

УДК 664.047

Интервальный анализ моделей потенциала влаги в зерне пшеницы

Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачёв В.С.

ep-koshevoi@mail.ru

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

Использование модельных представлений позволяет значительно улучшить описание связи влажности материала с потенциалом влаги в материале. Данная работа посвящена определению параметров распространенных моделей равновесий влаги в зерне пшеницы. Цель работы - выбор наиболее информативной модели потенциала влаги в материале.

Ключевые слова: потенциал влаги; зерно пшеницы; модели.

The interval analysis of models moisture potential in wheat grain

Podgorny S.A., Koshevoi E.P., Kosachov V. S.

ep-koshevoi@mail.ru

The Kuban state technological university, Krasnodar, Russia

Use of modelling representations allows to improve considerably the description of communication of humidity of a material with moisture potential in a material. The given work is devoted definition of parametres of widespread models moisture equilibriums in wheat grain. The aim of work - a choice of the most informative model moisture potential in a material.

Keywords: moisture potential; wheat grain; models.

Цель работы - выбор наиболее информативной модели потенциала влаги в материале. Проведен сравнительный анализ статистическими методами [1] двух и трехпараметрических моделей, рассмотренных в работе [2] (GAB и MGAB – уравнение Guggenheim, Anderson, de Boer; MOE - уравнение Oswin; MHDE - уравнение Henderson; MCE - уравнение Chung-Pfost), в которых зависимость влажности является функцией активности. Анализ этих моделей основан на выделении компромиссного множества вариантов наиболее полно характеризующих полученный объем данных по адекватности исследуемых моделей по различным выражениям для функции ошибок, которые обоснованы и использованы ранее [3,4]. Исходными

данными в этом случае являются варианты оценок в рамках моделей, которые хотя бы по одному из оценочных критериев превосходят остальные. Для применения принципа Парето [5] доминирования двухпараметрических моделей ввели шкальную оценку критериев на основе функции желательности нормированной на интервале значений каждого критерия от одного (наихудший) до трех (наилучший) значения. Для трехпараметрических моделей ввели шкальную оценку критериев на основе функции желательности нормированной на интервале значений каждого критерия от одного (наихудший) до пяти (наилучший) значения. В качестве критериев использовались минимум суммы стандартных отклонений между модельным и экспериментальным потенциалом (σ_{\square}^{\min}), Минимальное значение квадрата отсекаемого отрезка между модельным и экспериментальным потенциалом (a_{\square}^2), коэффициент корреляции между модельным и экспериментальным потенциалом (r_{\square}) и коэффициент наклона прямой между модельным и экспериментальным потенциалом (b_{\square}).

Наличие нескольких параметров в модели позволяет значительно увеличить адекватность модели эксперименту. В тоже время существенной разницы в описании экспериментальных данных двух и трех параметрических моделях выявлено не было. Поэтому рассмотрим несколько трехпараметрических моделей, определим компромиссное множество по множеству критериев использующих различные целевые функции повышающие адекватность этих моделей.

Вначале рассмотрим несколько трехпараметрических моделей, определим компромиссное множество по множеству критериев использующих различные целевые функции повышающие адекватность этих моделей.

Модель на основе модифицированного уравнения MHDE:

$$u_{TA} = c \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{A - A_{MHDE}}{a \cdot c_w + b} \right)}{c_w + b}} \quad (1)$$

Модель на основе модифицированного уравнения MOE:

$$u_{TA} = c + b \cdot T_w \cdot \left(\frac{A_{MOE}}{1 - A_{MOE}} \right)^c \quad (2)$$

Модель на основе уравнения GAB:

$$u_{TA} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot A_{GAB}}{1 - c \cdot A_{GAB} \cdot (1 - c \cdot A_{GAB} + b \cdot c \cdot A_{GAB})} \quad (3)$$

