

Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси

Наталья А. Шмалько	¹	kafedra-tith@ya.ru	 0000-0002-8939-0265
Игорь А. Никитин	²	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911
Дарья А. Велина	²	kattim67@gmail.com	 0000-0002-2398-3375
Марс Ф. Хайруллин	²	89049755219@ya.ru	 0000-0003-1697-7281

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. Важнейшими статистическими показателями динамического ряда являются абсолютный цепной и базисный прирост, цепной и базисный темп прироста, темп наращивания и др., описывающие текущее состояние процесса без составления прогноза. Классический подход к прогнозированию рядов основан на выборе подходящей теоретической модели тренда с неизвестными параметрами с последующим его моделированием. Применимость метода экспоненциального сглаживания к исследуемому динамическому ряду заключается в возможности прогнозирования нестационарного временного ряда, в котором вес члена ряда уменьшается экспоненциально и практически не оказывает какое-либо влияние на значение экспоненциальной средней, заменяющей наблюдаемое значение ряда. Целью работы явилось проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси. В данном случае исследованию была представлена последовательность наблюдений показателя числа разжижения, упорядочиваемого в зависимости от повышения дозировки амилопектинового кукурузного крахмала в кукурузной крахмалистой смеси. Число разжижения для кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола (ГОСТ 14176) и кукурузного амилопектинового крахмала (ГОСТ 32159) в соотношении: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 получали расчетным путем. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси позволило получить достоверный прогноз о динамике показателя качества процесса разжижения в указанном интервале. Стандартные погрешности прогнозируемых значений числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси при дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси от 0 % до 35,0 % включительно находятся в пределах требований сходимости ГОСТ 30498 (ИСО 3093) для результатов измерений. Стабильный рост динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси обеспечивается при замене кукурузной муки амилопектиновым кукурузным крахмалом в количестве не более 35,0%.

Ключевые слова: динамический ряд, экспоненциальное сглаживание, число разжижения, кукурузный крахмал, кукурузная мука.

Exponential smoothing of dynamic series liquefaction number of corn starch mixture

Natalya A. Shmal'ko	¹	kafedra-tith@ya.ru	 0000-0002-8939-0265
Igor A. Nikitin	²	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911
Daria A. Velina	²	kattim67@gmail.com	 0000-0002-2398-3375
Mars F. Khayrullin	²	89049755219@ya.ru	 0000-0003-1697-7281

¹ Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia

² K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The most important statistical indicators of the time series are the absolute chain and basic growth, chain and basic growth rates, growth rates, etc., which describe the current state of the process without making a forecast. The classical approach to forecasting series is based on the choice of a suitable theoretical model of the trend with unknown parameters, followed by its modeling. The applicability of the exponential smoothing method to the investigated dynamic series lies in the possibility of predicting a non-stationary time series, in which the weight of the series member decreases exponentially and practically does not have any effect on the value of the exponential average, which replaces the observed value of the series. The aim of the work was to carry out exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number of the corn starch mixture. In this case, the study presents a sequence of observations of the index of liquefaction, ordered depending on the increase in the dosage of amylopectin corn starch in the corn starch mixture. The liquefaction number for corn starch mixture consisting of fine corn flour (GOST 14176) and corn amylopectin starch (GOST 32159) in the ratio: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 were received by calculation. Exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number of corn starch mixture makes it possible to obtain a reliable forecast of the dynamics of the quality indicator at the liquefaction process in the specified interval. The standard errors of the predicted values of the liquefaction number of corn starch mixture at a dosage of amylopectin corn starch in a mixture from 0% to 35.0 % inclusive are within the convergence requirements of GOST 30498 (ISO 3093) for measurement results. A stable growth in the dynamics of the number of liquefaction of corn starch mixture is provided when replacing corn flour with amylopectin corn starch in an amount of not more than 35.0 %.

Keywords: time series, exponential smoothing, liquefaction number, corn starch, corn flour.

