УДК 378.14.015

Особенности динамического сегментного анализа рынка продуктов питания

Д-р техн. наук, профессор **Алексеев Г.В.** gva2003@rambler.ru
Канд. экон. наук **Егошина Е.В.** eegoshina@corp.ifmo.ru
Аксенова О.И. oksi280491@yandex.ru
Университет ИТМО
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова,9
Канд. техн. наук **Пучков В.Ф.**
Государственный институт экономики, финансов, права и технологий
188300., г. Гатчина, ул. Рощинская, д. 5

Статья посвящена рассмотрению важного экономико-математического подхода о возможности формирования количественных оценок в ходе сегментного анализа рынка продуктов питания в его динамической разновидности. Специфической особенностью деятельности экономиста является работа в условиях недостатка информации и неполноты исходных данных. Анализ такой информации требует специальных методов, которые составляют одно из направлений эконометрики. Центральной проблемой эконометрики является построение эконометрической модели и определение возможностей ее использования для описания, анализа и прогнозирования реальных экономических процессов. Задачей данной работы является построение модели множественной регрессии пищевой и биологической ценности продуктов питания и проведение последующего анализа, как самой модели, так и поведения ее при различных исходных данных, включающих изменение состава ингредиентов и их минерально-витаминную ценность в зависимости от сезона изготовления этих продуктов и возможного применения усовершенствованных средств переработки. Изменение минерально-витаминного состава ингредиентов и, соответственно, их относительного количества в выбранных продуктах питания с течением времени позволяет применить к такой задаче динамический сегментный подход.

Ключевые слова*:* экономико-математический подход, численная оценка, динамическая разновидность, сегментный анализ.

doi:10.17586/2310-1172-2016-9-1-10-19

Particularities of the dynamic segment analysis market products of the feeding

D.Sc., professor **Alexeev G.V.** gva2003@rambler.ru
Ph.D. **Egoshina E.V.** eegoshina@corp.ifmo.ru, **Aksenova O.I.** oksi280491@yandex.ru
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9
Ph.D. **Puchkov V.F.**
The State institute of the economy, finance, right and technology
188300., g. Gatchina, str. Roschinskaya, d. 5

The Article is dedicated to consideration of the important economic and mathematical approach about possibility of the shaping quantitative estimation in the course of segment analysis market products of the feeding in his dynamic variety. The Specific particularity to activity of the economist is a work in condition of the defect to information and incompletenesses of the raw datas. The Analysis to such information requires the special methods, which composition one of the directions an. The Central problem is a building to models and determination of the possibilities of her use for description, analysis and forecastings of the real economic processes. The Problem given work is a building to models to plural regression food and biological value of the products of the feeding and undertaking the following analysis, both most models, and behaviours her under different raw datas, including change the composition ингредиентов and their minera value depending on season of the fabrication of these products and possible using the advanced facilities of the conversion. Change mineral composition and, accordingly, their relative amount in chosen product of the feeding in the course of time allows to use to such problem dynamic segment approach.

Keywords: economic and mathematical approach, the numerical estimation, dynamic variety, segment analysis.

Вне зависимости от способа нахождения экономико-математической модели с использованием статистических данных вопрос об ее использовании для анализа и прогнозирования экономических явлений может быть положительно решен только после установления адекватности этой модели, т.е. соответствия модели исследуемому объекту или явлению.

Модель y_i ряда y_i считается адекватной, если правильно отражает системные компоненты этого ряда. Это требование эквивалентно требованию, чтобы остаточная компонента:

$$\varepsilon_i = y_i - y_i, \qquad i = 1 \div n$$

удовлетворяла свойствам случайной компоненты ряда, а именно отвечала условиям:

а) случайность колебания уровней остаточной последовательности;

б) соответствие распределения случайной компоненты нормальному закону распределения;

в) равенство нулю математического ожидания случайной компоненты;

г) независимость значений уровней случайной компоненты.

Таким образом, целью данной работы является построение уравнения регрессии, с помощью которого в дальнейшем может осуществляться управление процессами производства продуктов питания наибольшей пищевой и биологической ценности, анализ влияния на этот параметр различных составов ингредиентов и их свойств и динамический прогноз дальнейшей деятельности предприятия.

