

УДК 66.047

Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Турчина Т.Я., Костянец Л.А., Ткаченко А.В.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДО- И БЕЛКОВОСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУРИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА КИНЕТИКУ СУШКИ КАПЕЛЬ СУСПЕНЗИИ ФОСФОЛИПИДОВ И АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ВЫСУШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Вивчений вплив структуруючих добавок на кінетику сушіння крапель суспензій фосфоліпідів та адгезійні властивості висушених часток.

Изучено влияние структурирующих добавок на кинетику сушки капель суспензий фосфолипидов и адгезионные свойства высушенных частиц.

Influence of structuring additives on the kinetics of drying drops of phosphor lipid suspense and adhesive properties of dried particles is studied.

C – содержание сухих веществ;

T – температура;

τ – время;

δ – диаметр капли;

кр. 2, 3 – вторая, третья критические точки.

Индексы нижние:

v – воздух;

k – капля;

кон – конечный;

о – исходный, начальный;

общ – общий.

На сегодняшний день структурирующие добавки (далее по тексту СД) различной природы и функциональной направленности широко применяются для улучшения технологических свойств различных гетерогенных систем в жидкой и порошкообразной форме [1-7].

Создание новых порошкообразных материалов требует проведения комплексных экспериментальных исследований по изучению влияния используемых добавок на показатели качества готового продукта с учетом современных методов воздействия на структурообразующие и функциональные свойства [8-12]. Важным этапом исследований в подборе СД является изучение кинетики сушки капель сложных дисперсных систем [10, 11, 13].

Цель данных исследований заключалась в изучении влияния глюкозы и гидролизованного соевого белка на кинетику сушки капель суспензии фосфолипидов, а также на термопластичные и адгезионные свойства высушенных частиц для получения необходимых технологических свойств конечных порошкообразных материалов на липидной основе.

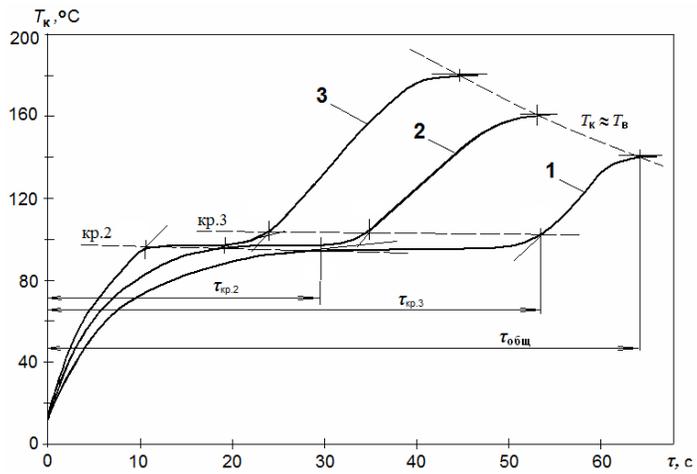
Исследования процесса проводились на созданном в Институте экспериментальном стенде по изучению кинетики сушки на систе-

ме «капля-парогазовая среда» в потоке теплоносителя, описанном в работе [13], при температурах теплоносителя 140 °С, 160 °С и 180 °С и размерах навешиваемых на спай термодпары капель $\delta_0 \approx 1,5$ мм. В исследованиях использовались суспензии фосфолипидов с общим содержанием сухих веществ C_0 от 2,5 % до 25 % и введенные СД: глюкоза в количестве от 2,5 % до 20 % или соевый гидролизированный белок в количестве от 2,5 % до 10 %.