Для цитирования

Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Хайруллин М.Ф. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 170–178. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-170-178

For citation

Shmal'ko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Khayrullin M.F. Exponential smoothing of dynamic series liquefaction number of corn starch mixture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 170–178. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-170-178

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Как известно, «анализ временных рядов – совокупность математико-статистических методов анализа, предназначенных для выявления структуры временных рядов и их прогнозирования... Выявление структуры временного ряда необходимо для того, чтобы построить математическую модель того явления, которое является источником анализируемого временного ряда...» [1]. Очевидно, что «...выбор метода решения задачи прогнозирования определяется существенными его характеристиками – сложностью задачи и ее обширностью. Так, при решении задач прогнозирования первого уровня сложности и обширности процесса применяют экстраполяционный метод уровня обширности и сложности – *экспоненциальное сглаживание*, позволяющий получить краткосрочный прогноз...» [2].

Для решения статистических задач достоверность разработанных прогнозов во многом определяется тем, насколько правильно выбран метод прогнозирования, иначе говоря, для получения достоверных прогнозов вначале необходимо определить метод прогнозирования, соответствующий специфике объекта прогнозирования. «...Классический подход к прогнозированию рядов основан на выборе подходящей теоретической модели тренда с неизвестными параметрами, ее параметрической идентификации по данным наблюдения ряда и последующем использовании модели для экстраполяции ряда на период прогнозирования...» [3].

«...Главное достоинство модели прогнозирования, основанной на экспоненциальной скользящей средней, заключается в том, что она способна адаптироваться к новому уровню процесса без значительных реакций на случайные отклонения. Однако данная модель дает значительную ошибку в случае, когда ряд имеет трендовую составляющую. Специально для этого случая существует несколько адаптивных моделей экспоненциального сглаживания... [4]. Моделирование заключается в том, что ряд динамики сглаживается с помощью скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. В таком случае, среднюю называют *экспоненциальной средней*, которая является характеристикой последних значений ряда динамики, которым присваивается наибольший вес [3].

В анализе технологических процессов «...экспоненциальное сглаживание при текущем предупредительном контроле в отличие от анализа экономических показателей имеет ряд особенностей: одной из них является отсутствие надобности в определении длительного

прогнозирования, другой – необходимость учета погрешностей измерения... Поскольку при текущем предупредительном контроле основной целью является быстрое обнаружение резкого изменения процесса, то алгоритм расчета базируется на результатах краткосрочного (на один шаг вперед) прогнозирования» [5].

При необходимости описания текущего состояния процесса без составления прогноза вначале прибегают к вычислению таких статистических показателей динамического ряда, как абсолютный цепной и базисный прирост, цепной и базисный темп прироста, темп наращивания и т. п. Так, абсолютный прирост определяется в разностном сопоставлении двух уровней ряда динамики в единицах измерения исходной информации и рассчитывается по цепному и базисному приростам [6]:

– цепной прирост:

$$\Delta y_{\text{ц}} = y_i - y_{i-1} \quad (1)$$

– базисный прирост:

$$\Delta y_{\text{б}} = y_i - y_1 \quad (2)$$

Темпы прироста характеризуют абсолютный прирост в относительных величинах, а вычисляемый в процентах темп показывает, на сколько процентов изменяется сравниваемый уровень с уровнем, принятым за базу сравнения. Как и абсолютный прирост, подразделяется на цепной и базисный:

– цепной темп прироста:

$$T_{\text{прц}} = \Delta y_i / y_{i-1} \quad (3)$$

– базисный темп прироста:

$$T_{\text{прб}} = \Delta y_{\text{б}i} / y_1 \quad (4)$$

Распространенным в статистике показателем динамики является темп роста, характеризующий отношение двух уровней ряда и выражающийся в виде коэффициента или в процентах, вычисляется цепным или базисным:

– цепной темп роста:

$$T_{\text{рц}} = y_i / y_{i-1} \quad (5)$$

– базисный темп роста:

$$T_{\text{рб}} = y_{\text{б}i} / y_1 \quad (6)$$

Абсолютное значение 1% прироста равно: цепной: $1\% \text{ } \varphi_i = y_i - y_{i-1} / 100\%$; базисный: $1\%_{\text{б}} = y_{\text{б}i} / 100\%$.