В данной работе, в качестве примера, рассматривается производство корма для непроизводительных животных:

- ❖ y_i – пищевая и биологическая ценность корма (баллы);
- ❖ x_{1i} – суммарное количество ингредиентов (кг);
- ❖ x_{2i} – период производства (дней);
- ❖ x_{3i} – среднее содержание важнейших витаминов, таких как *C*, *A* и минеральных веществ, в частности *Ca* (мг/кг.).

Для выбранной модели требуется найти коэффициенты линейной модели уравнения множественной регрессии вида:

$$y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \qquad (1)$$

где y – пищевая и биологическая ценность корма; a_0 – свободный член уравнения регрессии; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения регрессии при соответствующих показателях, соответственно.

Эти параметры неизвестны и для их нахождения необходимо провести ряд вычислений [1–3].

Значения x_i и y содержат ошибки, т.к. учитываются не все факторы, влияющие на y.

Значения величин y_i, x_{1i}, x_{2i}, x_{3i} даны в таблице «Исходные данные».

Необходимо найти зависимость между представленными параметрами и если таковая есть, построить уравнение множественной регрессии, которое как можно лучше аппроксимирует исходный статистический материал.

Уравнение регрессии тем точнее, чем больше статистический материал, используемый при его построении (если существует реальная связь).

Таблица 1

Исходные данные

№ Набл.	Пищевая и биологическая ценность корма (y)	Суммарное количество ингредиентов (x_1)	Период производства. (x_2)	Среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3)
1	205,17	30	100	4,4
2	187,99	32	120	3,3
3	247,2	37	170	6,05
4	456,4	55	230	12,1
5	601,4	65	350	19,25
6	265,4	33	170	4,95
7	207,6	35	150	1,815
8	401,9	40	260	12,1
9	679,9	69	470	17,05
10	950,7	77	550	24,2
11	560,8	65	356	13,75
12	940,79	80	771	22,55
13	874,36	63	333	36,3
14	695	41	128	39,05
15	998,66	95	781	15,4
16	729,32	71	357	25,85
17	946,89	67	444	31,35
18	617,4	45	269	19,8
19	1190,57	79	666	39,05
20	358,1	34	212	9,9

Дана выборка из 20 наблюдений с известными значениями Y, X_1 ,X_2 и X_3.

В работе предполагается построить уравнение регрессии типа (1).

Сравнительная оценка влияния различных факторов (x_{ji}) на пищевую и биологическую ценность (y_i) и взаимосвязи факторов между собой проводится с использованием значений парных коэффициентов корреляции (r). Для этой цели строили таблицу вида:

Таблица 2

Матрица коэффициентов парной корреляции

	Пищевая и биологическая ценность (y)	Суммарное количество ингредиентов (x_1)	Период производства. (x_2)	Среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3)
Пищевая и биологическая ценность (y)	1,00	–	–	–
Суммарное количество ингредиентов (x_1)	0,89	1,00	–	–
Период производства. (x_2)	0,85	0,93	1,00	–
Среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3)	0,84	0,56	0,46	1,00

Для нахождения матрицы коэффициентов парной корреляции используем табличный редактор «Excel», выполнив следующие команды: «Сервис» – «Анализ данных» – «Корреляция». Затем в диалоговом окне «Корреляция» в поле «Входной интервал» вводим адреса ячеек таблицы № 1, включая названия реквизитов. Установив отметки в окне «Метки в первой строке» и «По столбцам», выбираем параметр выбора «Новый рабочий лист».

Для проверки значимости коэффициентов парной корреляции используют t-критерий Стьюдента. Для этой цели требуется найти для каждого коэффициента парной корреляции значение t-критерия Стьюдента, который рассчитывается по формуле:

$$t_{ф} = \sqrt{\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}}$$

где r – значение коэффициента парной корреляции; n - число наблюдений (n = 20).