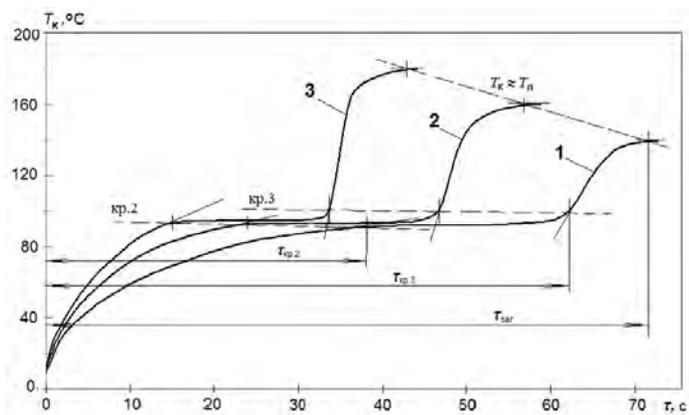
Термограммы $T_k = f(\tau)$ и кинограммы сушки капель суспензий фосфолипидов без СД приведены на рис. 1, а и рис. 2, с глюкозой – на рис. 1, б, в и рис. 2, б, в, а с белком – на рис. 3 и 4.

Как видно из термограмм (рис. 1, рис. 3), основной особенностью сушки капель водных суспензий фосфолипидов, независимо от присутствия или вида используемой добавки, является протекание процесса их сушки во втором сушильном периоде – падающей скорости сушки в условиях коркообразования и многократного периодического раздувания капель в стадиях кипения и досушивания, вызванного ростом градиента давления водяных паров под образовавшейся коркой, что характерно для коллоидных систем.

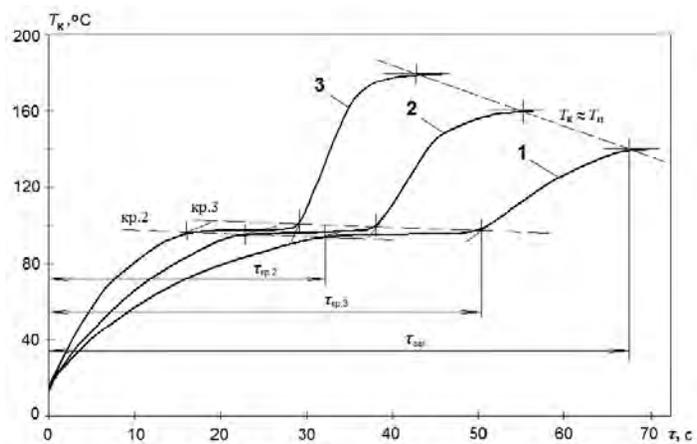
Отсутствие СД обуславливает получение



а)

