

Подгорный Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент Кубанского государственного технологического университета;

Блягоз Хазрет Рамазанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, ректор Майкопского государственного технологического университета, т.: 8(8772)570011;

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, т.: 88612752279;

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, т.: 88612752279;

Схалыхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, т.: 8(8772)570412.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАВНОВЕСНЫХ СВОЙСТВ ЗЕРНА В ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ (рецензирована)

Данная работа посвящена оценке точности параметров моделей равновесий пищевых материалов в гигроскопической области, которые имеют нелинейный характер в сочетании с многофакторностью этих моделей. В качестве экспериментальных данных использован двумерный массив влагосодержания от температуры и активности влаги в пшенице.

Ключевые слова: влагосодержание, активность, модель равновесия, линеаризованная модель адсорбционной изотермы, пшеница.

Podgorny Sergey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kuban State Technological University;

Blyagoz Khazret Ramazanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, rector of Maikop State Technological University, tel: 88772570011;

Koshevoi Eugene Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Machines and Apparatus of Food Production, Kuban State Technological University, tel: 88612752279;

Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Machines and Apparatus of Food Production, Kuban State Technological University, tel: 88612752279;

Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, dean of the Faculty of Technology of Maikop State Technological University, tel: 88772570412.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF EQUILIBRIUM PROPERTIES OF GRAIN IN HYGROSCOPIC AREA (reviewed)

This work is devoted to assessing the accuracy of the parameters of equilibrium models of food materials in the hygroscopic region, which are nonlinear coupled with multifactor of these models. Two-dimensional expanse of moisture content of temperature and the activity of water in wheat has been used as experimental data.

Keywords: water content, activity, equilibrium model, linearized model of adsorption isotherm, wheat.

Для совершенствования технологических процессов обработки и хранения пищевых материалов необходимы их массовообменные характеристики [1].

Равновесные свойства разнообразных материалов в гигроскопической области могут быть представлены многочисленными математическими моделями. Некоторые модели теоретически обоснованы, другие – представлены как усовершенствованные эмпирические формы этих моделей [2]. В обзоре уравнений изотерм сорбции влаги [3] представлено 23 различных уравнения и при этом отмечено, что другие авторы нашли до 75 различных уравнений. Появление большого количества зависимостей связано с необходимостью получения точных результатов в возможно более широком диапазоне коэффициента активности и влагосодержания для разнообразных материалов. В работе [4] из многих уравнений выделили семь

эквивалентных групп. Однако никакое единственное уравнение не дает точных результатов по всему диапазону относительной влажности для всех типов материалов.

В работе [5] обращено внимание на особенности получения параметров при обработке экспериментальных данных по линеаризующимся и нелинеаризующимся моделям равновесия адсорбции. До настоящего времени в большинстве случаев, когда модель позволяет линеаризацию, применяют регрессионный анализ и получают неточные данные из-за несоблюдения требований регрессионного анализа – нарушается предположение о нормальности распределения ошибок в этих моделях относительно экспериментальных данных и, как следствие, появлению систематических отклонений в линеаризованных моделях адсорбционных изотерм. Вместе с тем, появление нелинеаризующихся моделей и прогресс вычислительных возможностей позволяет ставить задачу нелинейной оптимизации, принимая в качестве критерия функцию ошибок. Проблема в том, что функция ошибок может быть сформулирована по-разному и в работе [5] их сформулировано одиннадцать и не даны конкретные рекомендации.

Данная работа посвящена оценке точности параметров моделей равновесий пищевых материалов в гигроскопической области, которые имеют нелинейный характер в сочетании с многофакторностью этих моделей [влажность (u) является функцией температуры (T) и активности (A) – $u = f(T, A)$].

В качестве экспериментальных данных использован двумерный массив влагосодержания от температуры и активности влаги в пшенице сорта Гостинанум [1] (таблица 1).

Таблица 1 - Изменение влагосодержания пшеницы сорта Гостинанум (u_{TA}) в зависимости от температуры (T_W) и активности (относительной влажности окружающего воздуха) (A_W)

Влагосодержание (u_{TA}), кг/кг		Активность (A_W), Па/Па							
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Температура (T_W), К	273	0,096	0,115	0,129	0,145	0,160	0,179	0,203	0,269
	293	0,088	0,103	0,120	0,138	0,156	0,171	0,193	0,250
	303	0,082	0,099	0,117	0,134	0,148	0,167	0,189	0,242
	323	0,050	0,074	0,083	0,100	0,121	0,139	0,165	0,227

Термодинамический потенциал переноса влаги может быть определен по следующему соотношению [6]:

$$\Theta(T, A) = -R \cdot T \cdot \ln(A), \quad (1)$$

где $R = 8,314$ Дж/(моль·град) – универсальная газовая постоянная.

Используя соотношение (1) можно оценить значение потенциала, соответствующее экспериментальным данным (таблица 2).