Полученные данные занесем в таблицу 3:

Таблица 3

Проверка значимости коэффициентов парной корреляции, используя *t*-критерий Стьюдента

	Пищевая и биологическая ценность (y)	Суммарное количество ингредиентов (x_1)	Период производства (x_2)	Среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3)
Пищевая и биологическая ценность (y)	1			
Суммарное количество ингредиентов (x_1)	8,08	1		
Период производства (x_2)	6,9	10,52	1	
Среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3)	6,55	2,86	2,17	1

Далее необходимо сравнить $t_ф$ для каждого коэффициента парной корреляции с t-критическим (табличное значение) для 5-% уровня значимости (двустороннего) и числа степеней свободы $v = n–2$ (в нашем случае v = 18).

Если $t_ф > t_{кр}$, то найденный коэффициент парной корреляции признается значимым. Данное действие выполняется с помощью логической функции «ЕСЛИ»: = ЕСЛИ (B7>G7; «значимый»; «незначимый»).

Таблица 4

Сравнение $t_ф$ и $t_{кр}$

Коэффициенты парной корреляции	Значение t-критерия Стьюдента	t критическое для 5 % уровня значимости и числа степеней свободы $v = n–2$	Значимость коэффициента парной корреляции
r_{yx1}	8,08	2,1009	значимый
r_{yx2}	6,9		значимый
r_{yx3}	6,55		значимый
r_{x1x2}	10,52		значимый
r_{x1x3}	2,86		значимый
r_{x2x3}	2,17		значимый

В модель уравнения регрессии включаются только те факторы, которые имеют коэффициент парной корреляции $r_{yxj} > 0,5$. Но по величине парных коэффициентов корреляции обнаруживается лишь явная коллинеарность факторов, т.е. линейная зависимость между переменными. Поскольку одним из условий построения уравнения множественной регрессии является независимость действия факторов, то если факторы явно коллинеарны ($r_{xixj} > 0,8$), они дублируют друг друга и один из них рекомендуется исключить из регрессии. При этом в модель включается фактор, который более тесно связан с результатом [4, 5].

Данное требование позволяет избежать явления мультиколлинеарности факторов, когда более чем два фактора связаны между собой линейной зависимостью. В результате вариация в исходных данных перестает быть полностью независимой, и нельзя оценить воздействие каждого фактора в отдельности. Чем сильнее мультиколлинеарность факторов, тем менее надежна оценка распределения суммы объясненной вариации по отдельным факторам с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

В связи с этим в модель уравнения множественной регрессии включаются факторы X_2, и X_3, а исключается соответственно фактор X_1.

Произведем построение уравнения регрессии вида (1) с учетом оставленных для дальнейших исследований факторов x_{ji}. Для построения статистической модели, характеризующей значимость и точность найденного уравнения регрессии, используем табличный процессор «Excel», применив команды «Сервис» – «Анализ данных» – «Регрессия».

В диалоговом окне «Регрессия» в поле «Входной интервал Y» вводим данные по «пищевой и биологической ценности», включая название реквизита. В поле «Входной интервал X» вводим данные по выбранным влияющим факторам (период производства и среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ). При этом вводимые данные должны находиться в соседних столбцах. Затем устанавливаем флажки в окнах «Метки» и «Уровень надежности». Установим переключатель «Новый рабочий лист» и поставим флажки в окошках «Остатки». После всех вышеперечисленных действий нажимаем кнопку «ОК» в диалоговом окне «Регрессия». Далее производим форматирование полученных результатов расчета коэффициентов уравнения регрессии и статистических характеристик и получаем таблицы 5, 6, 7, 8.

Таким образом, искомое уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 41,02 + 0,87x_2 + 14,84x_3$$

Полученное уравнение описывает искомую зависимость пищевой и биологической ценности (y) от периода производства (x_2) и среднее содержание важнейших витаминов, и минеральных веществ (x_3). Получаем следующие таблицы:

Таблица 5

Регрессионная статистика

Множественный R	0,99
R-квадрат	0,98
Нормированный R-квадрат	0,98
Стандартная ошибка	43,27
Наблюдения	20

Таблица 6

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	Значимость *F*
Регрессия	2	1778334,22	889167,11	474,81	1,21369E-15
Остаток	17	31835,25	1872,66		
Итого	19	1810169,47			

В табл. 6 *df* – число степеней свободы, которое определяется по формуле:

$$df = n - (k + 1),$$

где *n* – число строк в таблице исходных данных (в данном случае *n* = 20); *k* – число аргументов.