Модель на основе модифицированного уравнения MGAB:

$$u_{TA} = \frac{a \cdot b \cdot \left(\frac{c}{T_w}\right) \cdot A_{MGAB}}{\left[1 - b \cdot A_{MGAB} + b \cdot \left(\frac{c}{T_w}\right) \cdot A_{MGAB}\right]} \quad (4)$$

Модель на основе уравнения MCE:

$$u_{TA} = \left(-\frac{1}{c}\right) \cdot \ln \left[\frac{c_w + b \cdot \ln A_{MCE}}{c} \right] \quad (5)$$

Оптимальность по Парето в задачах рационального выбора – свойство альтернатив, которое обычно признается необходимым для решения в случае многокритериальности. Применительно к анализу трехпараметрических моделей это выделение компромиссного множества вариантов наиболее полно характеризующих полученный объем данных по адекватности исследуемых моделей. Исходными данными в данном случае являются варианты оценок в рамках моделей, которые хотя бы по одному из оценочных критериев превосходят остальные. Для применения Парето доминирования введем шкальную оценку критериев на основе функции желательности нормированной на интервале значений каждого критерия от одного (наихудший) до трех (наилучший) значения.

Таблица 1 Доминированное по Парето подмножество трехпараметрических моделей

Модель	Z_f	$\square \square \square$	$(a_{\square})^2$	b_{\square}	r_{\square}
MHDE	Z_{MPS}	463	248	0,843	0,918
MHDE	Z_{SAE}	456	153	0,84	0,917
MHDE	Z_{ARE}	465	73	0,824	0,917
MHDE	Z_{CDS}	417	482	0,889	0,958
MHDE	Z_{HFE}	376	31	0,885	0,944
MOE	Z_{CDS}	654	2292	0,768	0,973
MOE	Z_{MPS}	281	62	0,935	0,967
MOE	Z_{HFE}	377	1	0,876	0,95
MOE	Z_{SAE}	272	64	0,934	0,967
GAB	Z_{CDS}	531	81	0,775	0,902
GAB	Z_{MPS}	498	296	0,81	0,9
MGAB	Z_{CDS}	698	2226	0,736	0,927
MGAB	Z_{SSE}	572	7	0,733	0,936
MCE	Z_{CDS}	358	347	0,925	0,978
MCE	Z_{MPS}	258	33	0,952	0,976
MCE	Z_{HFE}	250	6	0,948	0,974

Модель	Z_f	$\square\square\square$	$(a_\square)^2$	b_\square	r_\square
МСЕ	Z_{SAE}	248	15	0,95	0,975

Как видно из представленных данных (Таблица 1) наилучшим сочетанием критериев отвечает модель МСЕ использующая целевые функции Z_{MPS} и Z_{CDS} .

