

## Моделирование процесса пастеризации методами системного анализа с применением функционально-рискового анализа

*О.Ю. Коваленко<sup>1</sup>, Е.С. Ряряева<sup>1,2</sup>, М.В. Яшков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *«Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,*

<sup>2</sup> *ООО Испытательный центр «Оптикэнерго»*

**Аннотация:** Статья посвящена изучению возможности применения методов системного анализа при моделировании процесса пастеризации молока. В работе рассмотрены структурно-параметрические, функционально-операторные, информационные и модели целевого управления для удобного «описания» процесса пастеризации. Полученные модели и их коэффициенты, описывающие процесс пастеризации, основанные на методах системного анализа, подходят для практического решения задачи управления производственным процессом. Авторы применили функционально-рисковый анализ и идентифицировали риски пастеризации молока.

**Ключевые слова:** системный анализ, пастеризация, молоко, риск, моделирование, процесс, функционально-рисковой анализ, системный анализ, модель, производство.

Производство и переработка пищевой продукции является сложной и ответственной деятельностью (системой), так как напрямую влияет на жизнь и безопасность потребителя этой продукции. Специалисты, сталкивающиеся с реалиями пищевого производства, знают, что поведение этого процесса сравнимо с поведением живого организма и управлять им непросто. Задачи управления производством молока и молочной продукции сводятся к определению влияния друг на друга, и в целом на технологию производства множества факторов, а так же их мониторинг, анализ и поддержание в определенных границах. Задачу выявления, описания и нахождения зависимостей факторов можно решить с помощью методов системного анализа. В работе [1] автор указывает, что в литературе недостаточно примеров использования методов системного анализа на промышленных предприятиях, с чем мы согласны и в рамках этой статьи эту проблему решаем.

В функционально-рисковом анализе выделяют три типа проблем:

- хорошо структурированные проблемы;
- слабоструктурированные проблемы;

- неструктурированные проблемы.

Два последних типа проблем, являются рисками процесса, которые должны идентифицироваться и находится в управляемом состоянии на любом производстве.

Важной процедурой в системном анализе считается моделирование - процесс исследования реальной системы, который заключается в построении обобщённой модели, отображающей основные характеристики, процессы, и взаимосвязи реальной системы [2]. Определение понятия модель представленное автором [3] возьмем за основу. Итак, моделью служит система «Переработка молока», которая в свою очередь является элементом более крупной системы «Производство, переработка и реализация молока» и, в то же время, имеет свои подсистемы, в частности, нас будет интересовать этап «Пастеризация молока». При построении модели есть возможность отобразить элементы модели и детализировать ее так, чтобы выделить необходимые признаки и особенности системы для наиболее лучшего понимания ее работы и возможности управления.

К сожалению, нет единой общепринятой классификации методов системного анализа. В качестве примера можно привести следующие классификации из работы [4], где они делятся на четыре группы: неформальные, графические, количественные и моделирования. Отдельного внимания заслуживают модели «вход - выход» так как являются наиболее удобным для применения классом моделей, понятно описывающим источники и результаты процесса. Такие модели можно разделить еще на четыре группы: *структурно-параметрические, функционально-операторные, информационные и модели целевого управления.*

Основные элементами модели «Пастеризация молока» представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Описание параметров системы $y$

№ п/п	Наименование элемента	Единица измерения	Норма по ТР ТС «О безопасности молока и молочной продукции» № 033-2011.
1	Микробиологические показатели КМАФАнМ в сыром молоке	КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^5$
2	Микробиологические показатели КМАФАнМ после пастеризации	КОЕ/г	Не более $1 \cdot 10^5$
3	Температура хранения сырого молока после доения	$^{\circ}\text{C}$	$4 \pm 2$
4	Время хранения сырого молока до начала переработки	ч	36
5	Температура цикла пастеризации	$^{\circ}\text{C}$	$95 \pm 2$
6	Продолжит. выдержки паст. молочной смеси	сек	300

Каждая группа моделей имеет свой способ описания[5]. Схематическое изображение модели вход - выход процесса пастеризации представлено на рис. 1.