F – критерий Фишера. Значимость *F* – вероятность принятия «нулевой гипотезы» по всему уравнению в целом.

Таблица 7

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	*t*-статистика	*P*-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %	Нижние 99 %	Верхние 99 %
Y-пересечение	41,02	20,75	1,98	0,06	–2,75	84,79	–19,10	101,15
Фондовооруженность (x_2)	0,87	0,05	16,39	7,49288E-12	0,76	0,98	0,71	1,02
% прибыли (x_3)	14,84	0,94	15,76	1,41681E-11	12,86	16,83	12,11	17,58

В табл. 7 *P*-значение – это вероятность принятия «нулевой гипотезы» по каждому коэффициенту. В рассматриваемой задаче нулевую гипотезу можно отвергнуть [6–8].

Коэффициенты представляют собой значения свободного члена уравнения регрессии и коэффициентов уравнения регрессии.

t-статистика находится как отношение столбца «Коэффициенты» к столбцу «Стандартная ошибка».

Нижние 95 % и верхние 95 %, а также нижние 99 % и верхние 99 % – границы нахождения значений коэффициентов регрессии. Значения считаются экономически достоверными, если лежат в достаточно узком однознаковом диапазоне. Коэффициенты рассматриваемой регрессии удовлетворяют этому требованию

Таблица 8

Выход остатка

Наблюдение	Предсказанная пищевая и биологическая ценность (*y*)	Остатки
1	193,13	12,04
2	194,16	–6,17
3	278,38	–31,18
4	420,27	36,13
5	630,56	–29,16
6	262,05	3,35
7	198,15	9,45
8	446,31	–44,41
9	702,05	–22,15
10	877,63	73,07
11	554,12	6,68
12	1044,93	–104,14
13	868,93	5,43
14	731,84	–36,84
15	947,46	51,20
16	734,62	–5,30
17	891,78	55,11
18	568,43	48,97
19	1198,76	–8,19
20	371,99	–13,89

Уравнение линейной регрессии будем определять для выбранных влияющих факторов. Оно имеет вид:

$$y = 41{,}02+0{,}87x_2+14{,}84x_3.$$

После построения уравнения регрессии целесообразно оценить достоверность полученной зависимости.

Проверка гипотезы по правильности выбора уравнения регрессии включает исследование случайности отклонений фактического и расчетного значений y, то есть находятся разности:

$$\varepsilon_i = y_i - \tilde{y}_i$$

где $\hat{y}_i$ – теоретические значения ряда; ε_i – случайная переменная; y_i – фактическое значение ряда.

Характер этих отклонений изучается с помощью ряда непараметрических критериев. Одним из таких критериев является критерий серий, основанный на медиане выборки. Ряд из величин ε_i располагают в порядке возрастания их значений и находят медиану ε_m, полученную из вариационного ряда, то есть срединное значение при n нечетном или среднюю арифметическую из 2-х соседних срединных значений при четном *n*. Возвращаясь к исходной последовательности ε_i и сравнивая значение этой последовательности с ε_m ставят знак «+», если $\varepsilon_i > \varepsilon_m$ и знак «– », если $\varepsilon_i < \varepsilon_m$. Соответственно значение ε_i опускается, если $\varepsilon_i = \varepsilon_m$. Таким образом, получается последовательность, состоящая из «+» и «–», общее число которых не превосходит *n*.

Последовательность подряд идущих «+» или «–» называется серией. Для того, чтобы последовательность ε_i была случайной выборкой, протяженность самой длинной серии не должна быть слишком большой, а общее количество серий слишком малым. Обозначим протяженность самой длинной серии K_{max}, а общее число серий через ν. Выборка признается случайной, если выполняются следующее неравенства для 5 %-го уровня значимости:

$$2.\nu > \left[\frac{1}{2}(n+1-1.96\sqrt{n-1})\right]$$

$$K_{max}<[3{,}3\ lg(n+1)]$$

где квадратные скобки означают целую часть числа.

Если хотя бы одно из этих неравенств нарушается, то гипотеза о случайном характере отклонений уровней ряда от теоретических уровней отвергается и модель признается неадекватной.