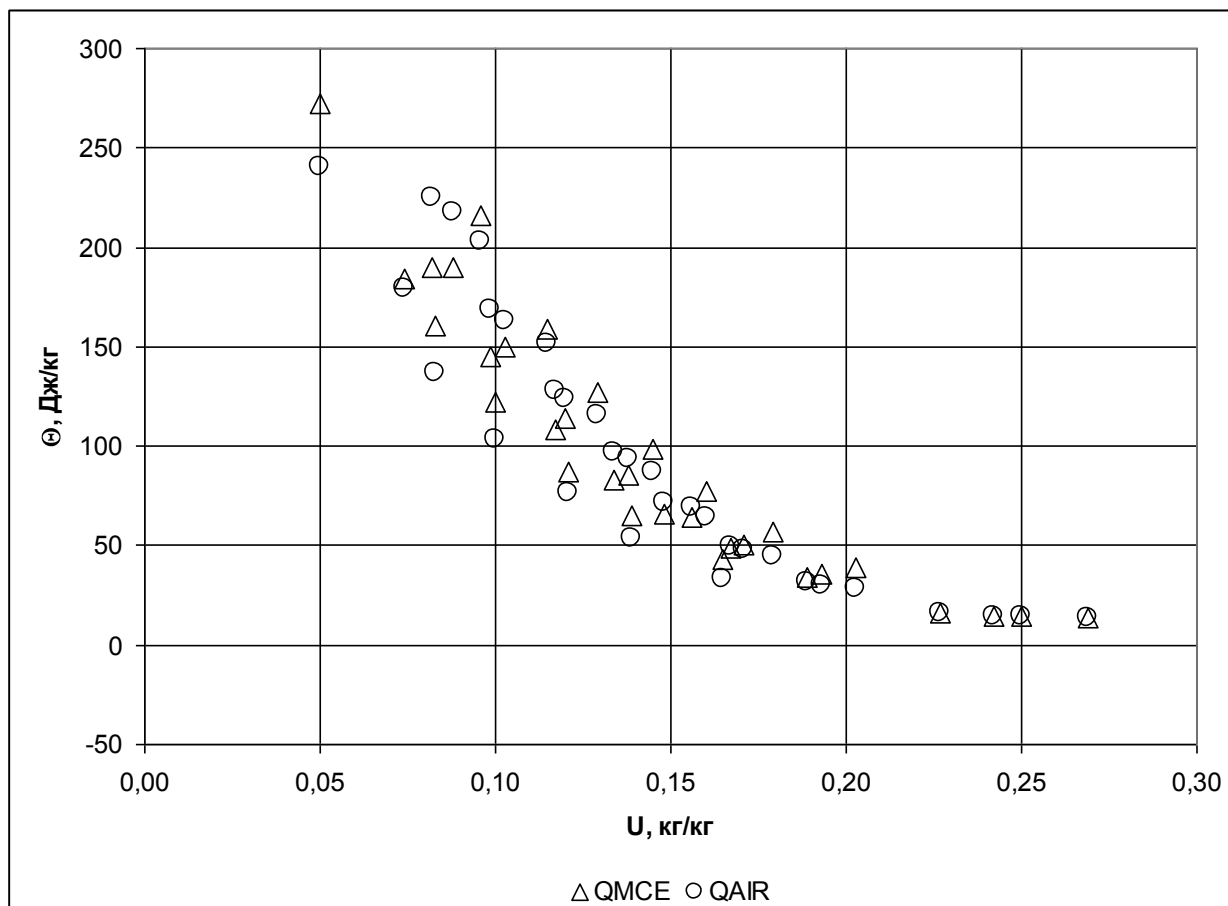


Рис. 1 Модель МСЕ критерий Z_{MPS} , $F_{инф}=603$

Как видно из представленных графиков (Рис. 1 и Рис. 2) наиболее информативной является модель соответствующая последнему из представленных вариантов, так как она более адекватна по критерию Фишера. С точки зрения набора оценочных критериев компромиссное множество трехпараметрических моделей характеризуется следующим набором границ по наилучшему и наихудшему вариантам.

Таблица 2 Границы оценочных критериев компромиссного по Парето подмножества трехпараметрических моделей

Вариант	$\square\square\square$	$(a_\square)^2$	b_\square	r_\square
Наилучший	258	33	0,952	0,978
Наихудший	358	347	0,925	0,976

Представленные выше данные (Таблица 2) позволяют не только оценить качество множества рассмотренных трехпараметрических моделей, но и сравнить их с двухпараметрическими моделями.

