

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ ПИТАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ БЫСТРОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**Р.С. Бойко**

*ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева»,*

*г. Красноярск*

**Ключевые слова и фразы:** безопасность быстрого питания; законы плотностей распределения вероятностей; математические модели; математическое ожидание.

**Аннотация:** Разработаны детерминированные и вероятностные математические модели оценки экологической безопасности продукции питания предприятий быстрого обслуживания с учетом основных определяющих факторов, ухудшающих качество и безопасность продукции.

### **Введение**

Развитие экологии пересматривает многие канонические взгляды на влияние внешней среды на здоровье человека. В последнее время питание рассматривается как фактор внешней среды, оказывающий непосредственное влияние на здоровье человека.

Активное развитие сети питания предприятий быстрого обслуживания (**ПБО**) в последнее время заставляет задумываться над качеством и безопасностью повседневно предлагаемой ими продукции.

**Теоретический анализ.** Продукция ПБО, как правило, состоит из жареных (во фритюре, основным способом или с использованием большого количества масла и бесконтактным способом) или печеных блюд. Сама продукция обычно отличается весьма высокими органолептическими свойствами, и потребителю весьма сложно не поддаться искушению вкушать данный продукт, если рядом нет другой альтернативы. Таким образом, среди основных потребителей чаще всего оказываются школьники, студенты и все желающие за небольшую плату быстро перекусить в местном буфете, кафе быстрого обслуживания или купить «чебурек» на улице.

Качество и безопасность продукции питания находится в прямой зависимости от содержания в ней вредных веществ. Вещества, попадающие в организм с пищей и требующие на свою переработку, нейтрализацию либо утилизацию дополнительных незапланированных ресурсов организма, а также наносящие вред организму, в работе названы «вредными веществами пищи».

Используемые в настоящее время частные оценки качества продукции ПБО включают следующие компоненты: пищевую, энергетическую, биологическую и физиологическую ценность, органолептические свойства, безопасность и усвояемость [1]. Каждый из этих показателей зависит от совокупности факторов, что приводит к усложнению задачи получения обобщенной оценки качества конечного продукта. В настоящее время обобщенные оценки качества продукции ПБО неизвестны. Таким образом, разработка оценок качества и безопасности продукции питания ПБО, позволяющих проводить сравнение различных

продуктов между собой или одноименных продуктов, приготовленных по различным технологиям, представляется весьма актуальной задачей.

**Методика.** Анализ факторов, ухудшающих качество и экологическую безопасность продукции ПБО за счет накопления в продукте вредных веществ, дал возможность выделить несколько основных, таких как время до реализации готовой продукции, количество предшествующих циклов нагрева фритюра и время хранения используемых в приготовлении продукции ингредиентов [1, 2, 6].

Ранее в [2] нами, при детерминированном подходе, предложены математические модели процессов накопления вредных веществ в продуктах питания ПБО в зависимости от выбранных определяющих факторов в виде

$$S = S_0 \left( 2^{\frac{t}{t_n}} - 1 \right) + n^c + \sum_{i=1}^{\omega} A_i \cdot e^{-\frac{t_{hi}}{t_{gi}}} \quad (1)$$

где  $S$  – количество вредных веществ пищи (пищевые токсины и канцерогены), (%);

$S_0$  – допустимое количество вредных веществ согласно СанПиН, (%);

$t_r$  – определяющий фактор, фактическое время, прошедшее с момента приготовления до реализации продукта, (час);

$t_n$  – нормативное время реализации приготовленного блюда (константа, зафиксированная санитарными правилами и нормами СанПиН), (час);

$n$  – определяющий фактор, количество предшествующих циклов нагрева используемого для жарки фритюра (случайная величина, безразмерная);

$c$  – постоянная, зависящая от вида масла, используемого для фритюра, и определенная экспериментально [5], (безразмерная);

$\omega$  – количество компонентов в рецептуре продукта, (безмерная);

$i$  – номер компонента рецептуры;

$A_i$  – величина, используемая в математической модели процесса накопления вредных веществ в зависимости от времени хранения компонента рецептуры,  $A_i = \frac{S_{0i}}{e}$ , (безразмерная);

$t_{hi}$  – время хранения конкретного вида исходного сырья, (час);

$t_{gi}$  – срок годности конкретного вида сырья, (час).

Входящие в (1) члены являются феноменологическими детерминированными моделями основных факторов, определяющих количество вредных веществ в продукте.