В рассматриваемой задаче:

Медиана ε_m = (–5,3+3,35)/2= –0,98

Таблица 9

Предсказанная производительность (*y*)	Остатки	+/–	Остатки в порядке возрастания
193,13	12,04	+	–104,14
194,16	–6,17	–	-44,41
278,38	–31,18	–	–36,84
420,27	36,13	+	–31,18
630,56	–29,16	–	–29,16
262,05	3,35	+	–22,15
198,15	9,45	+	–13,89
446,31	–44,41	–	–8,19
702,05	–22,15	–	–6,17
877,63	73,07	+	–5,30
554,12	6,68	+	3,35
1044,93	–104,14	–	5,43
868,93	5,43	+	6,68
731,84	–36,84	–	9,45
947,46	51,20	+	12,04
734,62	–5,30	–	36,13
891,78	55,11	+	48,97
568,43	48,97	+	51,20
1198,76	–8,19	–	55,11
371,99	–13,89	–	73,07

Протяженность самой длинной серии K_{max} :
$K_{max} < 4$
Общее число серий через ν:
$\nu > 6$

Так как оба условия выполняются, то гипотеза о случайном характере отклонений уровней ряда от теоретических уровней принимается и модель признается адекватной [7–9].

Данная проверка производится обычно приближенно с помощью нахождения показателей асимметрии γ_1 и эксцесса γ_2. Это производится на основании сравнения найденных показателей с теоретическими. При нормальном распределении некоторой генеральной совокупности показатели асимметрии и эксцесса должны быть равны 0($\gamma_1 = 0$, $\gamma_2 = 0$). При конечной выборке из генеральной совокупности показатели асимметрии и эксцесса имеют отклонения от 0.

Для оценки соответствия выбранной совокупности данных нормальному закону распределения используется так называемая оценка показателей эксцесса и асимметрии.

В качестве оценки показателя асимметрии используется формула:

$$\sigma_{\tilde{\gamma}_1} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}$$

$$\tilde{\gamma}_1 = \frac{1/n \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^3}{\sqrt{(1/n \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2)^3}}$$

а для оценки показателя эксцесса:

$$\tilde{\gamma}_2 = \frac{1/n \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^4}{(1/n \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2)^2} - 3$$

$$\sigma_{\tilde{\gamma}_2} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}$$

$\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2$ - выборочные характеристики ассиметрии и эксцесса, а $\sigma_{\tilde{\gamma}_1}, u, \sigma_{\tilde{\gamma}_2}$ их среднеквадратические ошибки.

$$\left|\tilde{\gamma}_2 + \frac{6}{n+1}\right| < 1{,}5\sigma_{\tilde{\gamma}_2}$$

$$\left|\tilde{\gamma}_1\right| < 1{,}5\sigma_{\tilde{\gamma}_1}$$

$$\left|\tilde{\gamma}_2 + \frac{6}{n+1}\right| > 2\sigma_{\gamma_2}$$

Если одновременно выполняются неравенства для 5 % уровня значимости 0-ой гипотезы, то считается, что фактическая кривая распределения допустимо близка к кривой нормального распределения.

Если: $\left|\tilde{\gamma}_1\right| > 2\sigma_{\gamma_1}$, то с вероятностью более 5 % можно утверждать, что фактическая кривая распределения недопустимо отклоняется от кривой нормального распределения. Следовательно, адекватности представления реальных данных моделью нет.

Другие случаи требуют дополнительной проверки при помощи более сложных критериев.

Приведем указанные проверки:

$\sigma_{\tilde{\gamma}_1} = 0{,}47$, $\tilde{\gamma}_1 = -0{,}38$ – для оценки показателя ассиметрии.

$$\tilde{\gamma}_2 = 0{,}5,\ \sigma_{\tilde{\gamma}_2} = 0{,}76,$$

$$\left|\tilde{\gamma}_2 + \frac{6}{n+1}\right| < 1{,}5\sigma_{\tilde{\gamma}_2}$$

– для оценки показателя эксцесса.

Проверка гипотезы нормального распределения случайной компоненты.