Статистическим показателем динамики в условиях интенсификации изучаемого процесса является темп наращивания, который измеряет наращивание потенциала процесса во времени:

$$T_{\text{н}} = \Delta y_{\text{н}i} / y_1 \quad (7)$$

Средний уровень интервального ряда у динамики характеризует типическую величину абсолютных уровней и рассчитывается по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (8)$$

Средний темп роста вычисляется как:

$$\bar{T}_p = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \quad (9)$$

Средний темп прироста равен разности:

$$\bar{T}_{np} = \bar{T}_p - 1 \quad (10)$$

Средний абсолютный прирост представляет собой обобщенную характеристику индивидуальных абсолютных приростов ряда динамики:

$$\overline{dy} = \frac{y_n - y_1}{n - 1} \quad (11)$$

Экспоненциальная средняя вычисляется по рекуррентной формуле:

$$S_t = \alpha \times Y_t + (1 - \alpha) \times S_{t-1} \quad (12)$$

где S_t – значение экспоненциальной средней в момент t ; S_{t-1} – значение экспоненциальной средней в момент $(t = 1)$; начальный параметр S_0 берут или равным значению первого уровня ряда y_1 , или равным средней арифметической нескольких первых членов ряда; Y_t – значение экспоненциального процесса в момент t ; α – вес t -ого значения ряда динамики (или параметр сглаживания).

Последовательное применение формулы (12) дает возможность вычислить экспоненциальную среднюю через значения всех уровней данного ряда динамики. Наиболее важной характеристикой в этой модели является параметр сглаживания α , по величине которой практически и осуществляется прогноз. В случае, если α близко к единице, то в прогнозе существенно учитывается величина ошибки последнего прогнозирования. При малых значениях α прогнозируемая величина близка к предыдущему прогнозу.

Если α близко к 0, то веса, по которым взвешиваются уровни ряда динамики убывают медленно, т. е. при прогнозе учитываются все прошлые уровни ряда. Обычно на практике значение α находится в пределах от 0,1 до 0,3, почти никогда не превышая значение 0,5 [7].

Базовое уравнение имеет следующий вид:

$$S_{t+1} = S_t \times (1 - \alpha) + \alpha \times Y_t \quad (13)$$

где $S_{(t)}$ – это прогноз, сделанный в момент времени t .

Стандартная ошибка (погрешность) рассчитывается по формуле:

$$e_t = \sqrt{\frac{\sum (y_i - S_{i-1})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

где $i = (t - 2, t)$.

Специалисты отмечают [8], что разжижение крахмала является ключевым этапом в промышленном производстве сиропов. Для повышения эффективности этого процесса было проведено исследование влияния концентрации кукурузного крахмала на ход желатинизации и разжижения. Как показали опыты, повышенные концентрации крахмала (свыше 45%) вызывают ингибирование набухания и разрушение гранул крахмала и приводят к сохранению кристалличности крахмала после термической обработки, что связывают с протеканием неполной желатинизации, вызванной низкой подвижностью молекул воды и полимерных цепей.

Целью данной работы явилось проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола и кукурузного амилопектинового крахмала. В исследовании представлена последовательность наблюдений показателя числа разжижения, упорядочиваемого в зависимости от повышения дозировки амилопектинового кукурузного крахмала в кукурузной крахмалистой смеси.

Материалы и методы

Число разжижения для кукурузной крахмалистой смеси, состоящей из кукурузной муки тонкого помола [9] и кукурузного амилопектинового крахмала [10] в соотношении: 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90, 0:100 получали расчетным путем. Для расчета числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси использовали опытные данные числа падения, определяемого по стандартному методу [11], сущность которого заключается в достижении быстрой клейстеризации водной суспензии муки или цельносомлотого зерна в кипящей водяной бане и последующем определении степени разжижения альфа-амилазой крахмала, содержащегося в пробе. Например, с требуемым значением числа падения подбирают мучные хлебопекарные смеси [12, 13], если число падения перевести в число разжижения. Расчеты статистических показателей динамического ряда числа разжижения без составления прогноза и вычисление его экспоненциальной средней производились с помощью интернет-ресурсов [6, 7], визуализация вычислений прогнозных значений в приложении MS Excel 2007.

Результаты

Цепные показатели ряда динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси представлены в таблице 1. Расчеты показывают, что при 100%-ном содержании амилопектинового кукурузного крахмала в смеси число разжижения, по сравнению с содержанием в 90%,

увеличивается на 72 ед. или на 33,6%. Максимальный прирост числа разжижения (на 72 ед.) наблюдается при максимальной дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси, т. е. 100%. Минимальный прирост числа разжижения (на 3 ед.) зафиксирован при 20%-ной дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси.

