Regimes /B.S. Sazhin, V.B. Sazhin, E.V. Otrubjannikov, and L.M. Kochetov/ Teoretical Foundations of Chemical Engineering, 2008, Vol. 42, No. 6, pp. 837-851. - Pleades Publishing Ltd., 2008.
- 64.V. Sazhin & B. Sazhin Application of exergy analysis to reduce the anthropogenic impact on the industrial environment [article] / «Topical areas of fundamental and applied research V») (North Charleston, SC, USA, December, 22-23, 2014): in 2 vv. Vol. 1. - «SPC Academic», North Charleston, SC, USA 29406, 2015. – 233 pp. (ISBN: 978-1-50585-703-0). P. 116-119.
- 65.V. Sazhin & B. Sazhin Principles classifying materials as processing objects for the processes of drying and washing [article] / «Fundamental science and

- technology – promising developments V» (North Charleston, SC, USA, February, 24-25, 2015): in 2 vv. Vol. 1. - «SPC Academic», 4900 LaCross Road, North Charleston, SC, USA 29406, 2015. – 225 pp. (ISBN: 978-1508657552). P. 135-140.
- 66.V. Sazhin & B. Sazhin Modeling of drying and washing under the terms of the so-called "balance problems" [article] / «Fundamental and applied science today V» (North Charleston, SC, USA, March, 30-31, 2015): in 3 vv. Vol. 1. - «SPC Academic», 4900 LaCross Road, North Charleston, SC, USA 29406, 2015.- 216 pp. (I-IV+i-vi) (ISBN: 978-1511565684). P. 113-117.
- 67.V. Sazhin & B. Sazhin Determination of thermal properties of materials as objects of thermal and humidity processing / «Academic science -problems and achievements III» (Moscow, 20-21, Feb. 2014, North Charleston, SC, USA, 20-21, Feb. 2014): in 3 vv. – Vol. 2.- «SPC Academic», 4900 LaCross Road, North Charleston, SC, USA 29406, 2014.- 304pp. (ISBN: 978-1496106537). P. 231-236.
- 68.V. Sazhin & B. Sazhin Evaluation of thermodynamic activity in the apparatus of the weighted layer during the heat and mass transfer processes / 21 century: fundamental science and technology VIII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 25-26.01.2016, in 3 vs /Vol. 1. - North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2016, p. 224 (ISBN: 978-1523740369), 97-102 p.
- 69.V. Sazhin & B. Sazhin Definition of system specifications for materials that are subject to drying / 21 century: fundamental science and technology XI: Proceedings of the Conference. North Charleston, 23-24.01.2017, in 2 vs. Vol. 1—North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, p. 257, 153-156 p.
- 70.V. B. Sazhin, B. S. Sazhin Basis of classification of materials as objects of drying / Збірник центру наукових публікацій Велес за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції: частина 1 "Зимові наукові читання", м Київ: збірник статей (рівень стандарту,

академічний рівень). - К.: Центр наукових публікацій, 2017. 128с. ISSN 5836-4978. С. 86-97.

71.V. Sazhin & B. Sazhin Drying of disperse materials with quasi-static conditions / Academic science - problems and achievements XI: Proceedings of the Conference. North Charleston, 6-7.02.2017, in 2 vv. Vol. 1.—North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, p. 218,142-145 p. (ISBN 978-1543046090).

72.V. Sazhin & B. Sazhin Innovative implementation strategy of industrial drying processes in a fluidized bed / 21 century: fundamental science and technology VIII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 23-24.01.2014, in 3 vs / Vol. 2 — North Charleston, SC, USA:CreateSpace, 2014, pp. 241 (ISBN: 978-1495417696), 154-157 p.