Для оценки качества, выражающегося в минимизации наличия в конечном продукте ПБО вредных веществ, введен коэффициент безопасности  $K_b$ , являющийся количественным выражением опасности и выражающийся как величина, обратная  $S$ :

$$K_b = \frac{d^2}{2S}, \quad (2)$$

где  $d$  – наименьшее расстояние от центра координат до гиперболы, безразмерная ( $d = \sqrt{2S_0}$ ), находится из условия  $S = S_0$ ,  $K_b = 1$ ).

Изучение особенностей быстрого питания в нашей стране показывает, что снижение качества и экологической безопасности продукции питания ПБО является следствием недобросовестности работников предприятия, мотивированных извлечением сверхприбыли.

Под недобросовестностью понимается нарушение работниками предприятий питания установленных норм, правил, требований. Экономят на использовании плохо отлаженного или устаревшего оборудования, на продаже продукции после истечения ее нормативного срока реализации, при использовании для жарки некачественного фритюра, используя в приготовлении продукции просроченные ингредиенты, не соблюдая правила и нормы гигиены и т.д.

Вместе с этим, совершенно очевидно, что такие переменные (1), как время до реализации продукции  $t_r$ , количество циклов нагрева масла  $n$ , время хранения сырья  $t_h$  – являются случайными величинами, зависящими от добросовестности работников ПБО.

Таким образом, весьма актуальной является задача оценки степени влияния возможной недобросовестности работников ПБО на качество и экологическую безопасность различных видов продукции быстрого питания. При этом представляется оправданным количество вредных веществ определять в функции указанных случайных величин.

Рассмотрим построение математических моделей накопления вредных веществ для оценки безопасности продукции питания ПБО.

$$S(t_r) = S_0 \left( 2^{\frac{t_r}{a}} - 1 \right), \quad (3)$$

Первый член в (1) определяет количество вредных веществ в зависимости от времени до реализации продукции  $t_r$ . Это время, как случайную величину в работе предложено представить распределением Вейбулла с плотностью вероятности

$$f(t_r) = \frac{b}{a} \left( \frac{t_r}{a} \right)^{b-1} \cdot e^{-\left( \frac{t_r}{a} \right)^b}, \quad (4)$$

где  $a$  и  $b (b > 1)$  – константы распределения, подбираемые опытным путем для различной степени добросовестности.

Количество вредных веществ в продукте определено слагаемым

$$S(n) = n^c. \quad (5)$$

Для случайной величины  $n$  принято экспоненциальное распределение с плотностью вероятности

$$f(t_i) = \lambda e^{-\lambda t_i}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – константа распределения ( $\lambda=1$ ), зависящая от добросовестности.

Третий член выражения (1) определяет количество вредных веществ в продукте ПБО в зависимости от времени хранения исходного сырья в виде

$$S(t_{hi}) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{\frac{t_{hi}}{T_i}}, \quad i=1,2,\dots,\omega. \quad (7)$$

Для времени хранения в этом случае может быть использовано нормальное распределение с плотностью вероятности

$$f(t_{hi}) = \frac{1}{S \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_{hi}-t_{hi}^0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины, зависящее от добросовестности.

Аппарат теории вероятности [3] позволяет при отсутствии конкретных статистических данных использовать не распределения случайных величин, а их оценки, в частности, в виде математических ожиданий.

Математическое ожидание функции от случайной величины предложено определять в виде

$$M = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) f(x) dx, \quad (9)$$

где  $\varphi(x)$  – функция от некоторой случайной величины  $x$  (например, функции (3), (5), и (7));  $f(x)$  – плотность вероятности распределения некоторой случайной величины  $x$  (например (4), (6) и (8)).

Тогда математическое ожидание количества вредных веществ в зависимости от случайного параметра – времени до реализации  $t_r$ , согласно (3) и (4), будет

$$M_{S_r} = \int_0^{\infty} S_0 \left( 2^{\frac{t_r}{T_0}} - 1 \right) \frac{b}{a} \left( \frac{t_r}{a} \right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t_r}{a}\right)^b} dt_r. \quad (10)$$

Математическое ожидание количества вредных веществ в зависимости от случайного параметра количества предшествующих циклов нагрева, используемого для жарки фритюрного масла  $n$ , в соответствии с (5), (6) и (9), будет иметь вид

$$M_{S_n} = \int_0^{\Gamma} n^c \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda n} dn. \quad (11)$$

Математическое ожидание количества вредных веществ в зависимости от случайного параметра времени хранения используемого компонента рецептуры  $t_{hi}$  в соответствии с (7), (8) и (9)

$$M_{S_n} = \int_0^{\sigma} \sum_{i=1}^{\sigma} A_i \cdot e^{\frac{t_{ni}}{\sigma}} \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_{ni}-t_{ni})^2}{2\sigma^2}} dt_{ni} \quad (12)$$