Таблица 1.

Цепные показатели ряда динамики числа разжижения

Table 1.

Chain exponents of the liquefaction number dynamics series

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch, %	Число разжижения, единиц Number of liquefaction units	Абсолютный прирост Absolute increase	Темп прироста, % Rate of increase, %	Темпы роста, % Growth rate, %	Абсолютное содержание 1% прироста Absolute content of 1% increase	Темп наращивания, % Rate of build-up, %
0	15	–	–	100	–	0
10	19	4	26.67	126.67	0.15	26.67
20	22	3	15.79	115.79	0.19	20
30	30	8	36.36	136.36	0.22	53.33
40	71	41	136.67	236.67	0.3	273.33
50	82	11	15.49	115.49	0.71	73.33
60	141	59	71.95	171.95	0.82	393.33
70	160	19	13.48	113.48	1.41	126.67
80	200	40	25	125	1.6	266.67
90	214	14	7	107	2	93.33
100	286	72	33.64	133.64	2.14	480
Итого Total	1240					

Темп наращивания показывает, что тенденция динамического ряда числа разжижения возрастающая, что свидетельствует об ускорении роста параметра. Базисные показатели ряда динамики числа разжижения представлены в таблице 2. В смеси, содержащей 100% амилопектинового

кукурузного крахмала, по сравнению со смесью с 0%-ным содержанием амилопектинового кукурузного крахмала число разжижения увеличилось на 271 ед. или на 1806,7%. Сводные данные ряда динамики числа разжижения приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Базисные показатели ряда динамики числа разжижения

Table 2.

Basic indicators of a number of dynamics of the liquefaction number

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch, %	Число разжижения, единиц Number of liquefaction units	Абсолютный прирост Absolute increase	Темп прироста, % Rate of increase, %	Темпы роста, % Growth rate, %
0	15	–	–	100
10	19	4	26.67	126.67
20	22	7	46.67	146.67
30	30	15	100	200
40	71	56	373.33	473.33
50	82	67	446.67	546.67
60	141	126	840	940
70	160	145	966.67	1066.67
80	200	185	1233.33	1333.33
90	214	199	1326.67	1426.67
100	286	271	1806.67	1906.67
Итого Total	1240			

Средний уровень интервального ряда у динамики числа разжижения равен: $\bar{y} = \sum y_i / n = 1240 / 11 = 112,73$. Соответственно,

среднее значение числа разжижения между 0%-ной и 100%-ной дозировками амилопектинового крахмала в смеси составило 112,73 ед.

Таблица 3.

Сводная таблица данных ряда динамики числа разжижения

Table 3.

Summary table of data on the dynamics of the liquefaction number

Дозировка амилопектинового крахмала, % Dosage of amylopectin starch, %	Число разжижения Liquefaction number	Абсолютный прирост Absolute increase		Темп роста Growth rate, %		Темп прироста Rate of increase, %		Абсолютное содержание 1% прироста Absolute content of 1% increase
		цепной	базисный	цепной	базисный	цепной	базисный	
0	15	–	–	100	100	–	–	–
10	19	4	4	126.67	126.67	26.67	26.67	0.15
20	22	3	7	115.79	146.67	15.79	46.67	0.19
30	30	8	15	136.36	200	36.36	100	0.22
40	71	41	56	236.67	473.33	136.67	373.33	0.3
50	82	11	67	115.49	546.67	15.49	446.67	0.71
60	141	59	126	171.95	940	71.95	840	0.82
70	160	19	145	113.48	1066.67	13.48	966.67	1.41
80	200	40	185	125	1333.33	25	1233.33	1.6
90	214	14	199	107	1426.67	7	1326.67	2
100	286	72	271	133.64	1906.67	33.64	1806.67	2.14

Средний темп роста равен:
 $\overline{T_p} = \sqrt[n]{y_n/y_1} = \sqrt[10]{286/15} = 1,3428$. В среднем за весь период рост анализируемого показателя составил 1,3428.

Средний темп прироста равен:
 $\overline{T_{np}} = \overline{T_p} - 1 = 1,3428 - 1 = 0,343$. В среднем число разжижения с каждым интервалом увеличивалось на 34,3%.