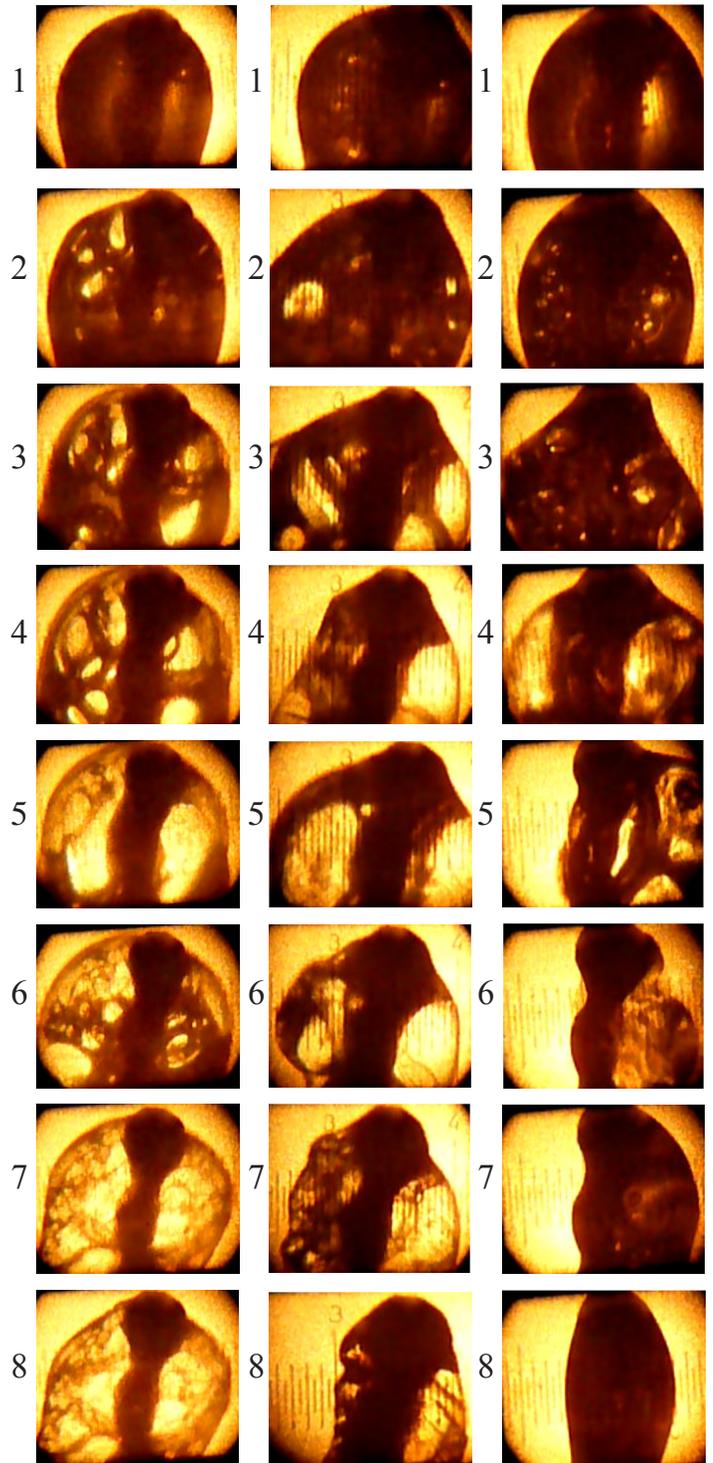


б)



в)

Рис. 1. Термограммы кинетики сушки при T_c : 1 – 140 °C; 2 – 160 °C; 3 – 180 °C капле водных суспензий фосфолипидов с содержанием глюкозы: а) $C = 0\%$ $C_0 = 7,5\%$; б) $C = 2,5\%$ $C_0 = 7,5\%$; в) $C = 20\%$ $C_0 = 25\%$.



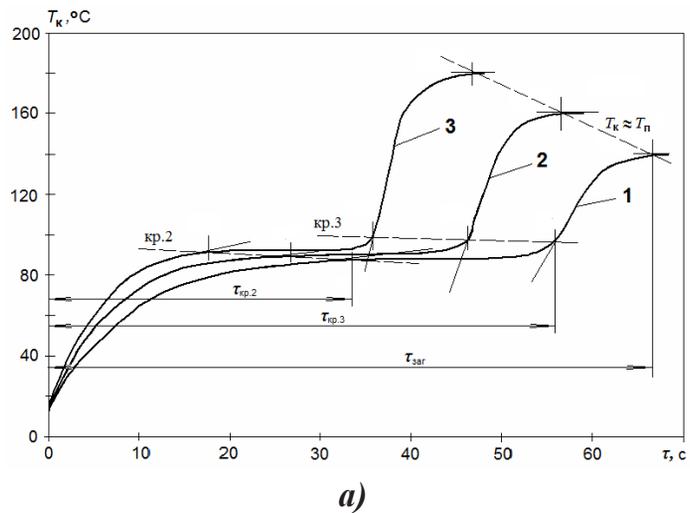
а)

б)