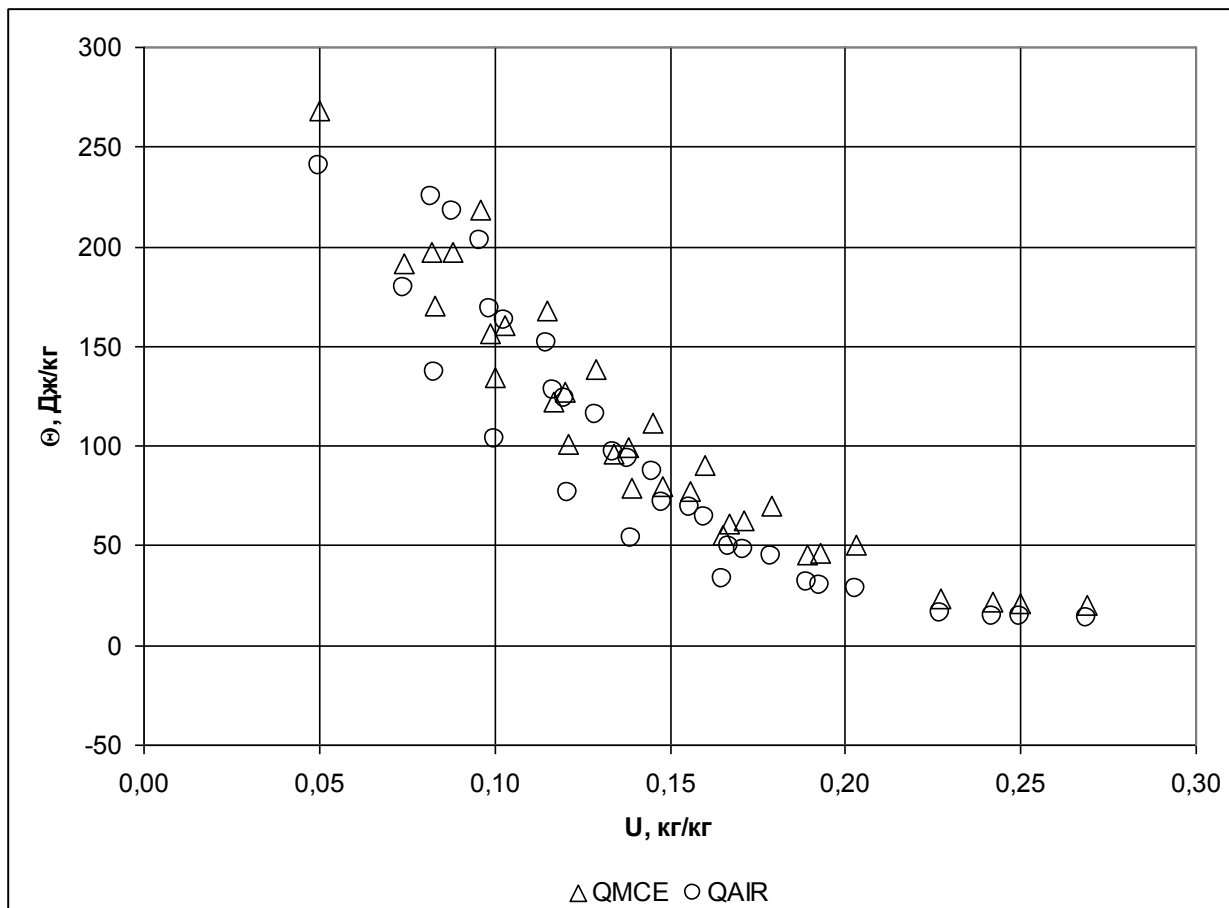


Рис. 2 Модель MCE критерий Z_{CDS} , $F_{инф}=645$

Рассмотрим несколько двухпараметрических моделей, как и в предыдущем случае, определим компромиссное множество по множеству критериев использующих различные целевые функции повышающие адекватность этих моделей.

Рассмотрим модель на основе уравнения Нен:

$$u_{TA} = \frac{b \sqrt{\epsilon - 1} \cdot \ln \left(-A_{Hen} \right)}{\epsilon \cdot T_w} \quad (6)$$

Рассмотрим модель на основе уравнения Chung & Pfof (ChPf):

$$u_{TA} = \left(1 - \frac{\ln \left[\left(1 - \frac{R \cdot T_w}{a}\right) \cdot \ln \left(1 - \frac{1}{ChPf}\right)\right]}{b}\right) \quad (7)$$

Применительно к анализу двухпараметрических моделей выделение компромиссного множества вариантов наиболее полно характеризующих полученный объем данных по адекватности исследуемых моделей. Исходными данными в данном случае являются варианты оценок в рамках моделей, которые хотя бы по одному из оценочных критериев превосходят остальные.