Средний абсолютный прирост равен:
 $\overline{dy} = (y_n - y_1)/(n - 1) = (286 - 15)/10 = 27,1$. С каждым интервалом динамического ряда число разжижения в среднем увеличивалось на 27,1.

Параметр α вычислялся как: $\alpha = 2/(21 + 1) = 0,0909$. В качестве S_0 брали первое значение ряда, $S_0 = y_1 = 15$. Для экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения дополнили данные наблюдений (таблица 4) с шагом 5 ед.

$S_{(t+1)}$ отражает прогноз во временной период, следующий непосредственно за моментом времени t : $S_{(21+1)} = 280,854 (1 - 0,0909) + 0,0909 \times 286 = 281,322$. Стандартная ошибка (погрешность) равна: $e_t = \sqrt{\sum (y_i - S_{i-1})^2 / (n - 1)} = \sqrt{67,29 / (21 - 1)} = 1,834$

Таблица 4.

Экспоненциальная средняя динамического ряда числа разжижения

Table 4.

Exponential average of the dynamic series of the liquefaction number

t	y	S_t	Формула Formula	$(y - S_t)^2$
0	15	15	$(1 - 0.0909) \times 15 + 0.0909 \times 15$	0
5	17	16.818	$(1 - 0.0909) \times 17 + 0.0909 \times 15$	0.0331
10	19	18.802	$(1 - 0.0909) \times 19 + 0.0909 \times 16.82$	0.0393
15	20	19.891	$(1 - 0.0909) \times 20 + 0.0909 \times 18.8$	0.0119
20	22	21.808	$(1 - 0.0909) \times 22 + 0.0909 \times 19.89$	0.0367
25	25	24.71	$(1 - 0.0909) \times 25 + 0.0909 \times 21.81$	0.0842
30	30	29.519	$(1 - 0.0909) \times 30 + 0.0909 \times 24.71$	0.231
35	41	39.956	$(1 - 0.0909) \times 41 + 0.0909 \times 29.52$	1.089
40	71	68.178	$(1 - 0.0909) \times 71 + 0.0909 \times 39.96$	7.963
45	77	76.198	$(1 - 0.0909) \times 77 + 0.0909 \times 68.18$	0.643
50	82	81.473	$(1 - 0.0909) \times 82 + 0.0909 \times 76.2$	0.278
55	107	104.68	$(1 - 0.0909) \times 107 + 0.0909 \times 81.47$	5.384
60	141	137.698	$(1 - 0.0909) \times 141 + 0.0909 \times 104.68$	10.9
65	148	147.064	$(1 - 0.0909) \times 148 + 0.0909 \times 137.7$	0.877
70	160	158.824	$(1 - 0.0909) \times 160 + 0.0909 \times 147.06$	1.383
75	185	182.621	$(1 - 0.0909) \times 185 + 0.0909 \times 158.82$	5.662
80	200	198.42	$(1 - 0.0909) \times 200 + 0.0909 \times 182.62$	2.496
85	207	206.22	$(1 - 0.0909) \times 207 + 0.0909 \times 198.42$	0.608
90	214	213.293	$(1 - 0.0909) \times 214 + 0.0909 \times 206.22$	0.5
95	231	229.39	$(1 - 0.0909) \times 231 + 0.0909 \times 213.29$	2.591
100	286	280.854	$(1 - 0.0909) \times 286 + 0.0909 \times 229.39$	26.479
				67.29

Для визуализации вычисления каждого прогноза в MS Excel использовали отдельную, но алгебраически эквивалентную формулу (таблица 5). Оба компонента – данные предыдущего

наблюдения и предыдущий прогноз – каждого прогноза умножали на коэффициент, отображающий вклад данного компонента в текущий прогноз (рисунок 1).

Таблица 5.

Расчет экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения в MS Excel 2007

Table 5.