$\lvert\gamma_1\rvert$ $\left\lvert\tilde{\gamma}_1\right\rvert < 1{,}5\sigma_{\tilde{\gamma}_1}$		1,5σ γ_1
0,38	<	0,71

$\lvert\gamma_2+6/(n+1)\rvert$		1,5σ γ_2
0,79	<	1,14

Условия выполняются, следовательно, гипотеза о нормальном распределении случайной компоненты принимается. Проверка равенства математического ожидания случайной компоненты нулю осуществляется на основе t-критерия Стьюдента. Расчетное значение этого критерия находится по формуле:

$$S_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}}$$

$$t = \frac{\bar{\varepsilon} - 0}{S_\varepsilon}\sqrt{n}$$

где $\tilde{\varepsilon_i}$ – среднее арифметическое значение; S_ε – стандартное среднеквадратическое отклонение для этой последовательности.

Если расчетное значение t меньше табличного значения при принятом уровне значимости 0ой гипотезы, то математическое ожидание случайной компоненты в генеральной совокупности равно нулю. В противном случае – отвергается, и модель считается неадекватной. Число степеней свободы $\nu = n–1$.

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i}{n}$$

В рассматриваемой задаче:

$\bar{\varepsilon}$ = –1,71; E–14 = 0,00; S_ε = 40,93.

Отсюда $t_{расч}$ = 0,00; $t_{табл}$ = 2,101.

Так как $t_{расч} < t_{табл}$, то гипотеза о равенстве 0 математического ожидания случайной последовательности принимается и модель признается адекватной.

Далее для выявления существующей автокорреляции остаточной последовательности осуществляется следующая проверка, по проверке зависимости последующего значения от предыдущего. Эта проверка может производиться по ряду критериев.

Наиболее распространенным является *d*-критерий Дарвина–Уотсона. Расчетное значение этого критерия находится по формуле:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^{n} (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}$$

d-критерий меняется в пределах от 0 до 4. Если *d*-критерий от 0 до 2 то это свидетельствует о положительной автокорреляции, а если *d*-критерий в интервале от 2 до 4, то это свидетельствует об отрицательной связи. В этом случае его надо преобразовать по формуле:

$$d` = 4–d,$$

и в дальнейшем используем значение $d`$. Расчетное значение критерия $d$ или $d`$ сравнивается с верхним d_2 и нижним d_1 критическими значениями статистики Дарвина–Уотсона.

Для 5%-го уровня значимости эти значения для ряда количества определяемых параметров p приведены в табл. 10:

Таблица 10

n	$p = 1$		$p = 2$		$p = 3$	
	d_1	d_2	d_1	d_2	d_1	d_2
15	1,08	1,36	0,95	1,54	0,82	1,75
20	1,20	1,41	1,1	1,54	1,00	1,68
30	1,35	1,49	1,28	1,57	1,21	1,65

Если расчетное значение критерия d больше верхнего табличного значения d_2, то гипотеза о независимости уровней остаточной последовательности, то есть об отсутствии в ней автокорреляции принимается с вероятностью 95 %.

Если расчетное значение d меньше нижнего табличного d_1 ,то эта гипотеза отвергается и модель считается неадекватной.

Если значение d находится между значениями d_1 и d_2, включая сами эти значения, то считается, что нет достаточных оснований делать тот или иной вывод и необходимы дальнейшие исследования, например по большему числу наблюдений.

В данной задаче:

d = 2,25 – критерий Дарвина–Уотсона

Расчетное значение *d*-критерия свидетельствует об отрицательной связи.

$d`$ = 1,75 и d_1 = 1,10, d_2 = 1,54.

Так как расчетное значение критерия d больше верхнего табличного значения d_2, то гипотеза о независимости уровней остаточной последовательности, то есть об отсутствии в ней автокорреляции принимается.

Вывод об адекватности модели делается, если все четыре проверки свойств остаточной последовательности дают положительный результат. Для адекватных моделей имеет смысл ставить задачу оценки их точности.

В качестве критерия точности мы принимаем степень совпадения теоретических и практических значений y.

$$\tilde{y}_i \to y_i$$

Вычислим эти показатели:

1. Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \tilde{y}_i)^2}$$

$i = 1…n$,

y_i – фактическое значение показателя

y_i – теоретическое значение показателя

n – количество наблюдений

p – количество независимых параметров.

Недостаток этого показателя зависит от масштаба y.

