

УДК 67.02

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВХОДНЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЯИЦ

Агафоновичев В.П., начальник ЦВТ, д-р техн. наук

Петрова Т.И., ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

Кругалев С.С., заведующий лабораторией

Дмитриенко И.С., младший научный сотрудник

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности (ГНУ ВНИИПП)

Аннотация: В статье дан анализ технологического процесса переработки яиц с целью выявления зависимостей между его входными и управляющими параметрами и конечными свойствами яичных продуктов.

Summary: The analysis of egg processing technologic process has been given in the paper for the interactions revealing between it input and operating parameters and egg product final properties.

Ключевые слова: переработка яиц, яичные продукты, системный подход, входные, управляющие, выходные параметры.

Key Words: egg processing, egg products, systemic approach, input, operating, output parameters.

Известно, что эффективно решать задачи по разработке и совершенствованию технологических процессов можно путем системного подхода.

При системном подходе объект исследований (исследуемый процесс) должен быть представлен в

виде системы, имеющей вход, выход и управляющие параметры (рис. 1).

Математическая форма зависимости между входными, управляющими и выходными параметрами процесса отражена в математической модели. Анализ научно-технической литературы свидетельствует

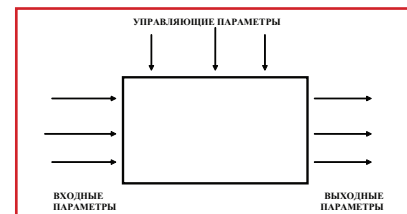


Рис. 1. Схема процесса

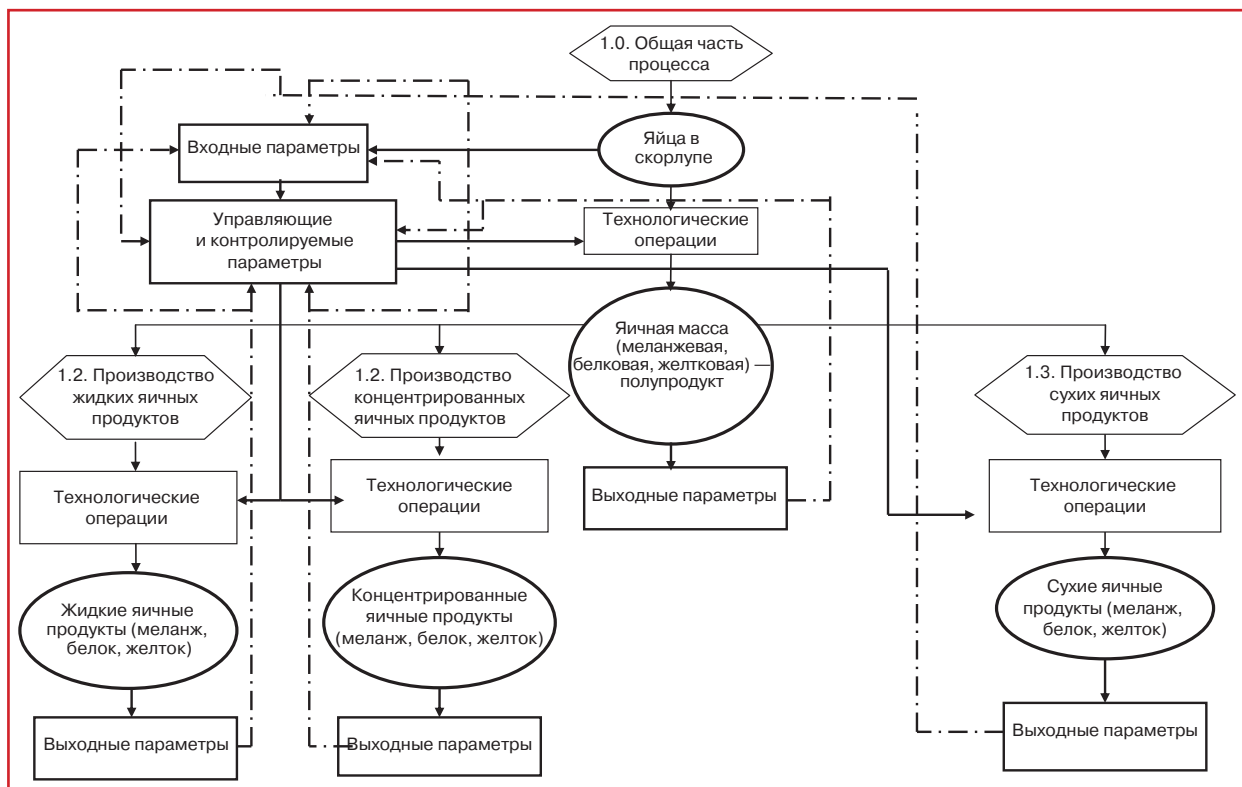


Рис. 2. Технологический процесс производства яичных продуктов (блок-схема)



о наличии работ по математическому моделированию различных технологических процессов в пищевой области [1–6].