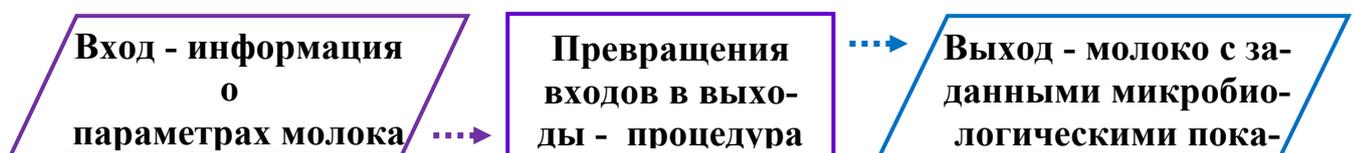


Рис.1 - схема модели «вход - выход» процесса пастеризации

Структурно - параметрическая модель:

В структурно - параметрической модели результат (выход) системы  $y$  представляется в виде функции, представленной ниже, зависящей от элементов системы (их характеристик, переменных)  $x_i$  и отношений между ними  $R_{ik}$ :

$$y = f(x_i, R_{ik}), i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n \quad (1.1)$$

где  $x_i$  - время хранения сырого молока, температура и время пастеризации;  $R_{ik}$  - контролируемый уровень количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (далее КМАФНМ) измеряющийся в колониеобразующих единицах в 1 грамме сырого молока (далее КОЕ/г).

Плюс применения этой модели в том, что система может быть описана максимально подробно при известных  $x_i$  и  $R_{ik}$ . Наиболее известная модификация представляется как линейная комбинация аргументов и их взаимодействий разного порядка. Тогда (1.1) принимает вид:

$$y = a_i + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m b_{ik} x_i x_k + \dots \quad (1.2)$$

Выражение (1.2) в простейшем случае может быть записано в виде разложения в ряд Тейлора. Для описания процесса пастеризации нами предлагается следующая модель в виде:

$$y = (a_1 + b_0 \cdot t_{01}^{\gamma} + b_1 \cdot t_{01}^{\gamma}) \cdot \exp\left(-\frac{t-t_{01}}{\tau}\right),$$

где  $a_1$  - коэффициент, зависящий от условий окружающей среды на ферме и здоровья дойных коров, выражается в тех же единицах, что и  $y$  (КОЕ/г);

$b_0$  - коэффициент, зависящий от времени поступления последней партии молока;

$b_1$  - коэффициент, зависящий от температуры хранения сырого молока;

$x_i = (t_{01}^{\gamma})$  - степенная функция времени;

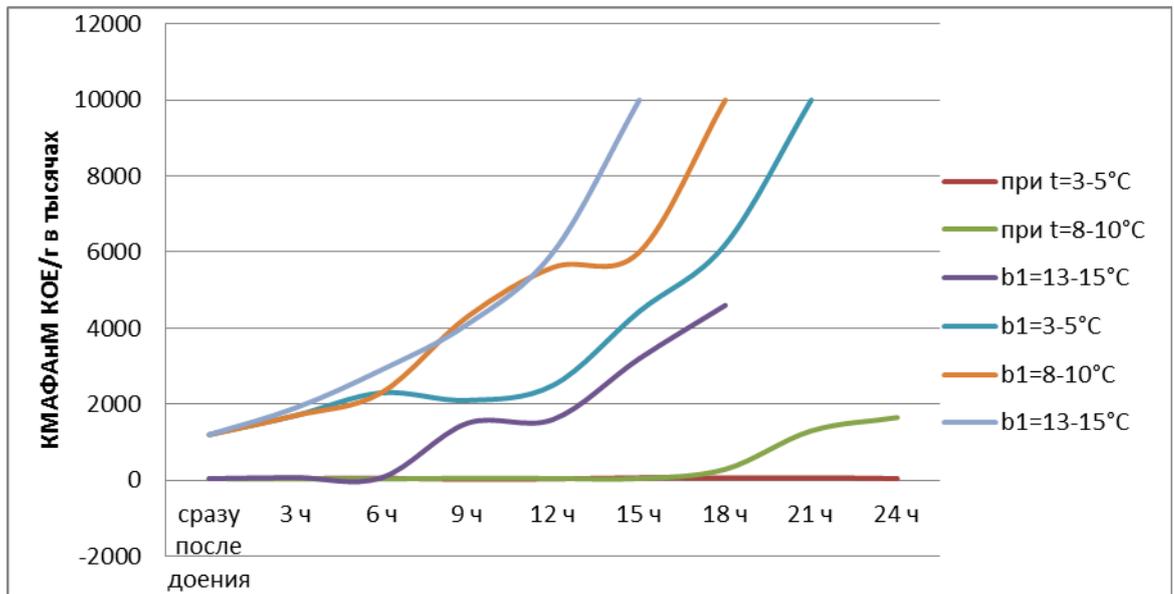


Рис. 2 - зависимость уровня КМАФАнМ (КОЕ/г) от времени и температуры хранения сырого молока.

$$x_k = \exp\left(-\frac{t-t_{01}}{\tau}\right)$$

- экспоненциальная функция времени;  $\tau$  - постоянная времени процесса пастеризации молока.