Calculation of exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number in MS Excel 2007

t	y	Сглаженные уровни Smoothed levels	Стандартные погрешности Standard errors
0	15	15	#Н/Д
5	17	16.8182	#Н/Д
10	19	18.80167	#Н/Д
15	20	19.89107	1.843569
20	22	21.8083	1.883597
25	25	24.70987	2.314485
30	30	29.51913	3.769172
35	41	39.95639	7.527346
40	71	68.17814	19.35202
45	77	76.19809	19.7766
50	82	81.47261	18.9314
55	107	104.6796	15.94924
60	141	137.6985	25.84882
65	148	147.0636	26.31187
70	160	158.8241	23.04088
75	185	182.6206	17.87597
80	200	198.4202	19.61779
85	207	206.2201	18.80456
90	214	213.2928	12.05796
95	231		
100	286		

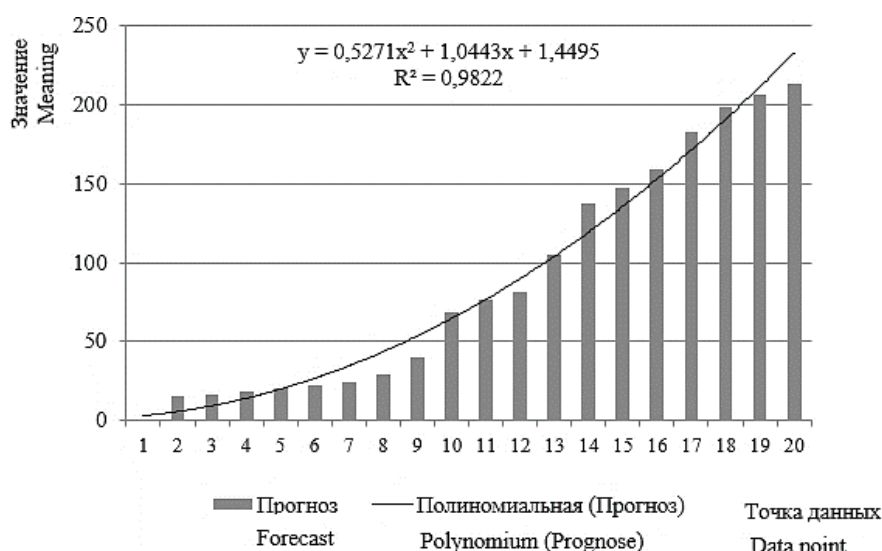


Рисунок 1. Экспоненциальное сглаживание динамического ряда числа разжижения с полиномиальной линией тренда
Figure 1. Exponential smoothing of the dynamic series of the liquefaction number with a polynomial trend line

Обсуждение

Следует отметить, что удобство исследуемого метода применительно к наблюдению динамического ряда числа разжижения заключается в возможности прогнозирования нестационарного временного ряда, имеющего случайные изменения уровня и угла наклона. По мере удаления от текущего момента времени t «в прошлое»

вес соответствующего члена ряда быстро (экспоненциально) уменьшается и практически перестает оказывать какое-либо влияние на значение экспоненциальной средней, заменяющей наблюдаемое значение ряда y_t , когда в сглаживании участвуют все данные, полученные к текущему моменту t .

Метод прогнозирования сглаживания учитывает эффекты выброса функции намного лучше, чем способы, использующие регрессивный анализ. Экспоненциальная средняя y_t является примером асимметричной взвешенной скользящей средней, в которой учитывается степень старения данных: более «старая» информация с меньшим весом входит в формулу (12) для расчета сглаженного значения уровня ряда [14-20].

Заключение

Проведение экспоненциального сглаживания динамического ряда числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси позволяет получить достоверный прогноз о динамике показателя объекта исследования в изучаемом интервале. Стандартные погрешности прогнозируемых значений числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси при дозировке амилопектинового кукурузного крахмала в смеси от 0 до 35,0%

включительно находятся в пределах требований сходимости стандарта [11] для результатов измерений. Отсюда следует, что стабильный рост динамики числа разжижения кукурузной крахмалистой смеси обеспечивается при замене кукурузной муки амилопектиновым кукурузным крахмалом в количестве не более 35,0%. Тем самым, задача прогнозирования первого уровня сложности и обширности процесса разжижения решена методом экспоненциального сглаживания с целью получения краткосрочного прогноза.

Благодарности

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» КубГТУ (СКР_3111), развитие которого поддерживается Министерством науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075–15–2021–679).