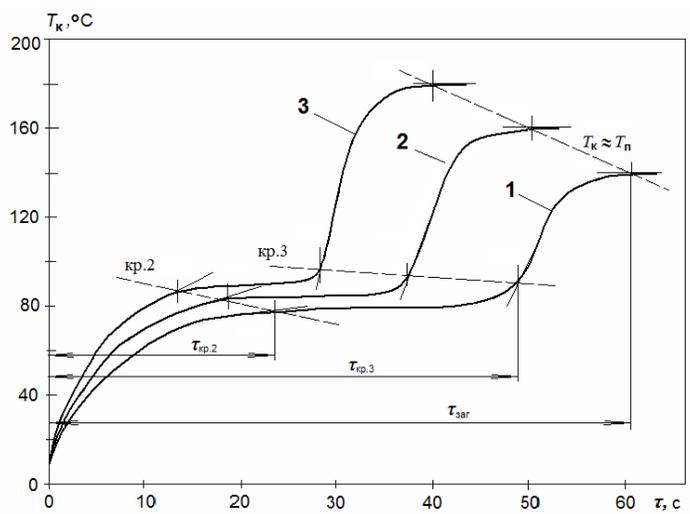
в)

Рис. 2. Кинограммы кинетики сушки при $T_c = 180\text{ }^\circ\text{C}$ капле водных суспензий фосфолипидов с содержанием глюкозы:

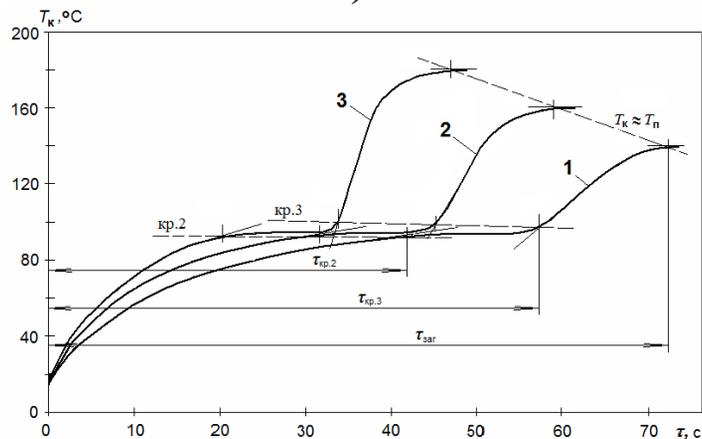
- а) $C = 0\%$ $C_0 = 7,5\%$;
- б) $C = 2,5\%$ $C_0 = 7,5\%$;
- в) $C = 20\%$ $C_0 = 25\%$.



а)

