

УДК 631.432.25

Профессор Г.О. Магомедов¹, профессор С.В. Шахов²,
доцент М.Г. Магомедов¹, аспирант И.А. Саранов²

¹(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии хлеба, кондитерских, макаронных, зерноперерабатывающих производств. тел. (473) 255-38-51

²(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств. тел. (473) 255-37-51

E-mail: mr.saranov@mail.ru

Professor G.O. Magomedov¹, professor S.V. Shahov²,
associate professor M.G. Magomedov¹, postgraduate I.A. Saranov²

¹(Voronezh state university of engineering technologies) Department of technology of bakery, pasta, confectionery and grain processing industries. phone (473) 255-38-51

²(Voronezh state university of engineering technologies) Department of machines and equipment for food production. phone (473) 255-37-51

E-mail: mr.saranov@mail.ru

Исследование гигроскопических свойств порошкообразных полуфабрикатов концентрата квасного сусла, солодового экстракта ячменя и экстракта цикория

Investigation of hygroscopic properties of powder of semifinished kvass wort concentrate, malt extract of barley and chicory extract

Реферат. Пищевая промышленность России остро нуждается как в обновлении производственных единиц оборудования, так и в создании новых высокотехнологичных и энергосберегающих технологий. В настоящее время на рынке продуктов питания и производстве широкую популярность набрали пищевые порошкообразные продукты и полуфабрикаты. Из-за слеживаемости и низкой смачиваемости высокодисперсных порошкообразных полуфабрикатов, существует острая необходимость модифицирования их свойств инстантированием. Данная статья посвящена исследованию гигроскопических свойств порошкообразных продуктов и полуфабрикатов: экстракта цикория, солодового экстракта ячменя, концентрата квасного сусла, полученных распылительной сушкой со средним дисперсным составом 10-20 мкм, с целью поиска оптимальных условий упаковывания, хранения и теоретического обоснования условий проведения процесса инстантирования. В статье приводится схема экспериментальной установки для исследования гигроскопических свойств пищевых порошкообразных полуфабрикатов ускоренным методом с созданием псевдоожиженного слоя и необходимых температурных и влажностных характеристик оживающего агента. Излагаются как принципы работы установки, так и методика проведения эксперимента. Результаты исследований представлены в виде изотерм сорбции, по которым определены мономолекулярные, полимолекулярные и капиллярные формы связи влаги с исследуемыми продуктами и полуфабрикатами. Приведена теоретическая номограмма для определения энергии связи влаги с полуфабрикатами. Получены математические зависимости равновесных влажностей в исследуемых порошкообразных продуктах и полуфабрикатах от относительной влажности воздуха в диапазоне от 15 до 85 %, при температуре 22 °С. Определены оптимальные влажностные характеристики получаемых продуктов для их производства, последующего хранения и для осуществления процессов инстантирования.

Summary. Food industry of Russia urgently needs both updating of the manufacturing units of equipment and the creation of new high-tech and energy-saving technologies. Nowadays powdered food products and semifinished foods gained wide popularity in the market of foods and in manufacturing. Due to the caking and low wettability of fine powdered semi-finished products, there is an urgent need for modifying their properties by instanting. This article is devoted to the study of hygroscopic properties of powdered products and semifinished products: chicory extract, barley malt extract, kvass wort concentrate obtained by spray drying with an average dispersed composition of 10-20 microns, to find optimal conditions for packaging, storage and theoretical justification of the instanting process conditions. The article provides a diagram of experimental device for the study of hygroscopic properties of food powdered semi-finished products by accelerated method with the creation of the fluidized bed and the required temperature and humidity characteristics of fluidizing agent. The principles of operation of the device and methods of the experiment carrying out are given. The results are given in the form of sorption isotherms, by which monomolecular poly-molecular and capillary forms of binding of moisture with the test products and semi-finished products are determined. Theoretical nomogram to determine the binding energy of the moisture with the semi-finished products is given. Mathematical dependences of equilibrium humidities in the studied powdered products and semi-finished products on the air relative humidity in the range of 15 to 85 % at a temperature 22 °C were obtained. Optimal humidity properties of the resulting products for their production and subsequent storage and for the instanting processes were determined.

Ключевые слова: сорбция, изотерма сорбции, гигроскопические свойства, гигроскопичность, цикорий, концентрат квасного сусла, солодовый экстракт ячменя.