ная времени процесса пастеризации молока.

На рис. 2 изображен график зависимости уровня КМАФАнМ ( $y$ ) от аргументов при известном  $b_1$ . Для построения графика использовались материалы исследования [6] и [7]. Предлагаемая модель представляет собой произведение линейной комбинации функции времени при известном значении времени хранения и экспоненциальной функции времени процесса переработки. Из график видно, что оптимальные режимы хранения сырого молока в течение 24 часов при температуре хранения  $t = 3 - 5$  °C и  $t = 8 - 10$  °C, остальные режимы привели к скисанию молока, поэтому влияние на показатели КМАФАнМ (КОЕ/г) при режимах пастеризации рассмотрим только на двух оставшихся графиках (рис. 3).

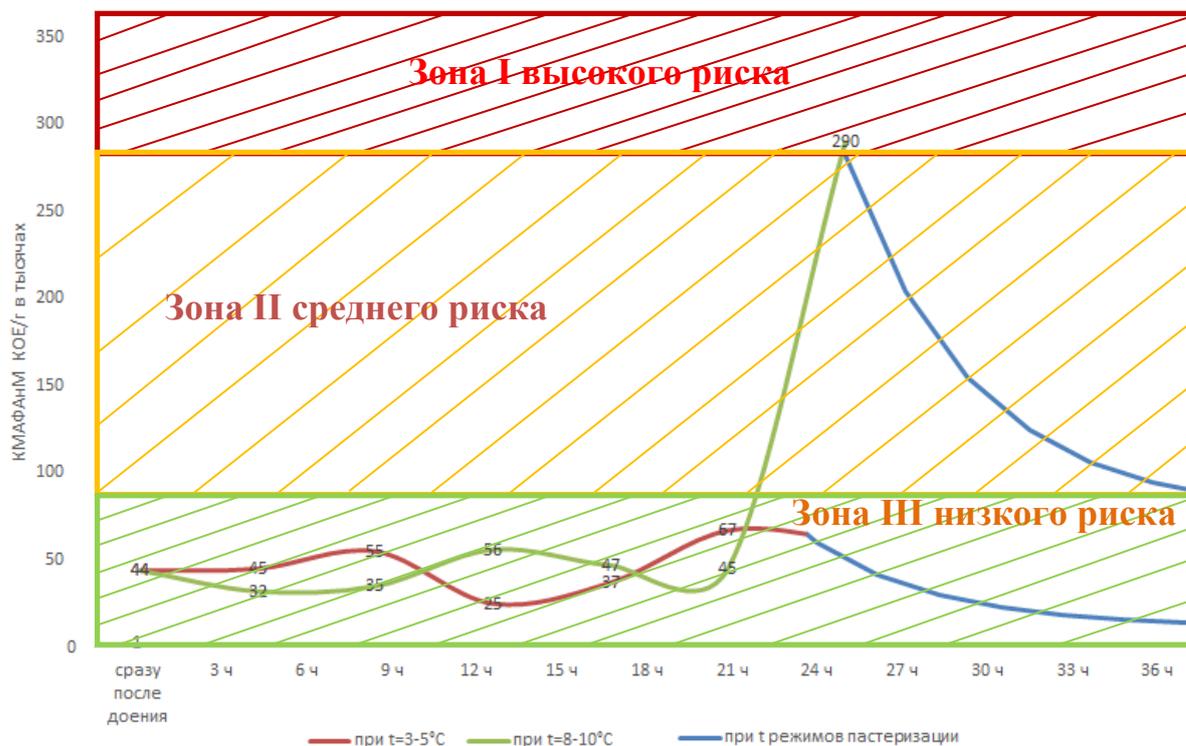


Рис.3- зависимость уровня КМАФАнМ (КОЕ/г) от времени и температуры хранения сырого молока и параметров пастеризации.