В соответствии с системным подходом представим технологический процесс переработки куриных яиц в виде укрупненной схемы, включающей следующие блоки (рис. 2):

1. Общая часть процесса:
 - 1.1 Производство жидких яичных продуктов.
 - 1.2 Производство концентрированных яичных продуктов.
 - 1.3 Производство сухих яичных продуктов.

На входе в данную систему (подсистему 1) поступают яйца в скорлупе, которые характеризуются определенным комплексом параметров: номером партии; продолжительностью хранения; рН компонентов яйца (меланжевой, белковой и желтковой массы); содержанием сухих веществ в компонентах яйца; температурой яиц; температурой воздуха и его влажностью при предварительном хранении яиц.

Выход подсистемы 1 является одновременно входом подсистем 1.1; 1.2;

1.3 и характеризуется следующими параметрами: рН компонентов яйца (меланжевой, белковой и желтковой массы); содержанием сухих веществ в компонентах яйца; температурой, содержанием желтка в белковой массе.

Каждый технологический процесс (подсистемы 1.1; 1.2; 1.3) имеет на выходе свои конечные продукты: соответственно жидкие, концентрированные и сухие, свойства которых (выходные параметры указанных процессов) должны соответствовать требованиям стандарта и/или – заказчика.

Представленный укрупненный технологический процесс управляется и контролируется параметрами технологических операций, входящих в состав каждого блока.

Целью работы является повышение степени управляемости технологического процесса переработки яиц, которая основывается на знании механизма взаимодействия его входных, управляющих и выходных параметров. Выявление этих связей позволяет целенаправленно влиять на ход технологического процесса для обеспечения заданных свойств конечной продукции.

Для достижения указанной цели необходимо решить задачу по преобразованию исходной информации в управляющие сигналы (руководящие действия) для конкретных этапов технологического процесса.

Эффективное управление технологическим процессом возможно лишь при наличии его математического описания. Если же оно отсутствует, то единственная возможность изучения объекта управления заключается в его экспериментальном исследовании.

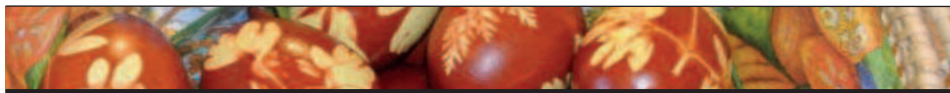
С этой целью реальный объект необходимо оснастить измерительными средствами и выполнить достаточно большой объем экспериментов, результаты которых носят локальный характер, затрудняющий распространение полученного опыта даже на аналогичные производства.

Для выявления значимых параметров технологического процесса переработки яиц, определяющих конечные свойства продукции, был выполнен анализ его алгоритма. Значимые параметры основных этапов технологического процесса переработки куриных яиц приведены в *таблице*.

Таблица

Значимые параметры основных этапов переработки яиц

Этап технологического процесса	Значимые параметры
Поступление яиц на переработку	Номер партии; продолжительность хранения яиц; рН компонентов яиц (меланжа, белковой и желтковой массы); содержание сухих веществ в компонентах яиц; температура яиц; температура и влажность воздуха при предварительном хранении яиц.
Санитарная обработка поверхности скорлупы яиц	Температура воды и моющедезинфицирующих растворов, продолжительность санитарной обработки, концентрация растворов, рН воды, состояние скорлупы, микробиологические показатели.
Разбивание скорлупы яиц, извлечение содержимого и разделение (при необходимости) на белок и желток	Состояние скорлупы, температура воздуха в помещении, температура содержимого разбиваемых яиц, доля желтка в белке после их разделения.
Пастеризация яичной массы: меланжевой, белковой, желтковой	Вязкость, количество сухих веществ, рН, глубина процесса ферментирования, микробиологические показатели.
Выход жидких яичных продуктов (меланжа, белка, желтка)	Номер партии, даты выработки и фасовки, температура продукта, органолептические, физико-химические, микробиологические показатели продукции, их соответствие требованиям нормативной документации.
Замораживание яичных продуктов (меланжа, белка, желтка)	Номер партии, даты выработки и фасовки, температура продукта, органолептические, физико-химические, микробиологические показатели продукции, их соответствие требованиям нормативной документации, температура воздуха в морозильной камере, продолжительность замораживания.
Сушка жидких яичных продуктов (меланжа, белка, желтка)	Номер партии, даты выработки и фасовки, начальная и конечная температура продукта; температура теплоносителя на входе в сушилку и выходе из нее; конечная влажность продукта; гранулометрический состав сухого продукта; соответствие качества и безопасности продуктов требованиям нормативных документов или заказчика.
Термообработка яичного сухого белка	Номер партии, даты выработки и фасовки, температура воздуха в термокамере, продолжительность термообработки, соответствие качества и безопасности продуктов требованиям нормативных документов или заказчика.