2. Средняя относительная ошибка аппроксимации:

$$\bar{\varepsilon}_{om} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%$$

3. Коэффициент сходимости:
$\bar{y}$ – среднее значение

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \widetilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

показывает какая доля изменения результирующего признака может быть объяснена изменением не включенных в модель факторов.

4. Коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \varphi^2$$

показывает долю изменения результирующего признака, объясняемую изменением включенных в модель факторов.

На основании указанных показателей можно сделать выбор из нескольких адекватных моделей наиболее точную. Хотя может встретиться случай, когда по некоторому показателю более точна одна модель, а по другому – другая модель.

Полученное значение R^2 =0,98 подтверждает достоверность наличия зависимости.

Согласно произведенным расчетам, мы нашли, что уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$y = 41{,}02+0{,}87x_2+14{,}84x_3.$$

Так же мы провели анализ полученных результатов и убедились в том, что:

❖ наличие зависимости между X_i и Y является достоверной;

❖ имеется сильная корреляционная зависимость между Y и X_i;

❖ коэффициенты регрессии являются значимыми.

Таким образом, модель может быть признана адекватной. В целом данное уравнение можно использовать для определения расчетного значения пищевой и биологической ценности продукта, так как случайные ошибки коэффициентов будут взаимопогашаться.

При проверке свойств остаточной последовательности, которые были выделены существенными для исследуемого явления, было обнаружено:

– гипотеза о случайном характере отклонений уровней остаточной последовательности принимается;

– случайная компонента распределена по нормальному закону распределения;

– гипотеза о равенстве нулю математического ожидания случайной последовательности принимается;

– гипотеза о независимости уровней случайной компоненты (т.е. об отсутствии в ней автокорреляции) принимается.

Таким образом, остаточная последовательность удовлетворяет всем свойствам случайной компоненты временного ряда, следовательно, найденная нами линейная модель является адекватной.

Несмотря на проделанные выкладки, построенную модель можно использовать только для ориентировочных расчетов, поскольку она дает лишь определенную оценку истинного значения исследованных величин.

В частности, модель не конкретизирует, например, влияния каждого конкретного ингредиента или полноты использования входящих в него полезных пищевых веществ, за что могут отвечать новые инновационные средства, разработанные в период испытаний [9, 10].

Окончательные выводы могут быть сделаны только на основании более детальных экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Пучков В.Ф. Решение управленческих задач средствами экономико-математического моделирования: Учеб. пособие. Гатчина, 2005, 58с.
2. *Пучков В.Ф., Грацинская Г.В.* Методология построения математических моделей и оценка параметров динамики экономических систем. Монография / Москва, 2011, 324с.
3. *Егошина Е.В.* Роль сегментного анализа в бизнесе // Теория и практика общественного развития. 2013. № 2. С. 200–203.
4. *Егошина Е.В.* Метод сегментного анализа на потребительском рынке услуг. диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05 / Санкт-Петербургский государственный экономический университет. Санкт-Петербург, 2013, 163с.
5. *Алексеев Г.В., Егошина Е.В., Башева Е.П., Верболоз Е.И., Боровков М.И.* Оценка конкурентоспособности инновационного технического решения // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2014. № 4. С. 137–146.
6. *Алексеев Г.В., Егошина Е.В., Верболоз Е.И., Башева Е.П., Боровков М.И.* Подходы нечеткой логики в исследованиях биотехнологий для рационального использования пищевых ресурсов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 4. С. 244–255.
7. *Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Головацкий В.А.* Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье // Новые технологии. 2012. № 2. С. 11–15.
8. *Алексеев Г.В., Грекова И.В.* Возможный подход к решению тепловой задачи и повышение эффективности использования абразивного оборудования // Машиностроитель. 2000. № 8. С. 32.
9. *Кондратов А.В., Алексеев Г.В.* Перспективы применения кавитационного воздействия для измельчения пищевых продуктов. Монография / Саратов, 2013.

10. *Иванова А.С., Алексеев Г.В.* Моделирование процесса натекания неньютоновской жидкости на жесткую преграду // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 34–35.

11. *Аксенова О.И.* Использование методов нечеткой логики при моделировании рецептур сухих кормов для домашних животных // Сборник трудов III Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2013». Смоленск. 2013. С. 207–211.