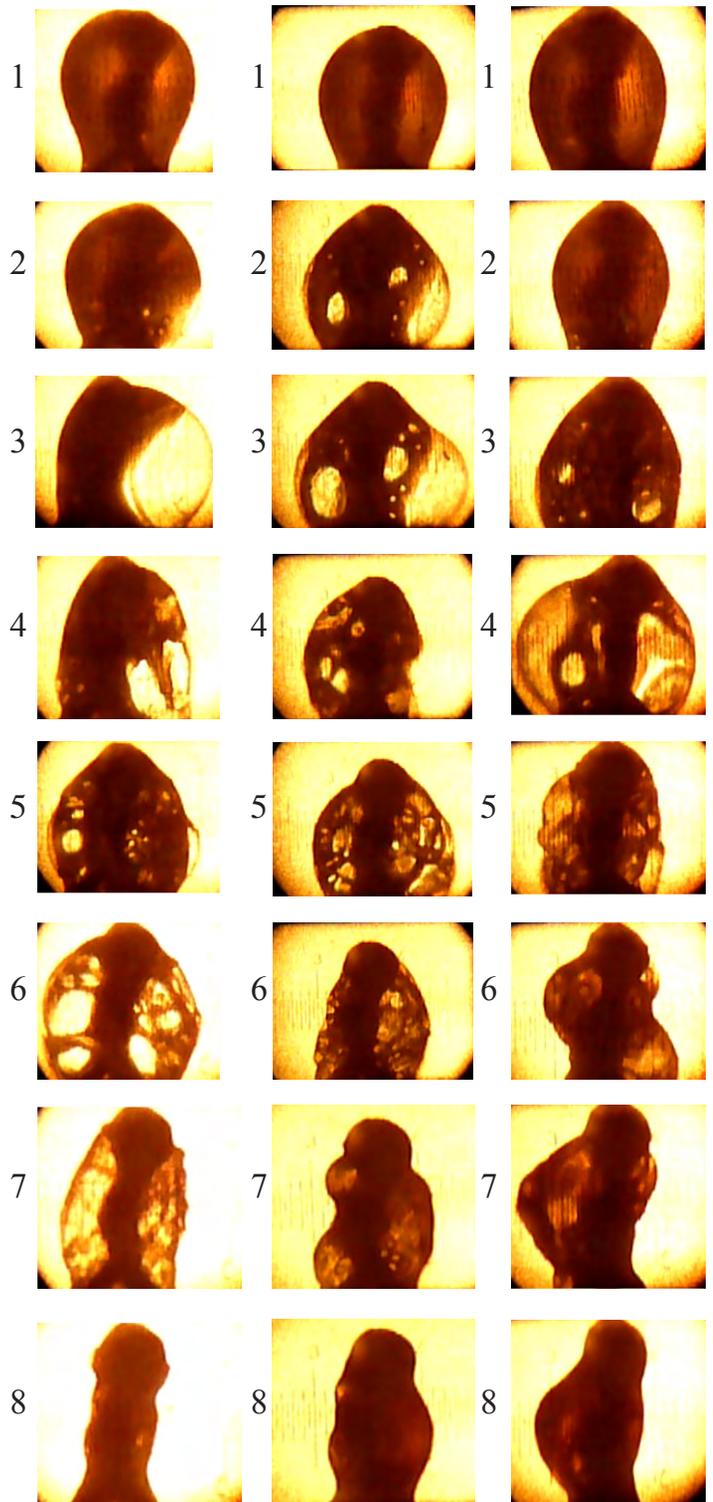


б)



в)

**Рис. 3. Термограммы сушки при $T_в$:
1 – 140 °С; 2 – 160 °С; 3 – 180 °С капле
суспезий фосфолипидов с содержанием
белка: а) $C = 2,5\%$ $C_o = 7,5\%$;
б) $C = 5\%$ $C_o = 10\%$; в) $C = 10\%$ $C_o = 15\%$.**



а)

б)

в)

**Рис. 4. Кинограммы сушки при $T_в = 180$ °С
капель суспезий фосфолипидов с
содержанием белка: а) $C = 2,5\%$ $C_o = 7,5\%$;
б) $C = 5\%$ $C_o = 10\%$; в) $C = 10\%$ $C_o = 15\%$.**

полых высушенных частиц (рис. 2, а) с размерами больше первоначальных $\delta_{\text{кон}} \geq \delta_0$, а их введение способствует уменьшению размеров высушиваемых частиц $\delta_{\text{кон}} < \delta_0$ и уплотнению их структуры (рис. 2, б, в; рис. 4).

При сушке капле суспензий без СД наблюдались разрывы поверхностной корочки с выбросом паров с микрочастицами сухого вещества из капле при их раздувании в стадии кипения. После высушивания такие частицы из-за образовавшихся полостей имели значительные размеры (рис. 2, а) и в охлажденном состоянии находились в вязко-пластичном состоянии до 3 мин.

Введение в суспензию фосфолипидов исследованных нами СД в количестве 2,5 %, как видно на рис. 1, б и рис. 3, а, способствовало увеличению времени сушки капле с $C_0 = 7,5$ % до точки кр. 3 и сокращению стадии досушивания в 2 раза, что говорит об улучшении условий высушивания капле данных составов.

