

УДК [536.712:536.75/.77]: [634.74:664.8.039.4]

Гигроскопические свойства водорастворимых антоциановых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья

Е. В. АНДРЕЕВА¹, С. С. ЕВСЕЕВА²,д-р техн. наук И. Ю. АЛЕКСАНИЯ¹, д-р техн. наук А. Х.-Х. НУГМАНОВ¹¹Астраханский государственный технический университет²Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: albert909@yandex.ru

Проведено исследование по определению гигроскопических параметров и их термодинамического анализа для рациональной организации процесса сушки водорастворимых антоциановых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья, в частности плодов черного тута (шелковицы). Гигроскопические характеристики и равновесная влажность водного тутового экстракта находились при использовании тензометрической методики Ван Бамелена. Термодинамический анализ гигроскопических параметров проводился на основе классического уравнения Гиббса-Гельмгольца. Определены гигроскопические параметры и проведен их термодинамический анализ для рациональной организации процесса сушки водорастворимых антоциановых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья, в частности тутового экстракта. Проведена оценка варьирования энергии связи влаги с сухим веществом на различных стадиях сушки. В пределах изменения влажности $0,02 \leq W_p \leq 0,07$ микробиологическая и ферментативная активность минимальна, и поэтому ее величину, равную 0,07 принимают за итоговую для хранения. Полученные данные и их зависимости от влияющих факторов можно использовать при конструировании и проектировании процессов обезвоживания сушильного оборудования.

Ключевые слова: натуральные красители, плоды черного тута, гигроскопические характеристики, изотермы сорбции, термодинамический анализ, тепломассоперенос, сушка.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 27.08.2020, принята к печати 05.10.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-45-52

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Андреева Е. В., Евсеева С. С., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Гигроскопические свойства водорастворимых антоциановых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья // Вестник Международной академии холода. 2020. № 4. С. 45–52. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-45-52

Hygroscopic properties of water-soluble anthocyanin complexes isolated from fruit and berry raw materials

E. V. ANDREEVA¹, S. S. EVSEEVA²,D. Sc. I. Yu. ALEXANYAN¹, D. Sc. A. H.-H. NUGMANOV¹¹Astrakhan State Technical University²Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: albert909@yandex.ru

The aim of the study was to determine hygroscopic parameters and their thermodynamic analysis for the rational organization of the drying process for water-soluble anthocyanin complexes isolated from fruit and berry raw materials. The hygroscopic characteristics and equilibrium moisture content of the aqueous mulberry extract were found using the tensometric method by Van Barmelen. Thermodynamic analysis of hygroscopic parameters was carried out on the basis of the classical Gibbs-Helmholtz equation. The hygroscopic parameters were determined and their thermodynamic analysis was carried out for the rational organization of the drying process of water-soluble anthocyanin complexes isolated from fruit and berry raw materials, in particular, mulberry extract. The estimation of the variation of the binding energy of moisture with dry matter at various stages of drying is carried out. Within the limits of moisture variation $0.02 \leq W_p \leq 0.07$, microbiological and enzymatic activity is minimal, and therefore its value equal to 0.07 is taken as the final one for storage. The obtained data and their dependence on influencing factors can be used in the design of drying processes for drying equipment.

Keywords: natural colors, mulberry fruits, hygroscopic characteristics, sorption isotheres, thermodynamic analysis, hat and mass transfer, drying

Article info:

Received 27/08/2020, accepted 05/10/2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-45-52

Article in Russian

For citation:

Andreeva E. V., Evseeva S. S., Alexanyan I. Yu., Nugmanov A. H.-H. Hygroscopic properties of water-soluble anthocyanin complexes isolated from fruit and berry raw materials. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2020. No 4. p. 45–52. DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-4-45-52

Введение

Перспективным направлением совершенствования технологий натуральных антоцианиновых пищевых красителей (ПК) является изыскание возможностей использования при их производстве растительного сырья, имеющего не только высокую урожайность, но и низкую себестоимость, причем такие красители в большинстве случаев будут являться премиксами, обладающими пищевой ценностью и заданными функциональными свойствами. Особенностью сырьевых ресурсов Астраханской области, является то, что они включают широкий спектр дикорастущих сырьевых материалов, среди которых встречаются просто кладези биологически активных компонентов, способных к существенному к позитивному физиологическому воздействию на жизнедеятельность человека и вполне пригодны для производства натуральных красителей. К таким ресурсам относятся и плоды черного тута (шелковицы), природные запасы которых дают возможность их заготовки не только для локальных потребностей региона, но и в масштабе всей страны.