Таблица 2 - Расчетное изменение потенциала (Θ_{TA}) от температуры и активности влаги в пшенице

Потенциал (Θ_{TA}), Дж/кг		$\ln(A_W)$							
		-1,609	-1,204	-0,916	-0,693	-0,511	-0,357	-0,223	-0,105
Температура (T_W), °К	273	3653	2733	2080	1573	1159	810	506	239
	293	3921	2933	2232	1689	1244	869	544	257
	303	4054	3033	2308	1746	1287	899	562	265
	323	4322	3233	2461	1861	1372	958	599	283

Рассмотрим соответствие массива экспериментальных данных (таблица 1) и расчетное значение потенциала (таблица 2). Эти величины могут быть обобщены в виде графической зависимости в осях влагосодержание материала (u_{TA}) – потенциал влаги (Θ_{TA}). В этом случае графическая зависимость может быть оценена на основании парных статистических критериев. Для этой оценки данные были дополнены двухпараметрическими уравнениями линий тренда, которые оценивались по квадрату парной корреляции между рассматриваемыми величинами (потенциала в зависимости от влажности). В результате было установлено, что наибольшее значение этой величины соответствует экспоненциальной зависимости, представленной на графике (рис. 1).

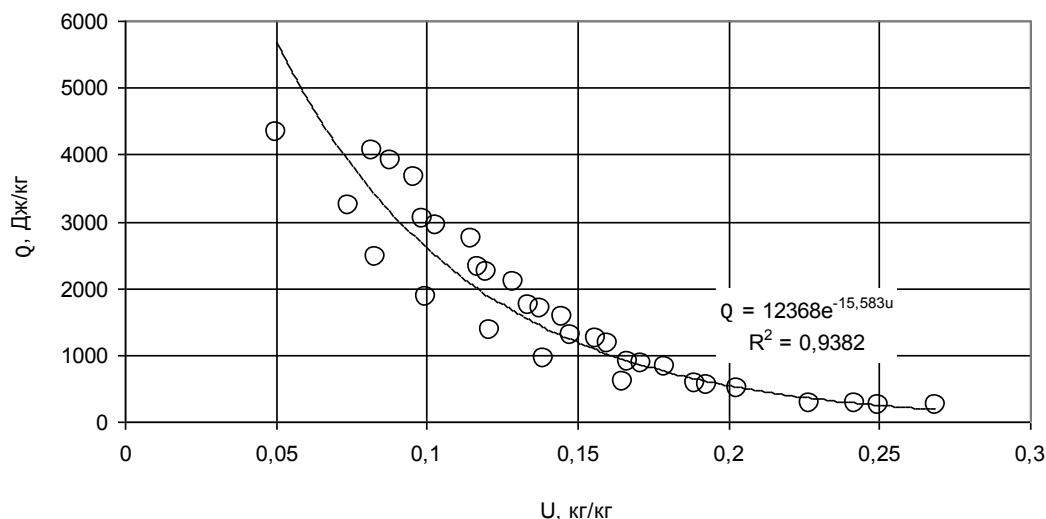


Рис. 1. Изменение потенциала в зависимости от влажности

Остальные зависимости хуже описывают эту зависимость (R^2 линейная = 0.7966; R^2 логарифмическая = 0.8655; R^2 степенная = 0.8688). Таким образом, оценка качества и вида функциональной зависимости потенциала от влажности может быть обобщена в виде статистического критерия (R^2 экспоненциальная = 0.9382). Из представленных данных на графике (рис. 1) видно, что распределение данных по влажности имеет вид близкий к нормальному распределению (рис. 2). Это подтверждается близкими к нормальному распределению значениями эксцесса ($E_k = -0.163$) и асимметричности ($A_s = 0.561$).