Литература

- 1 Семиохин С.И., Самарев Р.С. Обзор современных подходов к прогнозированию временных рядов // Молодежный научно-практический вестник. 2017. № 12. С. 3–16.
- 2 Симанков В.С., Бучацкая В.В. Выбор методов прогнозирования при исследовании сложных систем // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2012. № 2. С. 118–123.
- 3 Шубат О.М., Блинов Д.В. Исследование рядов динамики в экономике и менеджменте. URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf (дата обращения: 28.01.2021).
- 4 Шевченко И.В. Некоторые модели анализа и прогнозирования временных рядов // Системная информатика. 2013. № 2. С. 23–40.
- 5 Керенский А.М. О текущем предупредительном контроле процесса на базе экспоненциального сглаживания // Авиационная и ракетно-техническая техника. 2009. № 3–2 (19). С. 227–230.
- 6 Статистические показатели динамики. URL: <https://axd.semestr.ru/dinam/group.php>
- 7 Сглаживание экспоненциальным методом. URL: <https://math.semestr.ru/trend/exponential.php>
- 8 Li Zh., Liu W., Gu Zh., Li C. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch // Food Hydrocolloids. 2015. V. 48. P. 189–196. doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030
- 9 ГОСТ 14176–69. Мука кукурузная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022248>
- 10 ГОСТ 32159–2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104210>
- 11 ГОСТ ISO 3093–2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Харбегра-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140380>
- 12 Stefan E.–M., Voicu G., Constantin G.A., Ferdes M. Falling number vs liquefaction number in alfa-amylase activity estimation for bakery flour // Conference: International Symposium ISB-INMA TEH 2015, Agricultural and mechanical engineering, Romania, Bucharest, 2015. P. 461–466.
- 13 Вершинина О.Л., Зернаева Е.А., Бондаренко А.Н. Влияние мучной композитной смеси на хлебопекарные свойства ржаной муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 2–3 (362–363). С. 44–46.
- 14 Кричевский М.Л. Методы бизнес-прогнозирования: лекции (контент) по дисциплине. URL: http://eos.ibi.spb.ru/umk/15_3/5/5_A.html
- 15 Jain D., Katyal P. Optimization of gluco-amylase production from *Aspergillus* spp. for its use in saccharification of liquefied corn starch // 3 Biotech. 2018. V. 8. №. 2. P. 1-9. doi: 10.1007/s13205-018-1131-4
- 16 Szymanowska-Powalowska D., Lewandowicz G., Kubiak P., Błaszczyk W. Stability of the process of simultaneous saccharification and fermentation of corn flour. The effect of structural changes of starch by stillage recycling and scaling up of the process // Fuel. 2014. V. 119. P. 328-334. doi: 10.1016/j.fuel.2013.11.034
- 17 Xue P., Zhao Y., Wen C., Cheng S. et al. Effects of electron beam irradiation on physicochemical properties of corn flour and improvement of the gelatinization inhibition // Food chemistry. 2017. V. 233. P. 467-475. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.152
- 18 Chen Y., Delaney L., Johnson S., Wendland P. et al. Using near infrared spectroscopy to determine moisture and starch content of corn processing products // Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2017. V. 25. №. 5. P. 348-359. doi: 10.1177/0967033517728146

- 19 Huang X., Chen M., Lu X., Li Y. et al. Direct production of itaconic acid from liquefied corn starch by genetically engineered *Aspergillus terreus* // Microbial cell factories. 2014. V. 13. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/s12934-014-0108-1
- 20 Pervez S., Aman A., Iqbal S., Siddiqui N.N. et al. Saccharification and liquefaction of cassava starch: an alternative source for the production of bioethanol using amylolytic enzymes by double fermentation process // BMC biotechnology. 2014. V. 14. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/1472-6750-14-49