Далее, на основании теоремы сложения математических ожиданий и независимости случайных событий, находится математическое ожидание общего количества вредных веществ в продукте ПБО в зависимости от рассматриваемых случайных факторов  $t_r$ ,  $n$  и  $t_{ni}$

$$M_S = M_{S_r} + M_{S_n} + M_{S_{ni}} \quad (13)$$

Это дает возможность определения математического ожидания количества вредных веществ, как по каждому случайному определяющему фактору, так и по сумме факторов. Таким образом, для обобщенной оценки качества и безопасности в вероятностной постановке предложено использовать коэффициент безопасности, где используется не величина количества вредных веществ (1), а ее математическое ожидание (13)

$$K_b = \frac{d^2}{2M_S} \quad (14)$$

Такое представление обеспечивает возможность как выполнения анализа безопасности конкретного вида продукции ПБО в зависимости от определяющих факторов прогнозирования качества и экологической безопасности продукции, так и сравнение вероятности безопасности различных видов продукции ПБО друг с другом для определения ассортиментной политики.

По предлагаемой детерминированной методике был проведен расчет коэффициента безопасности для 100 популярных блюд ассортимента ПБО. Расчеты позволили обосновать критерии качества:

– при начальном значении  $K_b > 1$  блюда отнесены к разряду безопасных, для них не предусмотрены ограничения по включению в ассортимент предприятия;

– для блюд, имеющих начальное значение в пределах  $0,65 < K_b < 1$ , введены ограничения на использование в ассортименте ПБО и выработаны рекомендации по производству только в специализированных ПБО (блинные, пиццерии, пирожковые и т.д., где продукция подается «с огня»). Такие блюда отнесены к разряду «вызывающие опасение»;

– блюда, имеющие начальное значение  $K_b < 0,65$ , отнесены к разряду потенциально опасных и их изготовление рекомендовано только в домашних условиях для личного употребления и не рекомендовано на ПБО.

Моделирование процессов накопления вредных веществ выполнялось в системе *mathcad*. В качестве  $S_0$  использовалось суммарное количество предельно допустимых содержаний вредных веществ [4] (пищевых токсинов). В процессе проведения расчетных исследований было установлено, что наибольшее влияние среди выбранных определяющих факторов имеет качество используемого фритюра, что подтверждено экспериментально [5]. Для фритюра на ПБО рекомендованы масла, получаемые по низкотемпературным экструзионным технологиям (перекисное число не более 0,4 мэкв активного  $O_2$ /кг, содержание полярных продуктов не более 25–27 %, и анизидиновое число не более 3 условных единиц).

Расчеты, проведенные по вероятностной методике, подтверждают правильность обоснования критериев. Блюда, отнесенные к разряду безопасных, сохраняют  $K_b$  на уровне не менее 0,65 даже при значительной недобросовестности работников ПБО.

### *Список литературы*

1. Артемова, Е.Н. Основы технологии продукции общественного питания / Е.Н. Артемова. – М. : КНОРУС, 2008. – 336 с.
2. Бойко, Р.С. Критерии оценки качества и безопасности продукции предприятий быстрого питания / Р.С. Бойко // Вестник СибГАУ им. акад. Решетнева. – 2008. – В.1 (18). – С. 203–208.
3. Венцель, Е.С. Теория вероятности / Е.С. Венцель. – М. : Государственное изд. Ф-М. литературы, 1962 – 563 с.
4. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. – М. : ЗАО «РИТЭК-ПРЕСС», 2002. – 196 с.
5. Лисицын, А.Н. Окислительная деструкция растительных масел под воздействием высоких температур / А.Н. Лисицын, В.Н. Григорьева, Т.Б. Алымова, Л.Н. Журавлева // Масложировая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 2–5.
6. Позняковский, В.М. Гигиенические основы питания, качество и безопасность пищевых продуктов / В.М. Позняковский. – Сиб. Унив. Изд-во, 2005. – 522 с.

## **Mathematical Models of Ecological Safety Estimation of Fast Food Places**

**R.S. Boiko**

*Sibir State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk*

**Key words and phrases:** fast food safety; laws of probability density function; mathematical models; average of distribution.

**Abstract:** Determined and probabilistic models of evaluation of ecological safety of fast food places with regard for main factors lowering the quality and safety of food are developed.

© Р.С. Бойко, 2009