Keywords: sorption, sorption isotherm, hygroscopic properties, hygroscopicity, chicory, kvass wort concentrate, barley malt extract

© Магомедов Г.О., Шахов С.В.,
Магомедов М.Г., Саранов И.А., 2015

При хранении в продуктах питания происходят процессы миграции влаги, которые, в результате фазовых превращений (стеклования, кристаллизации, растворения), приводят к размягчению, уплотнению (слеживанию), расслаиванию, набуханию или растрескиванию [1, 3].

На сегодняшний день современная пищевая промышленность активно производит и использует в производстве быстрорастворимые порошкообразные полуфабрикаты, которые, из-за своего химического состава и высокой дисперсности, обладают высокой гигроскопичностью, а поэтому имеют склонность к слеживанию при контакте с окружающим воздухом.

Большой популярностью у потребителей пользуются быстрорастворимые напитки на основе экстракта цикория, концентрата квасного сусла, а в кондитерском производстве набирает популярность солодовый экстракт ячменя в жидком или порошкообразном виде. Для нахождения оптимальных условий производства, хранения и инстантирования данных порошкообразных полуфабрикатов необходимо найти зависимость равновесной влажности (W_p) порошкообразных продуктов (полуфабрикатов) от относительной влажности воздуха (ϕ).

Для нахождения данной зависимости был использован экспрессный метод и экспериментальная установка кафедры ТХКМ и ЗП ФГБОУ ВО ВГУИТ, представленная на рисунке 1 [3].

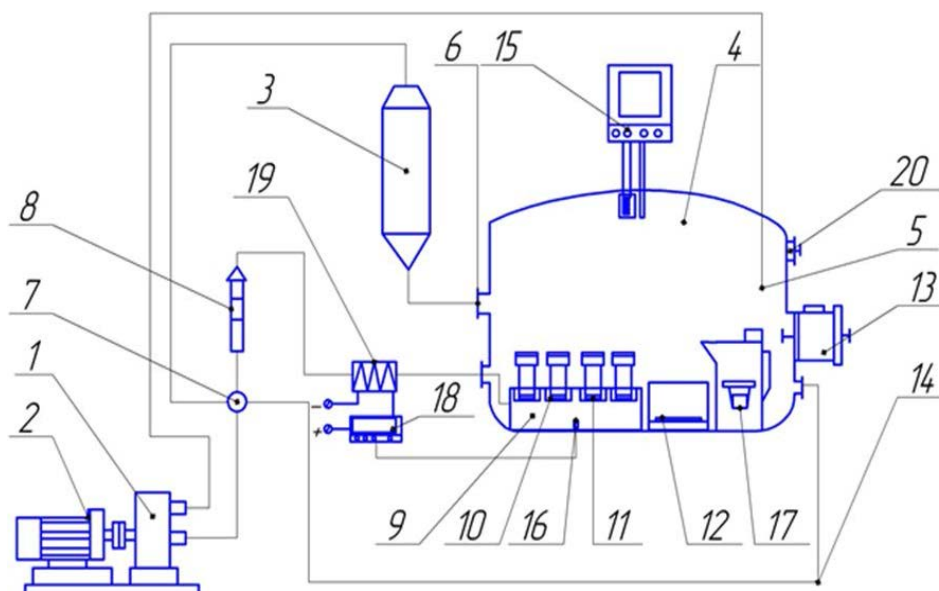


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для исследования процессов сорбции и десорбции в порошкообразных полуфабрикатах

Принцип проведения эксперимента основан на том, что через стаканчик с высокопористым дном и крышкой, наполненный порошкообразным продуктом, пропускается воздух с избыточным давлением и заданной температурой и влажностью. Таким образом, происходит псевдооживление порошкообразного материала, которое ускоряет процессы влагообмена между оживающим агентом и продуктом (сорбции и десорбции влаги).

Поддержание заданных температурных и влажностных характеристик воздуха и периодический контроль убыли или прироста массы, позволяют построить изотермы сорбции и десорбции влаги полуфабрикатом.

В начале эксперимента навески исследуемых порошкообразных материалов массой 10-15 г. помещались в стаканчики 11 с высоко-

пористыми перегородками. Затем стаканчики 11 фиксировали клапанами 10 в распределительной ячейке 9, которая располагается в герметичной рабочей камере 4 из органического стекла.

Для построения изотермы сорбции, воздух в камере максимально осушали ($\phi=10-15\%$), прокачивая мембранным компрессором 1 через адсорбционную колонну 3, заполненную индикаторным силикагелем ГОСТ8984-75.