Все преимущества порошковых натуральных красителей в значительной степени определяют их гигроскопическими характеристиками, прогнозирование которых необходимо при анализе влияния внутренних процессов тепловлагопереноса на интенсивность распылительного обезвоживания и на процессы формо- и структурообразования порошкообразного продукта. Поэтому при проведении теплотехнологических исследований процесса распылительного обезвоживания различных жидкостных продуктов, на первой стадии экспериментальных исследований получают данные об их гигроскопических характеристиках.

Цели и задачи

Определение гигроскопических параметров и их термодинамический анализ для рациональной организации процесса сушки водорастворимых антоцианиновых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья.

Методы и модели

Шелковица или тутовое дерево (тутовник) является листопадным растением семейства тутовые. В мире существует всего около 17 разновидностей дерева, которые произрастают в Украине, Румынии, Болгарии, центральной и южной частей России, Закавказье, а также в теплых умеренных и субтропических зонах Северной Америки, Азии и Африки. Родиной тутового дерева считаются страны Южной и Западной Азии (Афганистан и Иран), а белая шелковица берет начало из восточных регионов Китая [1].

Гигроскопические характеристики (ГХ) и равновесная влажность W_p , водного тутового экстракта находи-

лись при использовании тензометрической методики [2]–[6], по которой навески с известной массой и влажностью W находились в эксикаторной емкости над разлочно концентрированным серноокислым раствором до достижения W_p , причем конкретная доля кислоты в нем при фиксированном значении температуры T обуславливает парциальное давление паров воды, соответствующее конкретной величине относительной влажности воздуха φ [5, 7–9]. По завершению опыта, W_p находилась по соотношению:

$$W_p = \frac{G_2 - G_1(1 - W_{\text{образца}})}{G_2}, \quad (1)$$

где $W_{\text{образца}}$ — исходная для навески, кг/кг; G_1 — ее исходная масса, кг; G_2 — масса в равновесном состоянии.

Опытное исследование ГХ позволяет рекомендовать итоговую влажность ПК, рациональную для дальнейшего хранения. При выявлении равновесных сорбционных зависимостей можно допустить [2, 8, 10], что величины активности воды A_w и φ в опыте идентичны, по причине совпадения парового давления над поверхностью ПК и в объеме эксикаторной емкости при равновесии.

Потенциал трансфера воды Θ , который применяется в термодинамическом анализе для оценки способности к трансферу энергии при удалении воды из образца. Оценить трансфер пара в паровоздушной среде можно по величине химического потенциала. В гигроскопических условиях, потенциал трансфера влаги ориентировочно идентичен потенциалу химическому [2, 8, 11–13]:

$$|\Theta| = |\mu| = R \cdot T \cdot \ln A_w, \quad (2)$$

где R — постоянная, идентичная работе увеличения объема 1-го моля идеальной газовой среды при неизменном давлении и росте температуры на один К, $R = 8,314$ Дж/(моль·К); A_w — активность воды; T — температура среды, К.

Нулевую величину μ в гигроскопическом ареале при неизменной T имеет при $\varphi = 1$ для влаги в свободном состоянии μ_0 . То есть в текущем состоянии для произвольной точки образца движущей сорбционной силой является $\Delta\mu = \mu - \mu_0$.

Согласно [8, 14], резонно проводить оценку формы и энергии связи воды с сухим скелетом по величине работы обратимого отделения 1 ее моля при постоянной T для фиксированной W без варьирования состава образца:

$$\Delta\mu = E = \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} \right)_T = R \cdot T \cdot \frac{p_s}{p_u} = -R \cdot T \cdot \ln A_w, \quad (3)$$

где E обуславливает свободную энергию моля адсорбированной субстанции в определенной прослойке; p_s —

давление насыщенной паровой среды над плоской поверхностью воды в свободном состоянии, Па; p_u — давление водяных паров в состоянии равновесия при такой же T над веществом определенного уровня оводнения, Па.

Таким образом, используя соотношение (3), имеется возможность математической оценки варьирования свободной энергии по W в гигроскопическом ареале для 2-х зон.

Для первого участка:

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} = -R \cdot T \cdot \ln A_w = -R \cdot T (13,391W_p - 1,711);$$

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} = 4522 - 3540W_p. \tag{4}$$

Для второго участка:

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} = -R \cdot T \cdot \ln A_w = -R \cdot T (276,387W_p^3 - 151,316W_p^2 + 29,48W_p - 2,197);$$

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} = 400056W_p^2 - 730727W_p^3 - 77942W_p + 5810. \tag{5}$$

Анализ и обработка изотермических сорбционных равновесных зависимостей сорбции дает возможность оценки механизма варьирования термодинамических составляющих соотношения Гиббса-Гельмгольца при $P, T, V = \text{const}$ [8, 15]: $\Delta F = \Delta E - T\Delta S$ ($\Delta E, \Delta S$ — производные внутренней энергии и энтропии по W_p при неизменных P, T) производная от которой дает соотношение:

$$\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,R} = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p}\right)_{T,R} - T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,R}, \tag{6}$$

где энтропийный компонент свободной энергии $T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,R}$ для большинства материалов может иметь заметную величину.