12. *Аксенова О.И., Шубенкова В.А.* Составление рецептурной смеси проектируемых продуктов при неопределенности структурных факторов показателей качества.// Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». Воронеж. 2013. С.816–820.

13. *Аксенова О.И.* Математическое моделирование рецептур кормов для непродуктивных животных, как инновационный метод составления рецептур// Сборник трудов III Международной научно-технической конференции «Современные материалы, техника и технология». Курск. 2013. С. 20–22.

14. *Аксенова О.И., Алексеев Г.В.* Сравнение моделей рецептур кормов для непродуктивных животных, полученных методами математической статистики и нечеткой логики // Вклад студенческой науки в биотехнологию: материалы трудов II студенческого инновационного форума с международным участием - 2015. – С. 7–18.

15. Аксенова О.И. Определение класса корма распознаванием образов, на основе подходов нечеткой логики // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 1. – С. 7–10.

References

1. Puchkov V.F. Solution of administrative tasks means of economic-mathematical modeling: Studies. grant. Gatchina, 2005, 58 p.

2. Puchkov V.F. Gratsinsky G.V. Metodologiya of creation of mathematical models and assessment of parameters of dynamics of economic systems. Monograph / Moscow, 2011, 324 p.

3. Egoshina E.V. A role of the segment analysis in business//*the Theory and practice of social development.* 2013. No. 2. P. 200–203.

4. Egoshina E.V. A method of the segment analysis in the consumer market of services. thesis... Candidate of Economic Sciences: 08.00.05 / St. Petersburg state economic university. St. Petersburg, 2013, 163 p.

5. Alekseev G.V., Egoshina E.V., Basheva E.P., Verboloz E.I., Borovkov of M. I. Otsenk of a konkurentosposobnosta of an innovative technical solution// *NIU ITMO Scientific magazine. Series: Economy and ecological management.* 2014. No. 4. P. 137–146.

6. Alekseev G.V., Egoshina E.V., Verboloz E.I., Basheva E.P., Borovkov M. I. Approaches of fuzzy logic in researches of biotechnologies for rational use of food resources//*the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions*. 2014. No. 4. P. 244–255.

7. Alekseev G.V., Voronenko B. A., Golovats-VA cue. Analytical research of process of pulse (discrete) thermal impact on the processed food raw materials//*New technologies*. 2012. No. 2. P. 11-15.

8. Alekseev G.V., Grekova I.V. Possible approach to the solution of a thermal task and increase of efficiency of use of the abrasive equipment//*Mechanician.* 2000. No. 8. P.32.

9. Kondratov A.V., Alekseev G.V. Prospects of application of cavitational influence for crushing of foodstuff. Monograph / Saratov, 2013.

10. Ivanova A.S., Alekseev G.V. Modeling of process of a natekaniye of non-Newtonian liquid on a rigid barrier//*Messenger of the International academy of cold*. 2012. No. 1. P. 34–35.

11. Aksenova O.I. Use of methods when modeling commpoundings of dry pet foods // The conference of works of the III International scientific and technical conference "Power, Information, Innovation - 2013". Smolensk. 2013. P. 207-211.

12. Aksenova O.I., Shubenkova V.A. Drawing up prescription mix of products at uncertainty of structural factors of quality indicators .// The conference of works of the International scientific and technical conference "Innovative technologies in the food industry: science, education and production." Voronezh. 2013. P.816–820.

13. Aksenova O.I. Mathematical modeling of forages for unproductive animals, as an innovative method of drawing up compounding. // The conference of works of the III International scientific and practical conference "Modern Materials, Equipment and Technology." Kursk. 2013. p. 20–22.

14. O.I. Aksenova, G.V. Alekseev Compare models formulations pet food, obtained by the methods of mathematical statistical and fuzzy logic // contribution of science student in bio-technology: materials Trudy II Student Innovation Forum with international participation – 2015. – P. 7–18.

15. Aksyonova O.I. The class definition feed pattern recognition based on fuzzy logic approach // Almanac scientific works of young scientists of the University ITMO – 2015. – T. 1. – P. 7–10.

Статья поступила в редакцию 18.01.2016 г.