References

- 1 Semiokhin S.I., Samarev R.S. Review of modern approaches to time series forecasting. Youth Scientific and Practical Bulletin. 2017. no. 12. pp. 3–16. (in Russian).
- 2 Simankov V.S., Buchatskaya V.V. The choice of forecasting methods in the study of complex systems. Bulletin of the Adyghe State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2012. no. 2. pp. 118–123. (in Russian).
- 3 Shubat O.M., Blinov D.V. Study of series of dynamics in economics and management. URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf (in Russian).
- 4 Shevchenko I.V. Some models of analysis and forecasting of time series. System informatics. 2013. no. 2. pp. 23–40. (in Russian).
- 5 Kerensky A.M. On the current preventive control of the process based on exponential smoothing. Aviation and rocket technology. 2009. no. 3–2 (19). pp. 227–230. (in Russian).
- 6 Statistical indicators of dynamics. Available at: <https://axd.semestr.ru/dinam/group.php> (in Russian).
- 7 Smoothing by exponential method. Available at: <https://math.semestr.ru/trend/exponential.php> (in Russian).
- 8 Li Zh., Liu W., Gu Zh., Li C. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. Food Hydrocolloids. 2015. vol. 48. pp. 189–196. doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030
- 9 GOST 14176–69. Corn flour. Specifications. M., Standartinform, 2006. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200022248> (in Russian).
- 10 GOST 32159–2013. Corn starch. General specifications. Moscow, Standartinform, 2019. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104210> (in Russian).
- 11 GOST ISO 3093–2016. Grain and products of its processing. Determination of the falling number by the Hagberg-Perten method. M., Standartinform, 2019. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200140380> (in Russian).
- 12 Stefan E.–M., Voicu G., Constantin G.A., Ferdes M. Falling number vs liquefaction number in alfa-amylase activity estimation for bakery flour. Conference: International Symposium ISB-INMA TEH 2015, Agricultural and mechanical engineering, Romania, Bucharest, 2015. pp. 461–466.
- 13 Vershinina O.L., Zernaeva E.A., Bondarenko A.N. Influence of a flour composite mixture on the baking properties of rye flour. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2018. no. 2–3 (362–363). pp. 44–46. (in Russian).
- 14 Krichevsky M.L. Methods of business forecasting: lectures (content) on the discipline. Available at: http://eos.ibi.spb.ru/umk/15_3/5/5_A.html (in Russian).
- 15 Jain D., Katyal P. Optimization of gluco-amylase production from *Aspergillus* spp. for its use in saccharification of liquefied corn starch. 3 Biotech. 2018. vol. 8. no. 2. pp. 1-9. doi: 10.1007/s13205-018-1131-4
- 16 Szymanowska-Powalowska D., Lewandowicz G., Kubiak P., Błaszczak W. Stability of the process of simultaneous saccharification and fermentation of corn flour. The effect of structural changes of starch by stillage recycling and scaling up of the process. Fuel. 2014. vol. 119. pp. 328-334. doi: 10.1016/j.fuel.2013.11.034
- 17 Xue P., Zhao Y., Wen C., Cheng S. et al. Effects of electron beam irradiation on physicochemical properties of corn flour and improvement of the gelatinization inhibition. Food chemistry. 2017. vol. 233. pp. 467-475. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.152
- 18 Chen Y., Delaney L., Johnson S., Wendland P. et al. Using near infrared spectroscopy to determine moisture and starch content of corn processing products. Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2017. vol. 25. no. 5. pp. 348-359. doi: 10.1177/0967033517728146
- 19 Huang X., Chen M., Lu X., Li Y. et al. Direct production of itaconic acid from liquefied corn starch by genetically engineered *Aspergillus terreus*. Microbial cell factories. 2014. vol. 13. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/s12934-014-0108-1
- 20 Pervez S., Aman A., Iqbal S., Siddiqui N.N. et al. Saccharification and liquefaction of cassava starch: an alternative source for the production of bioethanol using amylolytic enzymes by double fermentation process. BMC biotechnology. 2014. vol. 14. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/1472-6750-14-49

Сведения об авторах

Наталья А. Шмалько к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, kafedra-tith@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

Игорь А. Никитин д.т.н., доцент, заведующий кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, nikito.igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

Information about authors

Natalya A. Shmal'ko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food engineering department, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, kafedra-tith@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Chem.), associate professor, head of department of biotechnology of food products from plant and animal raw materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, nikito.igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, кафедра биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kattim67@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Марс Ф. Хайруллин к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел комплексных научных исследований, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, 89049755219@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1697-7281>

Вклад авторов

Наталья А. Шмалько написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Игорь А. Никитин предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Дарья А. Велина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Марс Ф. Хайруллин консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Daria A. Velina junior researcher, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kattim67@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Mars F. Khayrullin Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, integrated research department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, 89049755219@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1697-7281>

Contribution

Natalya A. Shmal'ko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Igor A. Nikitin proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Daria A. Velina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Mars F. Khayrullin consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/04/2022	После редакции 25/04/2022	Принята в печать 26/05/2022
Received 07/04/2022	Accepted in revised 25/04/2022	Accepted 26/05/2022