Увеличение количества глюкозы в суспензии до 20 % при $C_0 = 25$ % привело к сокращению стадий коркообразования и кипения и увеличению стадии досушивания (рис. 1, в), что свидетельствует об ухудшении условий высушивания и вызванного этим повышенного проявления термопластичных и адгезионных свойств сухими частицами, даже после их охлаждения до 20 °С. Это объясняется быстрым ростом концентрационного градиента на границе раздела фаз – плотной корочки на поверхности капли, создающей сопротивление процессу влагопереноса при сушке.

Использование гидролизованного соевого белка в качестве СД способствовало повышению прочности поверхностной корочки, сохранению ее целостности в моменты раздувания капле в стадии кипения и досушивания (рис. 4). За счет лучшей влагопроницаемости корочки частицы высыхали до твердого состояния, имели более плотную структуру и значительно меньшие размеры, а главное не проявляли термопластичных и адгезионных свойств.

Введение в суспензию 5 % белка при $C_0 =$

$= 10$ % способствовало сокращению в среднем на 15...17 % общего времени сушки капле (рис. 6, б), что говорит об улучшении условий их высушивания за счет повышения влагопроводных свойств материала. При увеличении C_0 до 15,0 %, при соотношении фосфолипидов и белка как 1:2, отмечалось снижение интенсивности прогрева капле в стадии коркообразования (рис. 5, а), в результате чего длительность этой стадии (рис. 5, б) и общее время сушки $\tau_{\text{общ}}$ (рис. 6, б) возрастало несмотря на сокращение стадии кипения (рис. 5, в).

Очевидно этим и объясняется меньшая прочность и рыхлость высушенных частиц данного состава в потоке высокотемпературного теплоносителя. Однако, после охлаждения до 20 °С такие частицы становились более прочными.

На основе результатов обработки термограмм были получены зависимости $\tau_{\text{общ}} = f(C_0)$ для водной суспензии фосфолипидов с $C_0 = 5$ % и композиций на ее основе с введенными СД-глюкозой и белком, представленные на рис. 6.

Анализ полученных зависимостей показал, что на длительность сушки капле сложных дисперсных систем на основе фосфолипидов $\tau_{\text{общ}}$ более существенное влияние, чем вводимые СД, оказывает температура теплоносителя $T_{\text{в}}$. Так, при увеличении температуры теплоносителя от 140 до 160 и от 160 до 180 °С длительность сушки капле суспензий фосфолипидов, независимо от количества введенных СД, сокращалась в среднем на 25 %.

Таким образом, для предотвращения потерь в виде трудноуловимой пылевидной фракции порошка, образующейся из фрагментов легко разрушающихся полых частиц, или в виде адгезионных отложений в камере целесообразно при сушке распылением суспензий фосфолипидов в качестве структурирующей добавки использовать гидролизованный соевый белок. Повышение термостойкости материала с введенным белком при сушке по сравнению с тем же продуктом без СД или с введенной глюкозой позволит без ущерба для него повысить температуру теплоносителя на входе в сушильную