Как видно, на графике выделяется три области распределения параметров процесса пастеризации, выход в область III, сигнализирует о том, что процесс пастеризации при заданных параметрах не будет успешен, входы не преобразуются в нужные выходы и вероятность негативного влияния на потребителя такой продукции многократно возрастает, что недопустимо.

Тут можно сделать вывод, что с помощью методов системного анализа идентифицирован риск, неуправляемость которого приведет к тяжелым последствиям. Методика определения значимости риска представлена в [8, 9]. Риски, ограниченные зоной I (обозначено зеленым штрихом), относят к допустимыми и мероприятия по управлению ими не разрабатываются. Рисками из зоны II (обозначено желтым штрихом), необходимо управлять, а меры по их управлению должны подвергаться постоянному мониторингу на предмет

их эффективности. Зона III (обозначено красным штрихом)- это риски высокого уровня значимости, которые требуют принятия незамедлительных мер управления вплоть до отказа от вида деятельности, связанного с риском.

Описание функционально - операторной модели:

$y$  - результат пастеризации молока (система);  $R_n$  - требования (операторы), предъявляемые к процедуре пастеризации молока (по Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013); требования к сырому молоку.

На функционально - операторной модели технологической системы могут быть показаны входные, выходные, управляющие и возмущающие параметры (например, температура, влажность, плотность, кислотность, органолептические показатели и т.п.).

Описание информационной модели:

$I_{1i}, I_{2i}$  - документация, регламентирующая процесс производства молока и молочной продукции; средства измерений, применяющиеся в данной системе  $y$ ;  $F_1, F_2$  - регламентируемые технические требования (характеристики);  $n$  - порядок организации обработки данных, определяемый объемом изготавливаемой продукции;  $K$  - критерии, определяющие критические контрольные точки для остановки процесса в случае возникновения технологических неисправностей (превышение температуры, давления, попадание посторонний включений в молоко).

Параметры информационной модели представлены в таблице 2.

Таблица №2

Параметры информационной модели

№ п/п	Наименование параметра	СИ	НД на методику измерения	НД с установленной нормой
1	Физико-химические	анализатор молока «Клевер»	ГОСТ 25179-2014 Молоко и молоч-	ТР ТС «О безопасности моло-



			ные продукты. Методы определения массовой доли белка	ка и молочной продукции» № 033-2011.
2	Уровень азота	аппарат Кьельдаля	ГОСТ 23327-98 Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка	ТР ТС «О безопасности молока и молочной продукции» № 033-2011.
3	Плотность молока	ареометры для молока типа АМ или типа АМТ, ареометры общего назначения типа АОН-1 или типа АОН-2, цилиндры для ареометра - Производитель: завод «Шат-лыгин и К», г.Харьков.	ГОСТ Р 54758-2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности	ГОСТ 31449-2013 Молоко коровье сырое. Технические условия
4	Кислотность (Водородный показатель)	pH-метр «Нитрон»	ГОСТ Р 54669 - 2011 Молоко и продукты пере-	ТР ТС «О безопасности молока и молочной

---

---

			работки молока. Методы опреде- ления кислотно- сти	продукции» № 033-2011.
--	--	--	---	---------------------------

Для модели целевого управления важно правильно определить цели с указанием наименования цели, способа измерения конечного результата, срока исполнения, необходимых ресурсов и ответственно за выполнени.

Для модели целевого управления результат функционирования (выход) системы представляется в виде:

$$y = F(C_i, Y_j, O_k), i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, l; k = 1, \dots, n,$$

где  $C_i$  - набор целей,  $Y_j$  - набор условий,  $O_k$  - набор ограничений, определяемые как самой системой, так и внешними системами. Этот тип модели соответствует макроописанию системы.

Описание модели целевого управления:

$C_i$  - планирование и организация производства, объёмов производства;  $Y_j$  - требования ТУ, ГОСТ, Технических регламентов;  $O_k$  - меры и процедуры для предотвращения и устранения неисправностей (коррекция, корректирующие действия, предупреждающие действия).

### Выводы

Построение структурно - параметрических моделей в рамках системного анализа можно отнести к работе по нахождению неопределенностей, влияющих на конечный результат. Их математическое описание не что иное, как процедура идентификации рисков пастеризации молока [10]. Таким образом, системный анализ может найти применение в области практического решения задач управления производственными процессами.