Взяв производную от соотношения (6) по T найдем:

$$\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}\right)_{T,R} = \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,R}. \tag{7}$$

Принимая во внимание выражение (3) соотношение для варьирования энтропии влаги в связанном состоянии выглядит следующим образом:

$$\left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}\right)_{T,R} = \frac{-\partial(R \cdot T \cdot \ln A_w)}{\partial T} = -R \frac{\partial(T \cdot \ln A_w)}{\partial T}. \tag{8}$$

Результаты и их обсуждение

После завершения опытной серии построены изотермические сорбционные кривые тутового экстракта (рис. 1) при $T=298$ и 318 К, которые можно разбить на 2-е зоны и аппроксимировать их 2-мя уравнениями, что более наглядно в полулогарифмическом виде (рис. 2). 1-я зона находится в пределах варьирования от W_0 до W_m , а 2-я — от W_m и далее.

В точке W_0 , до которой при $0,02 \leq W_p \leq 0,07$ микробиологическая и ферментативная активность минимальна, и ее принимают за итоговую для хранения, наблюдается трансфер воды из моно- в полимолекулярное адсорбционное состояние, первая из которых не отводится при тепловом обезвоживании, вследствие чего зону от 0 до W_0 можно не принимать во внимание и математически не описывать. В точке W_m , на пересечении касательной к кривой в 1-й точке перегиба с осью абсцисс наблюдается трансфер влаги из полимолекулярного адсорбционного в капиллярное или осмотическое состояние (рис. 3). Выявленная ошибка аппроксимации была не $> 3\%$.

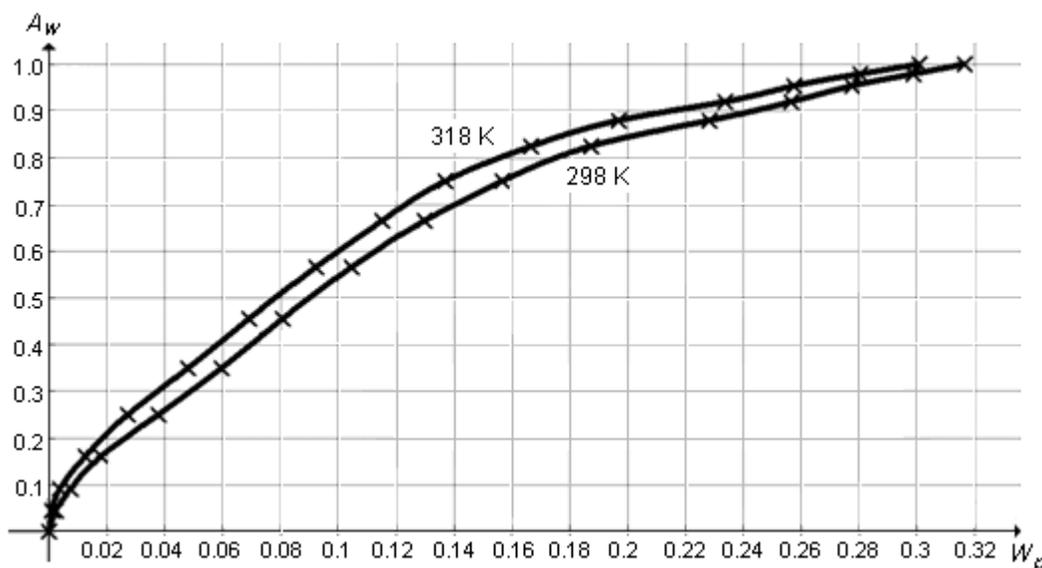


Рис. 1. Равновесные сорбционные зависимости для ПК (× — экспериментальные значения)
 Fig. 1. Equilibrium sorption dependencies for food colors (× — experimental value)