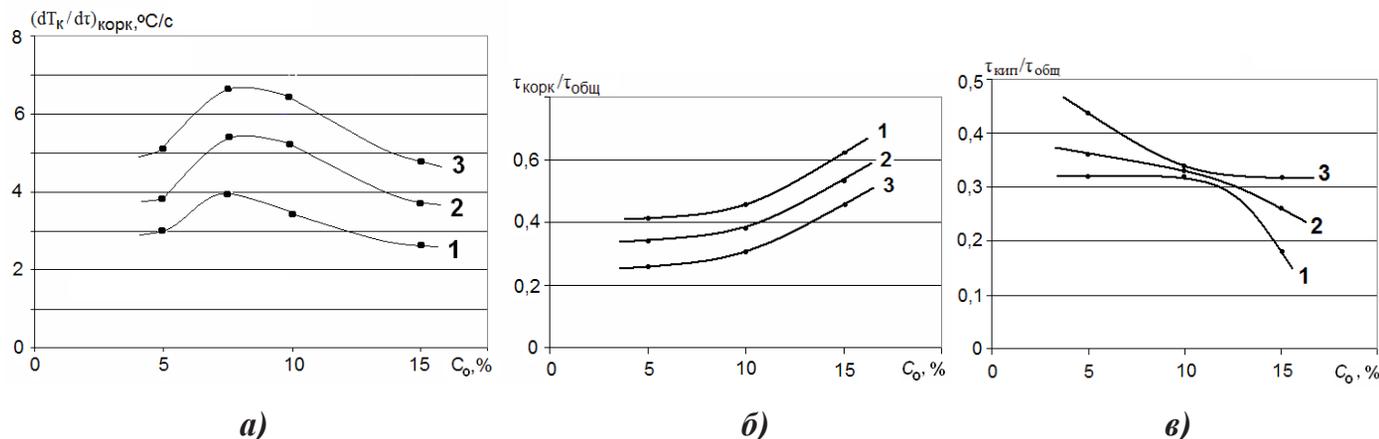


Рис. 5. Зависимость интенсивности прогрева капель (а), длительности стадии коркообразования (б) и стадии кипения (в) от общего содержания сухих веществ C_0 при сушке капель суспензии фосфолипидов с белком при $T_в$: 1 – 140 °С; 2 – 160 °С и 3 – 180 °С.

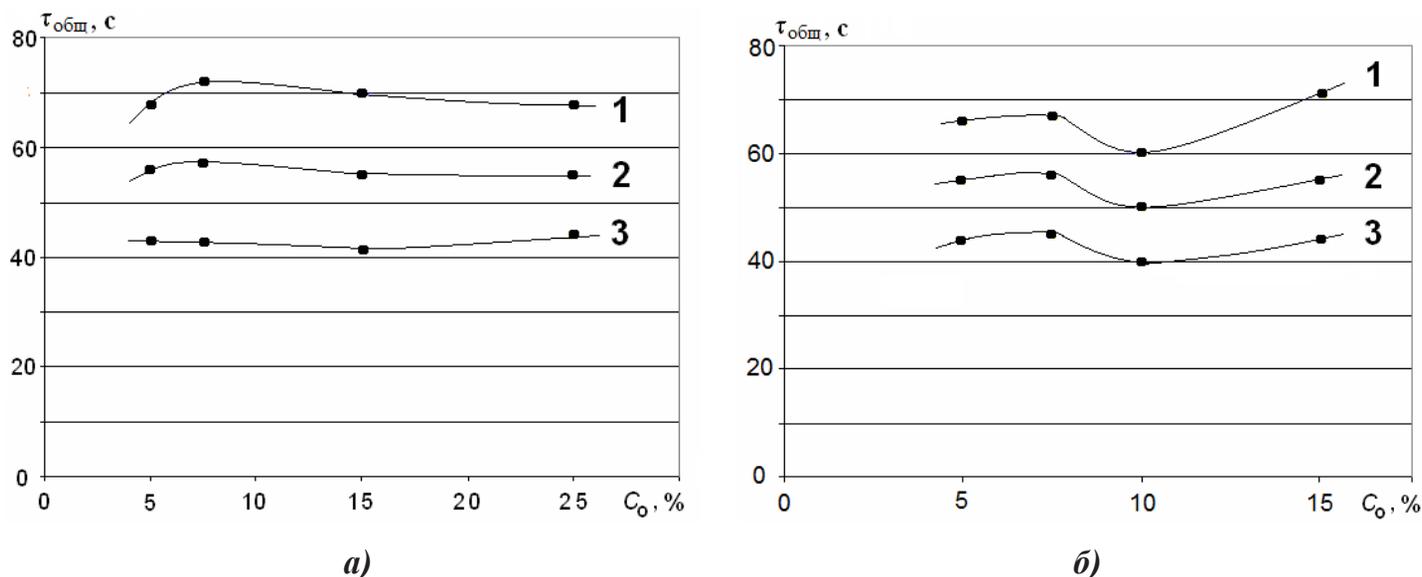


Рис. 6. Зависимость времени сушки капель суспензии фосфолипидов с глюкозой (а) и белком (б) от общего содержания сухих веществ в суспензии C_0 при $T_в$: 1 – 140 °С; 2 – 160 °С; 3 – 180 °С.