Затем, порошкообразные материалы с известной влажностью максимально осушали, перекачивая осушенный воздух мембранным компрессором 1 через распределительную ячейку 9 и создавая псевдооживление порошков в стаканчиках с высокопористыми перегородками.

Стаканчики периодически взвешивались на аналитических весах 12 с третьим классом точности.

После достижения равновесного влагосодержания порошка, влажность воздуха в камере увеличивали на 5 % при помощи увлажнителя воздуха 17, состоящего из емкости для воды, ультразвукового распылителя и вентилятора.

До достижения равновесного влагосодержания, вновь создавалось псевдооживление материала в стаканчике, но уже увлажненным воздухом.

Каждый раз после достижения равновесного влагосодержания материала, влажность воздуха в камере увеличивали на 5 % вплоть до 85 – 90 % так как, при этой влажности наступает состояние насыщения и течения конденсированной фазы влаги в порах исследуемых материалов.

Расход сжатого воздуха измерялся ротаметром 8 марки РС-5 8.

В адсорбционную колонну 3 воздух направлялся с помощью клапанов 6, 7 и 20.

Рабочая камера имеет вид герметичного бокса из органического стекла, с форкамерой 13

и аварийной магистралью 14, с помощью которых обеспечивается непрерывный режим проведения экспериментов, во время замены исследуемых образцов.

Относительную влажность и температуру воздуха контролируют цифровым гигрометром/термометром 15, 16 марки SH-153. Манометр 21 (марки ТНМП – 100) показывает давление в рабочей камере. Температурную зависимость сорбции водяных паров материалом, позволяет исследовать контур поддержания постоянной температуры, который состоит из контактного термометра 16, подающего сигнал на термостат (СТН0024 версии 3.0) 18, управляющий нагревательным элементом 19.

Полученная по результатам исследования изотерма сорбции для исследуемых порошкообразных полуфабрикатов, идентична S – образным изотермам сорбции для типичных коллоидных капиллярно-пористых тел (рисунок 2).

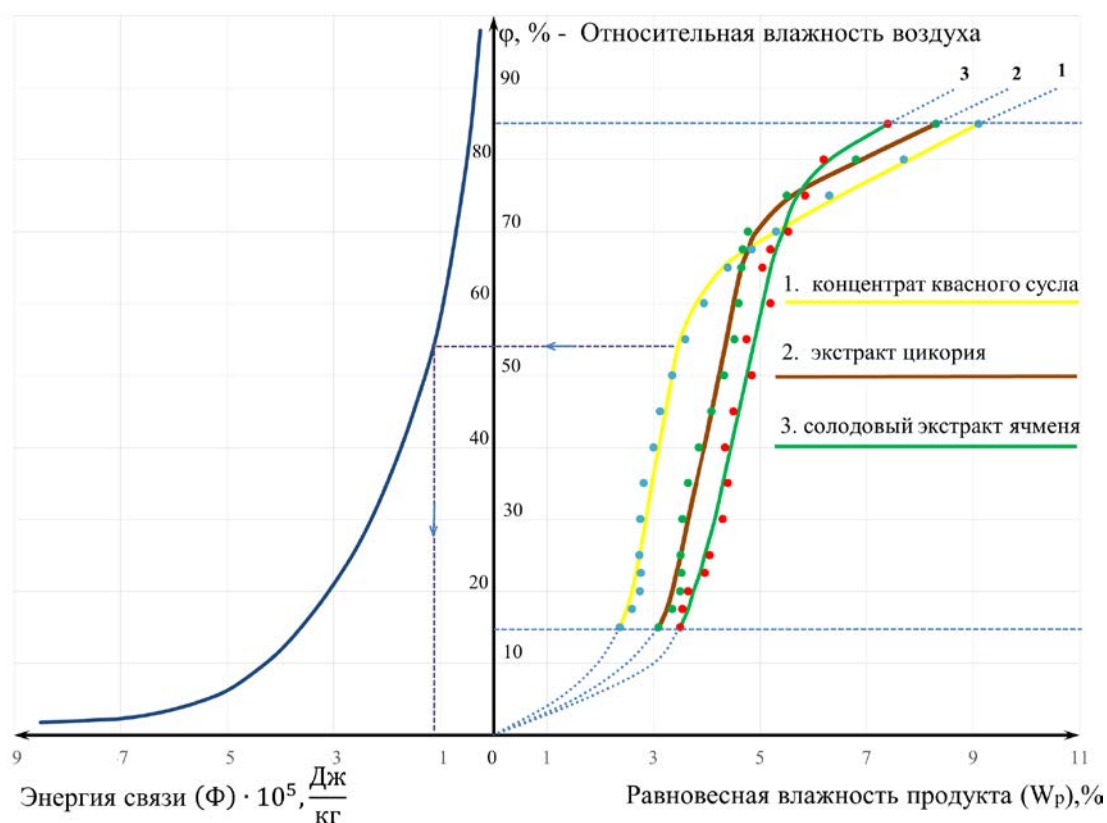


Рисунок 2. Изотерма сорбции-десорбции порошкообразных полуфабрикатов концентрата квасного сусла, солодового экстракта ячменя и экстракта цикория