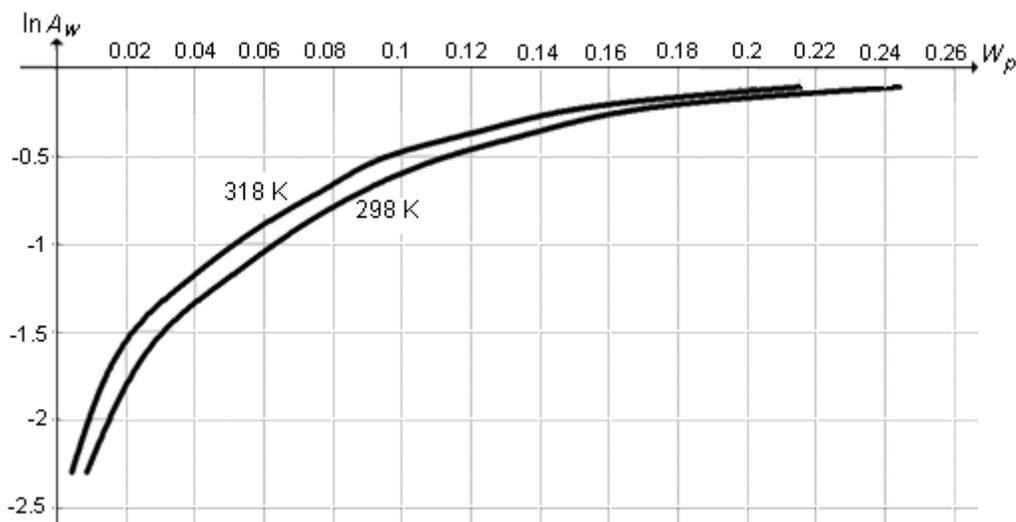


Рис. 2. Равновесные сорбционные зависимости для ПК в полулогарифмических координатах
 Fig. 2. Equilibrium sorption dependencies for food colors in semilogarithmic coordinates

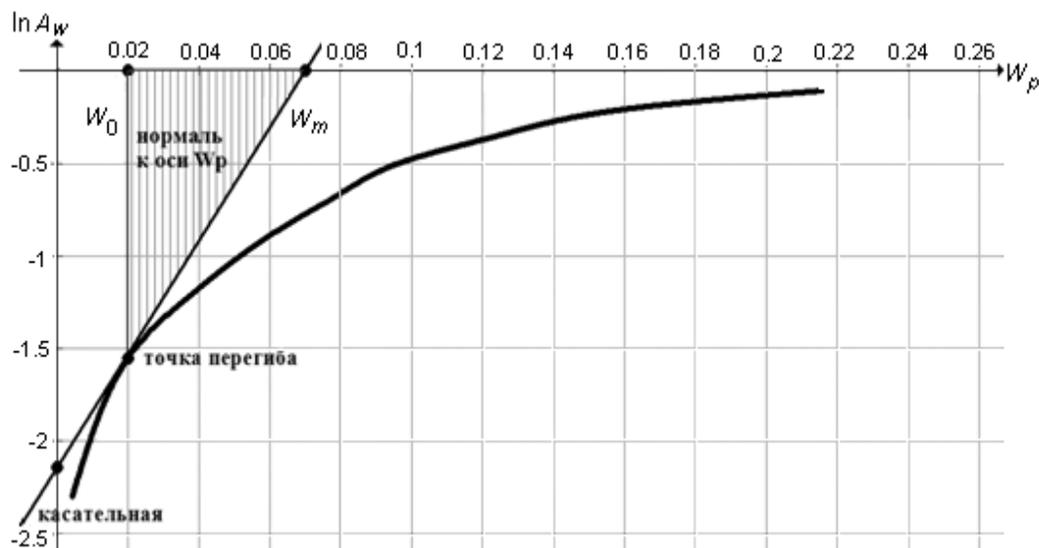


Рис. 3. К разделению на зоны с превалярованием различных видов связи воды с сухим веществом: от 0 до W0 — превалярует химическая; от W0 до Wm — адсорбционная; от Wm и далее — капиллярная или осмотическая связь
 Fig. 3. On the zoning with the predominance of various types of bonds water-dry matter: from 0 to W0 — chemical bond; from W0 до Wm — adsorption bond; from Wm — capillary or osmotic bond predominates

Соотношения (9), (10) для зон равновесной кривой, построенной при температуре 318 К, в качестве примера. Участок 1–0,02 ≤ Wp ≤ 0,07:

$$\ln A_w = 13,391W_p - 1,711. \quad (9)$$

Участок 2–0,07 ≤ Wp ≤ 0,24:

$$\ln A_w = 276,387W_p^3 - 151,316W_p^2 + 29,48W_p - 2,197. \quad (10)$$

Используя полученные выражения, подобные соотношениям (9), (10) для другой T, математически обобщив их в виде $\ln A_w = f(W_p, T)$ для зоны линейного варьирования $\ln A_w$, имеем:

$$\ln A_w = (aT+b) W_p + (cT+d); \quad (11)$$

для криволинейного участка:

$$\ln A_w = (aT+b) W_p^3 + (cT+d) W_p^2 + (eT+f) W_p + (g+k). \quad (12)$$

Взяв производную от уравнений 11, 12 по T и перемножив ее на T получим искомое соотношение для

$$T \cdot \frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}.$$

Опираясь на соотношения для зон при 298 и 318 К, находим коэффициенты сначала для 1-го участка, решив для этого ряд систем уравнений:

a	−0,215
b	81,904
c	0,022
d	−8,698

В итоге получим:

$$T \cdot \frac{\partial \Delta S}{\partial W_p} = 145733W_p - 13953. \quad (13)$$