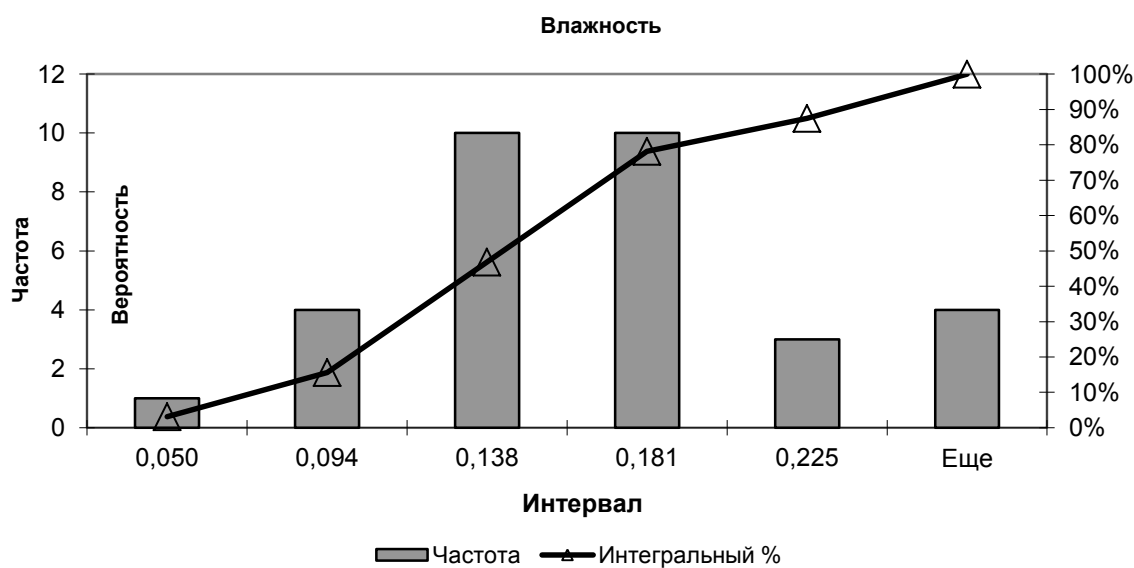


Рис. 2.

Распределение экспериментальных данных по влажности

В то же время распределение данных по потенциалу носит более асимметричный характер (рисунок 3), что подтверждается соответствующими значениями эксцесса ($E_k = -0.677$) и асимметричности ($A_s = 0.627$).

Следовательно, используемая экспоненциальная зависимость:

$$\Theta(u) = 12368 \cdot \exp(-15.583 \cdot u) \quad (2)$$

может давать смещенные оценки параметров экспоненциальной регрессии.

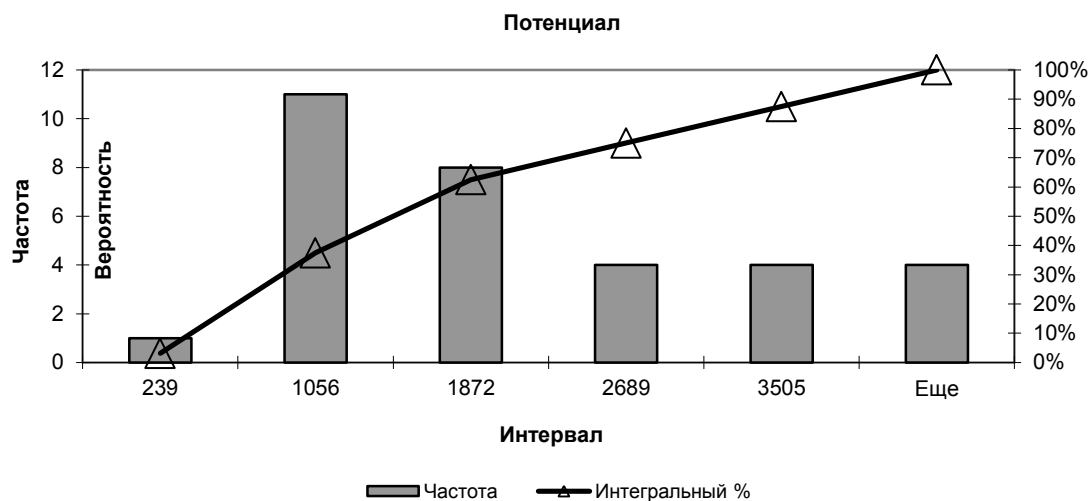


Рис. 3. Распределение экспериментальных данных по потенциалу, рассчитанному по модифицированному уравнению

ВЫВОД

Из-за нарушения предположения о нормальности распределения ошибок в моделях равновесных свойств относительно экспериментальных появляются систематические отклонения в линеаризованной модели адсорбционной изотермы.

Литература:

1. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.
2. Basu S., Shivhare U.S., Mujumdar A.S. Models for Sorption Isotherms for Foods // A Review Drying Tecnology. 2006. V. 24. P. 917-930.
3. Chirife J., Iglesias H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 – a review // Journal of Food Technology. 1978. V. 13. P. 159-174.
4. Boquet R., Chirife J., Iglesias H.A. Technical note – on the equivalence of isotherm equations // Journal of Food Technology. 1980. V. 15(3). P. 345-349.
5. Foo K.Y., Hameed, B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems // Chemical Engineering Journal. 2010. V. 156. P. 2-10.
6. Никитина Л.М. Таблицы равновесного удельного влагосодержания и энергии связи влаги с материалами. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 176 с.

References:

1. Ginzburg A.S., Savina I. M. Mass-and- moisture transfer characteristics of food products. M.: Light and Food Ind., 1982. 280 p.
2. Basu S., Shivhare U. S., Mujumdar A. S. Models for Sorption Isotherms for Foods // A Review, Drying Tecnology. 2006. V. 24. P. 917 - 930;
3. Chirife J., Iglesias H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - a review. Journal of Food Technology. 1978. V. 13. P. 159-174;
4. Boquet R., Chirife J., Iglesias H. A. Technical note - on the equivalence of isotherm equations. Journal of Food Technology. 1980. V. 15 (3). P. 345-349;
5. Foo K.Y., Hameed B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems// Chemical Engineering Journal. 2010. V. 156. P. 2- 10;
6. Nikitina L.M. Tables of the equilibrium moisture content and energy of connection of moisture with materials. M; L.: Gosenergoizdat, 1963.176 p.