Таблица 3 Доминированное по Парето подмножество двухпараметрических моделей

Модель	Z _f	n _□	(a _□) ²	b _□	r _□
Hen	Z _{MPS}	407	153	0,873	0,934
Hen	Z _{HFE}	412	40	0,861	0,934
Hen	Z _{ARE}	399	73	0,869	0,934
ChPf	Z _{CDS}	671	2132	0,751	0,937
ChPf	Z _{HFE}	470	40	0,831	0,924
ChPf	Z _{SAE}	432	223	0,864	0,93

Выделение вариантов из подмножества данных (Таблица 3) будем осуществлять на основе аксиомы разумного выбора, которая позволяет выделить определенный достаточно широкий класс многокритериальных задач, в которых успешный выбор обязательно должен осуществляться в пределах множества Парето. Наилучшим сочетанием критериев отвечает модель Hen использующая целевую функцию Z_{MPS} и модель ChPf использующая целевую функцию Z_{CDS}. Эти модели представлены ниже.

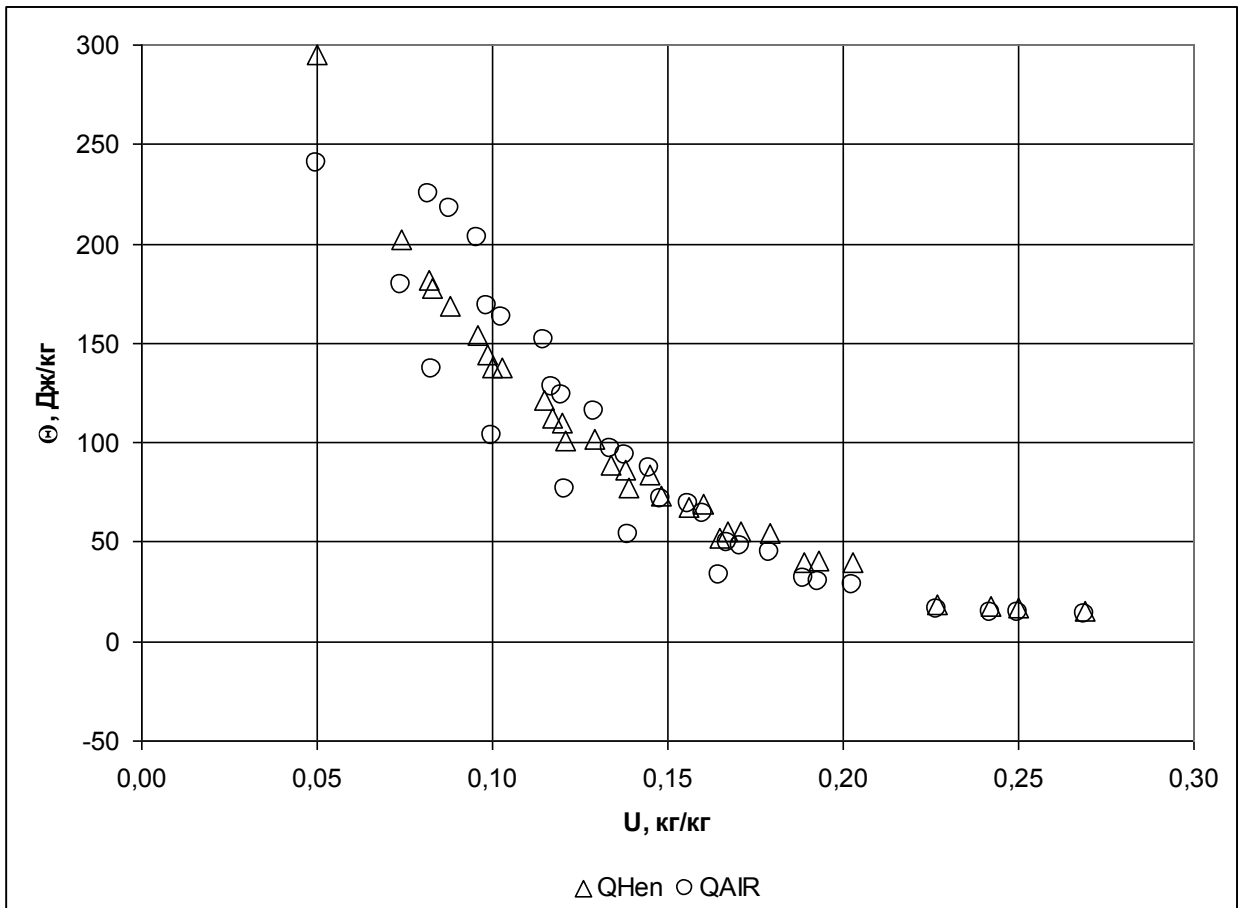


Рис. 3 Модель Нен критерий Z_{MPS} , $F_{инф}=207$

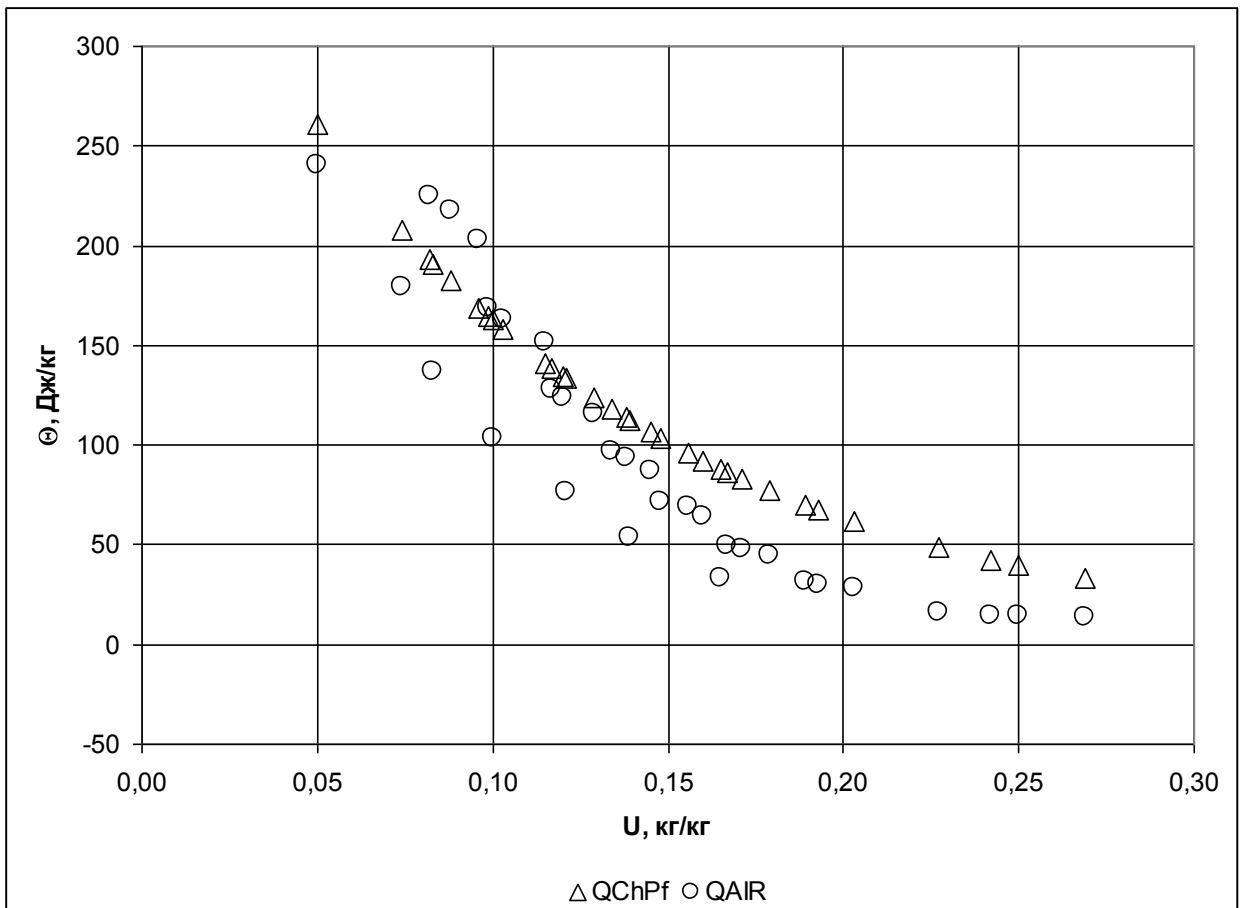


Рис. 4 Модель ChPf критерий Z_{CDS} , $F_{инф}=217$

Как видно из представленных данных (Рис. 3 и Рис. 4) предпочтительней модель Nep, так как систематическое отклонение модельных данных явно ниже, чем в модели ChPf. Исходя из этого можно сделать вывод об ограниченности применения информационного критерия