Находим коэффициенты для 2 участка, решив для этого ряд систем уравнений:

<i>a</i>	7,579	<i>e</i>	0.36
<i>b</i>	-2133,69	<i>f</i>	-84,848
<i>c</i>	-3,126	<i>g</i>	-0,006
<i>d</i>	842,635	<i>k</i>	-0,252

В итоге имеем:

$$T \cdot \frac{\partial \Delta S}{\partial W_p} = 3027914W_p^2 - 7102613W_p^3 - 380211W_p + 10954. \quad (14)$$

Учитывая соотношение (14), можно определить изменение внутренней энергии в процессе сорбции материалом влаги.

Для первого участка:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p} = 110329W_p - 9429. \quad (15)$$

Для второго участка:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p} = 3427970W_p^2 - 7833340W_p^3 - 458153W_p + 16764. \quad (16)$$

Опираясь на полученные соотношения построены графические зависимости, которые представлены на рис. 4.

Опираясь на приведенные выше зависимости можно найти общую удельную тепловую энергию испарения

воды $r=f(W, T)$, которая входит в уравнение трансфера тепловой энергии при сушке, сложив тепловые энергетические составляющие образования пара из воды в свободном состоянии r' , смачивания $r_{см}$ и $r_{энт}$, обусловленную варьированием энтропии [16]–[19]. Таким образом, получаем:

$$r = r' + r_{см} + r_{энт}. \quad (17)$$

В пределах $T=293 \div 318$ К изменение r' линейно [7, 8]:

$$r' = 3118,458 \cdot 10^3 - 2286T. \quad (18)$$

Значение $r_{см}$ находят, как дифференциал свободной энергии влагоудаления при $T=const$ [16]–[19]:

$$r_{см} = \left| 55,556 \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p} \right)_{T,P} \right|, \quad (19)$$

где 55, 556 — переводной коэффициент из молей в кг.

Значение $r_{энт}$ находят, как:

$$r_{энт} = \left| 55,556T \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial W_p} \right)_{T,P} \right|. \quad (20)$$

Для $T=319$ К: $r'=2391510$ Дж/кг.

Для первого участка:

$$r_{см} = |251246 - 1966900W_p|; \quad (21)$$

$$r_{энт} = |8096339W_p - 775105|; \quad (22)$$

$$r = 2391510 + |251246 - 1966900W_p| + |8096339W_p - 775105|. \quad (23)$$

Для второго участка:

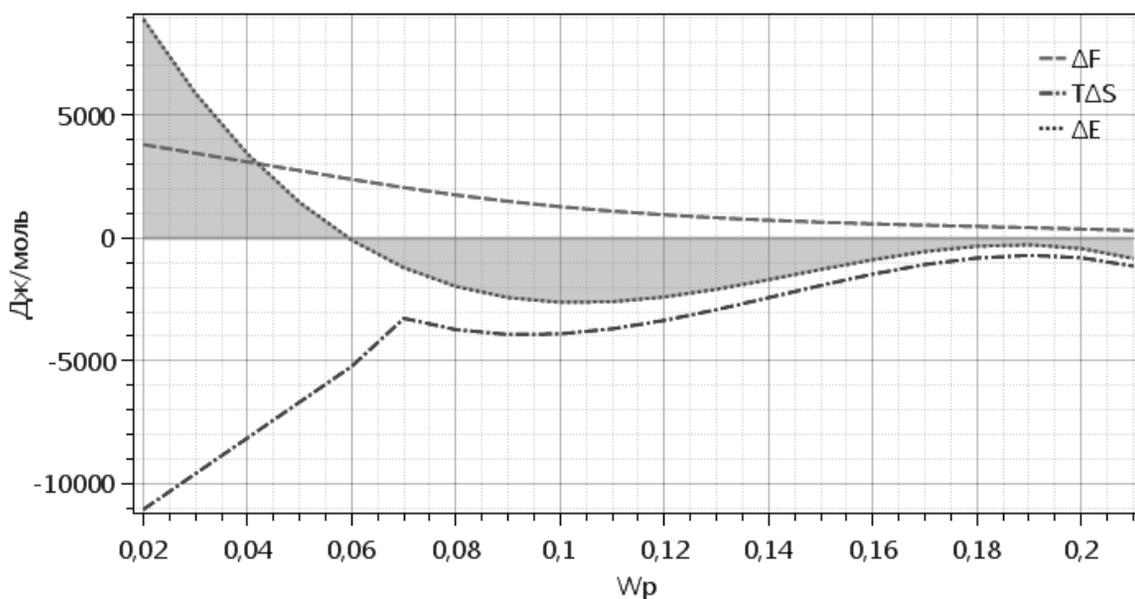


Рис. 4. Изменение свободной $\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}$, связанной $T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}$ и внутренней $\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p}$ энергии в зависимости от влажности материала