По данным изотермам можно определить формы связи влаги в исследуемых порошкообразных продуктах и полуфабрикатах

Участки графиков, где кривые выпуклостью обращены к оси равновесной влажности (W_p), определяют влагу связанную мономоле-

кулярной адсорбцией. В этой зоне содержится та влага, которая связана химически (силами адсорбции) [1, 2, 4]. Она не обладает свойствами свободной влаги, располагается на поверхности частиц в виде молекулярного слоя.

Влага, связанная силами полимолекулярной адсорбции, определяется прямолинейным участком, который следует после участка мономолекулярной связанной влаги. Сорбирование такой влаги, также как и химически связанной, сопровождается экзотермическим эффектом, но уже меньшим [6].

Участки графиков, где кривые выпуклостью обращены к оси относительной влажности

воздуха (ϕ), определяют влагу, связанную капиллярно. Данная влага поглощается без тепловых эффектов [5].

Данные эксперименты проводились при относительной влажности воздуха ϕ от 15 до 85 % и температуре $t = 22^\circ\text{C}$.

Формы связи влаги, для исследуемых порошкообразных полуфабрикатов, сведены в таблицу 1.

Т а б л и ц а 1

Формы связи влаги в исследуемых продуктах и полуфабрикатах по равновесной влажности

Исследуемый порошкообразный продукт	Мономолекулярная связь	Полимолекулярная связь	Капиллярная связь
Концентрат квасного сусла	0-17	17-57	57-85
Экстракт цикория	0-19	19-66	66-85
Солодовый экстракт ячменя	0-18	18-73	73-85

В результате обработки опытных данных в среде статистического пакета MS EXCEL получены статистические модели в виде уравнения множественной регрессии, описывающие гигроскопические свойства порошкообразных полуфабрикатов концентрата квасного сусла (1), экстракта цикория (2), солодового экстракта ячменя (3).

$$W_p = 5E-05\phi^3 - 0,0052\phi^2 + 0,197\phi + 0,37 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,996$$

$$W_p = 5E-05\phi^3 - 0,006\phi^2 + 0,258\phi + 0,3 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,98$$

$$W_p = 3E-05\phi^3 - 0,0035\phi^2 + 0,168\phi + 1,57 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,98$$

В данных уравнениях, величина коэффициента множественной регрессии (R), показывающая проценты изменения равновесной влажности полуфабрикатов, которые объясняет данная модель [7].

Номограмма, расположенная в левой части рисунка 2, представлена для теоретического определения энергии связи влаги с порошкообразными полуфабрикатами [6].

Полученные данные о формах связи влаги в исследуемых порошкообразных полуфабрикатах, позволяют рационально подобрать равновесную влажность, которой необходимо добиться в процессе дегидратации, для того, чтобы порошкообразный продукт не слеживался при рекомендованных условиях хранения и не подвергался порче.

Для этого необходимо подобрать такие режимы дегидратации, при которых будет выполняться условие полного отсутствия свободной влаги (капиллярно связанной влаги) в исследуемых продуктах и полуфабрикатах (таблица 1).

Проведенные исследования также позволяют рекомендовать условия хранения, при которых порошкообразные полуфабрикаты не будут слеживаться, терять сыпучесть и подвергаться порче. Рекомендуемая влажность помещения (ϕ) для хранения порошкообразного полуфабриката концентрата квасного сусла – не выше 50 %, для порошкообразного экстракта цикория – не выше 54 %, для порошкообразного солодового экстракта ячменя – не выше 58 %.

Для удаления влаги, связанной полимолекулярно, потребуются повышенные затраты энергии на преодоление растущей энергии связи влаги с продуктом (рисунок 2). Дегидратация с удалением такой влаги позволит нивелировать возможные кратковременные нарушения условий хранения и целостности упаковки. Для осуществления процессов инстантирования агломерацией, необходима равномерная паровлажностная обработка порошкообразных продуктов или полуфабрикатов для накопления достаточного количества капиллярной влаги.