## Литература

1. Лаптев П. В. Моделирование системы контроллинга на промышленном предприятии // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: [ivdon.ru/ru/archive/n2y2012/854](http://ivdon.ru/ru/archive/n2y2012/854).
2. Боргоякова Т.Г., Лоцицкая Е.В. Системный анализ и математическое моделирование // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: [ivdon.ru/ru/archive/n1y2018/4763](http://ivdon.ru/ru/archive/n1y2018/4763).
3. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа /- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия - Телеком, 2012 .- 210 с.
4. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. - М.: Экономика, 1975.- 88 с.
5. Романов В.Н. Основы системного анализа: / учебно-методический комплекс. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. - 298 с.
6. Банникова Л.А., Королева Н.С., Семенихина В.Ф. Микробиологические основы молочного производства.- М.: Агропромиздат, 1987. - 400 с.
7. Scott R., Robinson R.K., Wilbey R.A. Cheesemaking Practice, 2005. 464 p.
8. Ряряева Е. С. Программное обеспечение для процедуры СМК «Управление рисками». Материалы # 7 (973) 2018 Международного журнала для специалистов по стандартизации и управлению качеством. Издательство: РИА «Стандарты и качество», 2018. С. 102. URL: [ria-stk.ru/stq/adetail.php?ID=169703](http://ria-stk.ru/stq/adetail.php?ID=169703).
9. Ряряева Е. С., Шекера О. Б. Метод оценки и управления рисками как реализация требований международных систем менеджмента качества. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XIII Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Саранск, 15-16 марта 2017 г.) в рамках IV Всеросс. светотехн. фо-



рума / редкол.: О. Е. Железникова (отв. ред.) [и др.]; МГУ им. Н. П. Огарёва. - Саранск: Издатель Афанасьев В. С, 2017. С. 492-495.

10. Thomas P.J. Measuring risk-aversion: The challenge Safety Systems Research Centre, Queen's School of Engineering, University of Bristol, Queen's Building, University Walk, Clifton BS8 1TR, United Kingdom. 2016. pp.285-301.

### References

1. Laptev P. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/archive/n2y2012/854.
2. Borgoyakova T.G., Lozitskaya E.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №1. URL: ivdon.ru/ru/archive/n1y2018/4763.
3. Kachala V.V. Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza [Fundamentals of systems theory and system analysis]. 2-e izd, ispr. M.: Goryachaya liniya. Telekom, 2012. 210 p.
4. Chernyak Y.I. Sistemnyy analiz v upravlenii ekonomikoi. [System analysis in economic management]. M.: Ekonomika, 1975. 88 p.
5. Romanov V.N. Osnovy sistemnogo analiza [Basics of system analysis]: uchebno-metodicheskiy kompleks. SPb.: Izd-vo CZTU, 2011. 298 p.
6. Bannikova L.A., Koroleva N.S., Semenikhina V.F. Mikrobiologicheskie osnovy molochnogo proizvodstva. [Microbiological basis of milk production]. M.: Agropromizdat, 1987. 400 p.
7. Scott R., Robinson R.K., Wilbey R.A. Cheesemaking Practice, 2005. 464 p.
8. Ryaryaeva E. S. Materialy # 7 (973) 2018 Mezhdunarodnogo zhurnala dlya spetsialistov po standartizatsii i upravleniyu kachestvom. Izdatel'stvo: RIA «Standarty i kachestvo», 2018. p. 102. URL: ria-stk.ru/stq/adetail.php?ID=169703.
9. Ryaryaeva E. S., Shekera O. B. Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki, elektrotekhniki i energetiki: materialy XIII Vseross.



nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem (Saransk, 15-16 marta 2017 g.) v ramkakh IV Vseross. svetotekhn. Foruma, redkol: O. E. Zheleznikova (otv. red.) [i dr.]; MGU im. N. P. Ogareva. Saransk: Izdatel' Afanas'yev VS., 2017. pp. 492-495.

10. Thomas P.J. Measuring risk-aversion: The challenge Safety Systems Research Centre, Queen's School of Engineering, University of Bristol, Queen's Building, University Walk, Clifton BS8 1TR, United Kingdom. 2016. pp.285-301.