Fig. 4. Changes of free $\frac{\partial \Delta F}{\partial W_p}$, bound $T \frac{\partial \Delta S}{\partial W_p}$, and internal $\frac{\partial \Delta E}{\partial W_p}$ energy depending on the material moisture content

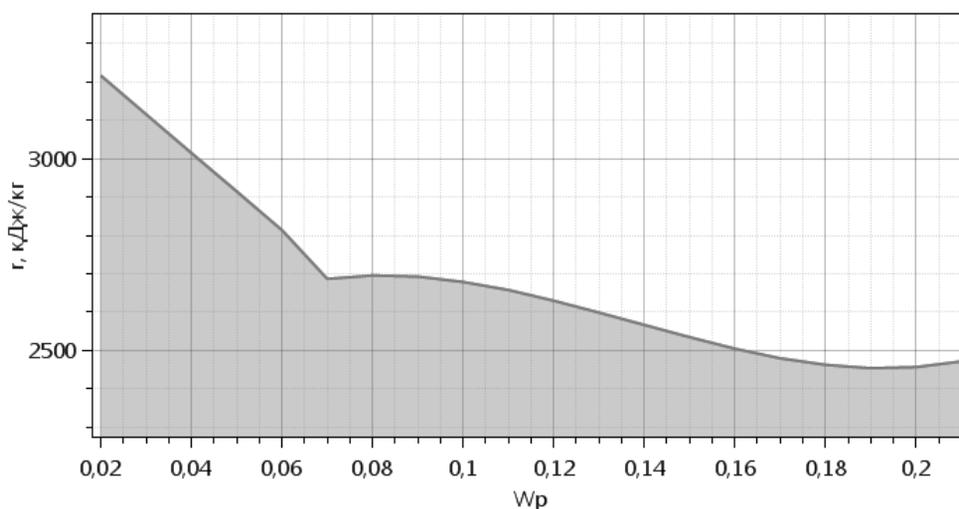


Рис. 5. Закономерность варьирования r для 2-х зон в пределах $0,02 \leq W_p \leq 0,24$

Fig. 5. r variation for two zones within $0.02 \leq W_p \leq 0.24$

$$r_{\text{см}} = \left| 22225515W_p^2 - 40596254W_p^3 - 4330149W_p + 322755 \right|; \quad (24)$$

$$r_{\text{ЭНГ}} = \left| 168218794W_p^2 - 394592763W_p^3 - 21122980W_p + 608567 \right|; \quad (25)$$

$$r = 2391510 + \left| 22225515W_p^2 - 40596254W_p^3 - 4330149W_p + 322755 \right| + \left| 168218794W_p^2 - 394592763W_p^3 - 21122980W_p + 608567 \right|. \quad (26)$$

На рис. 5 показана закономерность варьирования r для 2-х зон в пределах $0,02 \leq W_p \leq 0,24$, характер которой не входит в противоречие с известными данными для множества продуктов растительной природы и опреде-

ляется позонным превалированием того или иного вида и энергии связи воды с сухим веществом.

Заключение

Определены гигроскопические параметры и проведен их термодинамический анализ для рациональной организации процесса сушки водорастворимых антоциановых комплексов, выделяемых из плодово-ягодного сырья, в частности тутового экстракта. Проведена оценка варьирования энергии связи влаги с сухим веществом на различных стадиях сушки. В пределах изменения влажности $0,02 \leq W_p \leq 0,07$ микробиологическая и ферментативная активность минимальна, и поэтому ее величину, равную 0,07 принимают за итоговую для хранения. Полученные данные и их зависимости от влияющих факторов можно использовать при конструировании и проектировании процессов обезвоживания сушильного оборудования.

Литература

1. Шелковица [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/shelkovitsa/> (Дата обращения: 17.05.2020).
2. Алексанян И. Ю. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушки продуктов животного и растительного происхождения: автореф. дис... д. т. н. 05.18.12/Алексанян Игорь Юрьевич. — М., 2001. 52с.
3. Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А. и др. Массообменные процессы в химической и пищевой технологии: учебное пособие. СПб: Лань, 2014. 222 с.
4. Фоменко Е. В., Алексанян И. Ю., Петровичев О. А., Лысова В. Н. Определение гигроскопических свойств и десорбционных параметров в технологии гранулирования пшеничной клейковины // Вестник Международной академии холода. 2019. № 2. С. 86–94.
5. Муцаев Р. В., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х. Х., Нгуен Т. С. Термодинамический анализ механизма взаимодействия инулина с водой // Современная наука и инновации. 2017. № 4 (20). С. 79–84.