Фишера, так как по второму случаю он несколько лучше. С точки зрения набора оценочных критериев компромиссное множество двухпараметрических моделей характеризуется следующим набором границ по наилучшему и наихудшему вариантам.

Таблица 4 Границы оценочных критериев компромиссного по Парето подмножества трехпараметрических моделей

Вариант	$\square \square \square$	$(a_{\square})^2$	b_{\square}	r_{\square}
Наилучший	407	153	0,873	0,937
Наихудший	671	2132	0,751	0,934

Представленные выше данные (Таблица 4) позволяют не только оценить качество множества рассмотренных двухпараметрических моделей, но и сравнить их с трехпараметрическими моделями. Рассмотрим границы компромиссных областей двух и трехпараметрических моделей (Таблица 5).

Таблица 5 Интервалы компромиссных множеств моделей

Два параметра	$\square \square \square$	$(a_{\square})^2$	b_{\square}	r_{\square}
Наилучший	407	153	0,873	0,937
Наихудший	671	2132	0,751	0,934
Три параметра	$\square \square \square$	$(a_{\square})^2$	b_{\square}	r_{\square}
Наилучший	258	33	0,952	0,978
Наихудший	358	347	0,925	0,976

Как видно из представленных данных (Таблица 55) интервалы компромиссного множества трехпараметрических моделей значительно отличаются в лучшую сторону от аналогичных интервалов компромиссного множества двухпараметрических моделей. Следовательно, трехпараметрическая модель МСЕ является наиболее информативной в рассмотренном множестве моделей.

Вывод

Интервалы компромиссного множества трехпараметрических моделей значимо отличаются в лучшую сторону от аналогичных интервалов компромиссного множества двухпараметрических моделей, а трехпараметрическая модель МСЕ является наиболее информативной в рассмотренном множестве моделей.

Список литературы

1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами.- М.: Мир, - 1973 - 957 с.
2. Oyelade O.J. Equilibrium Moisture Content Models for Lafun. International Journal of Food Engineering, 2008, 4(2), A4.
3. Подгорный С.А., Косачев В.С., Кошевой Е.П. Определение параметров математической модели равновесных свойств зерна в гигроскопической области нелинейной оптимизацией. Изв. ВУЗов "Пищевая технология". - 2010, №5-6, - с.84-86
4. Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Зверев С.В. Статистическая оценка кластерной модели гигроскопичности зерна. Хранение и переработка сельхозсырья. -2011, №6, - с.11-14
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа.- М.: Наука. ГРФМЛ, - 1981. – 488с.