камеру до $T_в \geq 180$ °С. Однако следует учесть, что низкое содержание сухих веществ в исходной суспензии может также осложнить процесс сепарации тонкодисперсного порошка и стать причиной значительных потерь из-за его уноса с отработанным теплоносителем.

Выводы

Проведенные исследования показали, что введение в суспензию фосфолипидов гидролизованного соевого белка, в отличие от глюкозы, способствует повышению влагопровод-

ных, термостойких и прочностных свойств высушиваемого материала, а также сокращению общего времени сушки. За счет своих структурирующих свойств, белок позволит улучшить условия высушивания продукта в распылительной сушилке и получить порошкообразную форму материалов на липидной основе без адгезионных отложений в камере.

Для улучшения технологических свойств порошкообразных материалов на липидной основе и повышения их выхода при сушке распылением целесообразно продолжить ис-

следования кинетики сушки капель сложных дисперсных систем с другими видами структурирующими добавок и при большем содержании сухих веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pakowski Z.* Modelling of multicomponent drying of a shrinking gel cylinder containing DCCA: *Drying Technology* / Z. Pakowski, Z. Bartzak. – 1997. – 15(2). – P. 555-573.
2. *Allain C.* Regular pattern of cracks formed by directional drying of colloidal suspensions: *Phys. Rev. Lett.* / C. Allain, L. Limat. – 1995. – 74. – P. 2981-2984.
3. *Современные подходы к исследованию и описанию процессов сушки пористых тел / под ред. В.Н. Пармова.* – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 300 с.
4. *Нечаев А.П.* Пищевые добавки (понятие, аспекты современного использования в пищевых технологиях, проблемы, тенденции развития) / А.П. Нечаев // *Пищевая промышленность.* – 1998. – № 6. – С. 12-15.
5. *Драчева Л.В.* Полисахариды загустители / Л.В. Драчева, Е.С. Страшненко, Н.А. Королева // *Пищевая промышленность.* – 1990. – № 12. – С. 40-41.
6. *Нечаев А.Н.* Пищевые ингредиенты 2003 года / А.Н. Нечаев // *Пищевая промышленность.* – 2003. – № 1. – С. 16-17.
7. *Shin F.* Interaction of soy isolate with polysaccharide and in effect on film properties / Shin Fre-derick // *J. Amer. Oil Chem. Soc.* – 1994. – V. 71, № 11. – P. 1281-1285.
8. *Меншутина Н.В.* Наночастицы и наноструктурированные материалы для фармацевтики – Калуга: Изд-во научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2008. – 192 с.
9. *Pakowski Z.* Drying of nanoporous and nanostructured materials / *Drying 2004: Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004).* – São Paulo, Brazil. – 2004. – V. A. – P. 69-88.
10. *Adhikari B.* Characterization of the surface stickness of fructose-maltodextrin solution during drying / B. Adhikari, T. Howes, B. R. Bhandari, and V. Truong // *Drying Technology.* – 2003. – V. 21, – № 1. – P. 17-34.
11. *Lewicki P.* Drying of tomato pretreated with calcium / Piotr P. Lewicki and Ewelina Michaluk // *Drying Technology.* – 2004. – V. 22, № 8. – P. 1813-1827.
12. *Дьяконова А.К.* Структурообразователи в производстве консервированных продуктов / А.К. Дьяконова, А.Т. Безусов. – Одесса: «Optimum», 2006. – 249 с.
13. *Долинский А.А., Малецкая К.Д., Шморгул В.В.* Кинетика и технология сушки распылением. – К.: Наукова думка. – 1987. – 224 с.

Получено 14.02. 2012 г.