References

1. Mulberry [Electronic resource]. Access mode: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/shelkovitsa/> (Date of access: 05/17/2020). (in Russian)
2. Aleksanyan I. Yu. The development of scientific foundations of the processes of high-intensity drying of products of animal and plant origin: author. dis...doctors of tech. Sciences: 05.18.12 / Aleksanyan Igor Yurevich. Moscow, 2001. 52 p. (in Russian)
3. Aleksanyan, I. Yu., Maksimenko Yu. A. et al. Mass transfer processes in chemical and food technology: textbook. SPb: Lan, 2014. 222 p. (in Russian)
4. Fomenko E. V., Aleksanyan I. Yu., Petrovichev O. A., Lysova V. N. Determination of hygroscopic properties and desorption parameters in the technology of wheat gluten granulation. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 2. p. 86–94. (in Russian)
5. Mutsaev R. V., Aleksanyan I. Yu., Nugmanov A. Kh. Kh., Nguyen T. S. Thermodynamic analysis of the mechanism of interaction of inulin with water. *Modern Science and Innovations*. 2017. No. 4 (20). pp. 79–84. (in Russian)

6. Larbi A. A., Loumani A., Mediani A., Bennaceur S., Tigani C. Experimental measurement of moisture sorption isotherms and isosteric heat of palm hearts (JoMARE) harvested in the Algerian Sahara // *Instrumentation Mesure Metrologie*. 2019. Vol. 18 (3), pp. 297–304
7. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.
8. Никитина Л. М. Гигроскопические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. М.: Энергия, 1967. 499 с.
9. Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А., Феклунова Ю. С. Исследование влияния температуры на гигроскопические характеристики плодовоовощных продуктов // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*. 2017. № 4 (18). С. 86–89.
10. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1975. 527 с.
11. Пастух А. С., Грабовская Е. В., Литвяк В. В. Сорбционные свойства пектинов, полученных из картофельного сырья // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2016. № 3 (33). С. 78–85.
12. Петрова Т. В., Бакалов И. Ю., Рускова М. М., Тошков Н. Г., Тамова М. Ю., Пенев Н. Д. Изотермы сорбционной влажности экстрадатов на основе фасоли // *Научные труды КубГТУ*. 2016. № 14. С. 232–244.
13. Zeymer J. S., Corrêa P. C., Oliveira G. H. H., Baptestini F. M., Campos R. C. Mathematical modeling and hysteresis of sorption isotherms for paddy rice grains // *Engenharia Agricola*. 2019. Vol. 39 (4), pp. 524–532.
14. Неуен Т. С., Нугманов А. Х. Х., Арабова З. М., Нугманова А. А. Вычисление энергии на испарение связанной влаги из джекфрута // *Известия КГТУ*. 2019. № 55. С. 214–225.
15. Moser P., Gallo T. C. B., Zuanon L. A. C., Pereira G. E., Nicoletti V. R. Water sorption and stickiness of spray-dried grape juice and anthocyanins stability // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. Vol. 42 (12), e13830.
16. Алексанян И. Ю., Буйнов А. А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: монография. Астрахань: АГТУ, 2004. 380 с.
17. Сорочинский В. Ф., Приезжева Л. Г., Коваль А. И., Одицова А. А. Изотермы сорбции пшеничной муки // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 6. С. 5–8.
18. Ling B., Li R., Gao, H. Y., Wang S. J. Moisture sorption characteristics of full fat and defatted pistachio kernel flour // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017. Vol. 10 (3), pp. 283–294.
19. Asli M., Brachelet F., Derbal R. Ets. Numerical and experimental investigation of simultaneous heat and mass transfer within bio-based material. // *ECOS 2016 — Proceedings of the 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. 2016.
6. Larbi A. A., Loumani A., Mediani A., Bennaceur S., Tigani C. Experimental measurement of moisture sorption isotherms and isosteric heat of palm hearts (JoMARE) harvested in the Algerian Sahara. *Instrumentation Mesure Metrologie*. 2019. Vol. 18 (3), pp. 297–304.
7. Ginzburg A. S. Mass moisture exchange characteristics of food products / A. S. Ginzburg, I. M. Savina. Moscow, Light and food industry, 1982. 280 p. (in Russian)
8. Nikitina L. M. Hygroscopic parameters and mass transfer coefficients in wet materials. Moscow, Energiya, 1967. 499 p. (in Russian)
9. Aleksanyan I. Yu., Maksimenko Yu. A., Feklunova Yu. S. Investigation of the effect of temperature on the hygroscopic characteristics of fruit and vegetable products. *Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex — healthy food products*. 2017. No. 4 (18). pp. 86–89. (in Russian)
10. Ginzburg A. S. Fundamentals of theory and technology for drying food products. Moscow, Food industry, 1975. 527 p. (in Russian)
11. Pastukh A. S., Grabovskaya E. V., Litvyak V. V. Sorption properties of pectins obtained from potato raw materials. *Food industry: science and technology*. 2016. No. 3 (33). pp. 78–85. (in Russian)
12. Petrova T. V., Bakalov I. Yu., Ruskova M. M., Toshkov N. G., Tamova M. Yu., Penov N. D. Isotherms of sorption moisture content of bean-based extrudates. *Scientific works of KubGTU*. 2016. No. 14. pp. 232–244. (in Russian)
13. Zeymer J. S., Corrêa P. C., Oliveira G. H. H., Baptestini F. M., Campos R. C. Mathematical modeling and hysteresis of sorption isotherms for paddy rice grains. *Engenharia Agricola*. 2019. Vol. 39 (4), pp. 524–532.
14. Nguyen T. S., Nugmanov A. Kh. Kh., Arabova Z. M., Nugmanova A. A. Calculation of energy for evaporation of bound moisture from jackfruit. *Izvestia KSTU*. 2019. No. 55. pp. 214–225. (in Russian)
15. Moser P., Gallo T. C. B., Zuanon L. A. C., Pereira G. E., Nicoletti V. R. Water sorption and stickiness of spray-dried grape juice and anthocyanins stability. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. Vol. 42 (12), e13830.
16. Aleksanyan I. Yu., Buinov A. A. High intensity food drying. Foam drying. Theory. Practice. Modeling: monograph / I. Yu. Aleksanyan. Astrakhan: AGTU, 2004. 380 p. (in Russian)
17. Sorochinsky V. F., Priezzheva L. G., Koval A. I., Odintsova A. A. Isotherms of sorption of wheat flour. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2017. No. 6. pp. 5–8. (in Russian)
18. Ling B., Li R., Gao, H. Y., Wang S. J. Moisture sorption characteristics of full fat and defatted pistachio kernel flour. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017. Vol. 10 (3), pp. 283–294.
19. Asli M., Brachelet F., Derbal R. Ets. Numerical and experimental investigation of simultaneous heat and mass transfer within bio-based material. *ECOS 2016 — Proceedings of the 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. 2016.