В исследуемых порошкообразных полуфабрикатах, на участках с капиллярно связанной влагой (таблица 1), определены равновесные влажности (W_p), при которых в материалах начинают образовываться агрегаты и агломераты: для концентрата квасного сусла – 6,5 %, для экстракта цикория – 5,9 %, для солодового экстракта ячменя – 6,3 %.

На основе проведенных исследований, обоснованы условия хранения порошкообразных продуктов и полуфабрикатов: концентрата квасного сусла, солодового экстракта ячменя и экстракта цикория, рекомендованы оптимальные влажностные характеристики данных продуктов и полуфабрикатов, как для последующего хранения, так и для осуществления процессов инстантирования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Килкаст Д. Стабильность и срок годности. Мясо и рыбопродукты / Д. Килкаст, П. Субраманиам (ред.-сост.). Пер., с англ. под научн. ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Г. Базарновой. СПб.: ИД «Профессия», 2012. 420 с.

2 Магомедов М.Г. Технология получения полуфабрикатов из сахарной свеклы и кондитерских изделий на их основе. Воронеж: ВГУИТ, 2015. 143 с.

3 Магомедов Г.О., Магомедов М.Г., Шахов С.В., Саранов И.А. и др. Установки для инстантирования порошкообразных полуфабрикатов комбинированным способом // «Машины и аппараты XXI века. Химия. Нефтехимия. Биотехнология» материалы интернет-конференции. Воронеж: ВГУИТ, С. 104-107.

4 Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагодобные характеристики пищевых продуктов. Справочник. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.

5 Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Технико-теоретическая литература, 1954. 296 с.

6 Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.

7 Сорокопуд А.Ф., Шеменева Н.А., Третьякова Н.Г. Физико-химические свойства концентрата квасного суслу // Техника и технология пищевых производств. 2012. №2. С. 120-124.

8 Дворянинова О.П., Соколов А.В., Черкесов А.З. Сырьевая база водных биоресурсов как фактор обеспечения продовольственной безопасности страны // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, 2015. № 2 (6). С. 22-29.

REFERENCES

1 Killkast D., Subramaniam P. Stabil'nost' i srok godnosti. Myaso i ryboprodukty [Stability and shelf life. Meat and fish products]. Saint-Petersburg, Profesiya, 2012. 420 p. (In Russ.).

2 Magomedov M.G. Tekhnologiya polucheniya polufabrikatov iz sakharnoy svekly i konditerskikh izdeliy na ikh osnove [Technology for producing semi-finished products from sugar beet and confectionery products based on them]. Voronezh, VGUIT, 2015. 143 p. (In Russ.).

3 Magomedov G.O., Magomedov M.G., Shakhov S.V., Saranov I.A. et al. Installation for instantirovaniya powdery half-finished in a combined way. «Mashiny i apparaty XXI veka. Khimiya. Neftekhimiya. Biotekhnologiya» materialy internet-konferentsii ["Machinery and equipment of XXI century. Chemistry. Petrochemistry. Biotechnology "Internet conference materials]. Voronezh, VGUIT, pp. 104-107. (In Russ.).

4 Ginzburg A.S., Savina I.M. Massovlagodobnnyye harakteristiki pishchevykh produktov Spravochnik. [Weight moisture exchange characteristics of foods. Guide]. Moscow, Legkaya i pishchevaya prom-st', 1982. 280 p. (In Russ.).

5 Lykov A.V. Yavlenie perenosa v kapillyarno-poristykh telakh. [The phenomenon of migration in capillary-porous body]. Moscow, Tekhniko-teoreticheskaya literatura, 1954. 296 p. (In Russ.).

6 Rebinder P.A. Poverkhnostnyye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. Izbrannyye trudy [Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics. Selected Papers]. Moskva, Nauka, 1979. 384 p. (In Russ.).

7 Sorokopud A.F., Shemenewa N.A., Tret'yakova N.G. Physico-chemical properties of kvass wort. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. [Engineering and technology of food production], 2012, no. 2, pp. 120-124. (In Russ.).

8 Dvoryaninova O. P., Sokolov A.V., Cherkesov A.Z. Source of raw materials of water bioresources as factor of ensuring food security Country. Tekhnologiya pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti. [Technologies of food and processing industry of agrarian and industrial complex products of healthy food], 2015, no. 2 (6), pp. 22-29. (In Russ.).