Сведения об авторах**Андреева Елена Викторовна**

Старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, elpetrovicheva1970@gmail.com

Евсеева София Сергеевна

Старший преподаватель кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18

Алексамян Игорь Юрьевич

Д. т. н., профессор кафедры технологические машины и оборудование Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, albert909@yandex.ru

Нугманов Альберт Хамед-Харисович

Д. т. н., профессор кафедры технологические машины и оборудование Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, albert909@yandex.ru

Information about authors**Andreeva Elena V.**

Senior Lecturer of Department of life safety and engineering ecology of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, elpetrovicheva1970@gmail.com

Evseeva Sofia S.

Senior Lecturer of Department of Expertise, Operation and Management of Real Estate of Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 18

Aleksanyan Igor Y.

D. Sc., Professor of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, albert909@yandex.ru

Nugmanov Albert H.-H.

D. Sc., Professor of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, albert909@yandex.ru



19-я Международная выставка оборудования и технологий для молочного производства

DairyTech | Dairy & Meat 2021

26–29 января 2021 г.

Международная выставка оборудования и технологий для животноводства, молочного и мясного производств «DairyTech | Dairy & Meat 2021» — это ведущее бизнес-мероприятие, демонстрирующее оборудование и технологии для агропромышленного производства полного цикла: от репродукции племенных животных, их выращивания, содержания и откорма до переработки и упаковки продукции животноводства: как для молочной индустрии, так и для мясной.

Выставка сопровождается насыщенной деловой программой, рассчитанной на широкий круг специалистов молочной отрасли: руководителей предприятий, специалистов по качеству, технологов, инженеров, маркетологов.

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- ❖ Оборудование и технологии для выращивания и содержания сельскохозяйственных животных;
- ❖ Оборудование и технологии для производства молока и молочной продукции;
- ❖ Оборудование для производства и розлива напитков.

Место проведения:

Россия, Москва, МВЦ «Крокус Экспо», павильон 1
<http://www.crocus-expo.ru>

Контактная информация:

Сайт: www.dairytech-expo.ru/Ru
Организатор: HYVE Group
Директор: Оксана Велигурова
Телефон: +7 (495) 799-55-85
E-mail: md@hyve.group