После выявления значимых параметров технологического процесса переработки яиц была определена структура их взаимных связей.

Входная информация (входные параметры) используется для обеспечения целенаправленного управления процессами: например, ферментирования (рН меланжевой, белковой и желтковой массы), нормализации и купажирования состава готового продукта (содержание сухих веществ в компонентах яйца), пастеризации (рН меланжевой, белковой и желтковой массы, их вязкость), сушки (рН объекта сушки и его вязкость).

Оперативный анализ входной информации позволит своевременно вносить необходимые коррективы в ход технологического процесса с целью предотвращения появления нестандартной продукции на выходе. Например, обнаружение недопустимо высокого содержания желтка в белковой массе, ухудшающее функциональные свойства белка, позволит изменить область использования нестандартного полуфабриката и отрегулировать работу яйцеразбивальной машины, а знание концентрации сухих веществ в компонентах яйца на входе процесса позволит в случае необходимости нормализовать состав готовой продукции.

Установлено, что один из важных показателей яичных продуктов — растворимость — определяется следующими параметрами:

- продолжительностью хранения сырья,
- обессахариванием (белка),
- режимом пастеризации (скоростью нагрева и охлаждения продукта, максимальной величиной температуры нагрева продукта и продолжительностью ее воздействия на продукт),
- значением максимальной температуры продукта в ходе его сушки и продолжительностью ее воздействия,
- конечной влажностью высушенного продукта,
- скоростью охлаждения продукта после окончания сушки,
- условиями и продолжительностью хранения.

Данные параметры можно систематизировать следующим образом:

- входной параметр — продолжительность хранения сырья;
- управляющие параметры — обессахаривание белка, режимы пастеризации, максимальная температура продукта в ходе сушки, длительность ее воздействия, скорость охлаждения высушенного продукта, условия и продолжительность хранения;
- выходные параметры — конечная влажность продукта и его растворимость.

Указанные параметры влияют на растворимость сухих яичных продуктов следующим образом. Например, с потерей свежести рН яичного меланжа сдвигается в сторону увеличения, что приводит к усилению процесса денатурации. В результате после сушки растворимость продукта снижается. В ходе сушки, по мере уменьшения влажности продукта, повышается его устойчивость к воздействию температуры. Например, пороговой величиной (после которой устойчивость существенно возрастает) для белка является влажность 35–40%, а для меланжа — 20–25%. Температура продукта оказывает существенное влияние на растворимость сухого продукта. Например, продукт, высушенный в диапазоне температур 50–60°C, имеет меньшую растворимость, чем продукт, высушенный при 45–50°C. Снижение растворимости сухих яичных продуктов может быть скомпенсировано путем внесения в жидкий продукт перед сушкой лактозы или некоторых аминокислот.

Эффект пастеризации во многом зависит от равномерности температурного поля в объекте пастеризации. При движении яичных продуктов в пастеризаторе по трубам или пластинам распространение тепла от слоя к слою происходит благодаря теплопроводности. При этом существует неравномерность распределения температуры в объекте пастеризации за счет перепада по толщине слоя продукта. Величина перепада в первую очередь зависит от теплопроводности продукта и толщины слоя, которая определяется вязкостью. От-

сюда следует, что с целью повышения эффекта пастеризации необходимо снижать вязкость продукта (при этом уменьшится толщина слоя), а также повышать температуру пастеризации (в пределах допустимых значений) путем использования специальных добавок к продукту.

Информационно-управляющие сигналы передаются как по ходу технологического процесса, так и против его хода (обратная связь — корректирующие действия). Обратная связь показана на *рисунке 2* пунктирными линиями.

По мере прохождения яичной массой технологического процесса на каждом этапе должны оперативно составляться документы, отражающие его фактические параметры.

В результате систематизации полученной информации можно определить структуру связей параметров процессов, формирующих функциональные свойства яичных продуктов (*рис. 3*).

Необходимо отметить, что задача управления формированием функциональных свойств яичных продуктов, в частности пенообразования, пока находится в стадии решения в связи с отсутствием фундаментальных теоретических исследований и сложностью изучаемых объектов [7].

В настоящее время нами разработан ряд математических моделей, позволяющих обеспечивать заданные конечные свойства некоторых яичных продуктов.

Например, допустим, требуется увеличить массовую долю сухих веществ в жидком яичном меланже до заданного значения. Необходимо определить количество яичного желтка, которое следует добавить в исходный меланж для получения продукта с заданным содержанием сухих веществ.

Инструментом для решения данной задачи служит аналитическая зависимость, описывающая связь между содержанием сухих веществ в исходном меланже и в яичном желтке, используемом в качестве добавки к исходному меланжу, массой добавляемого желтка и заданным содержанием сухих веществ в полученном купажированном яичном продукте.

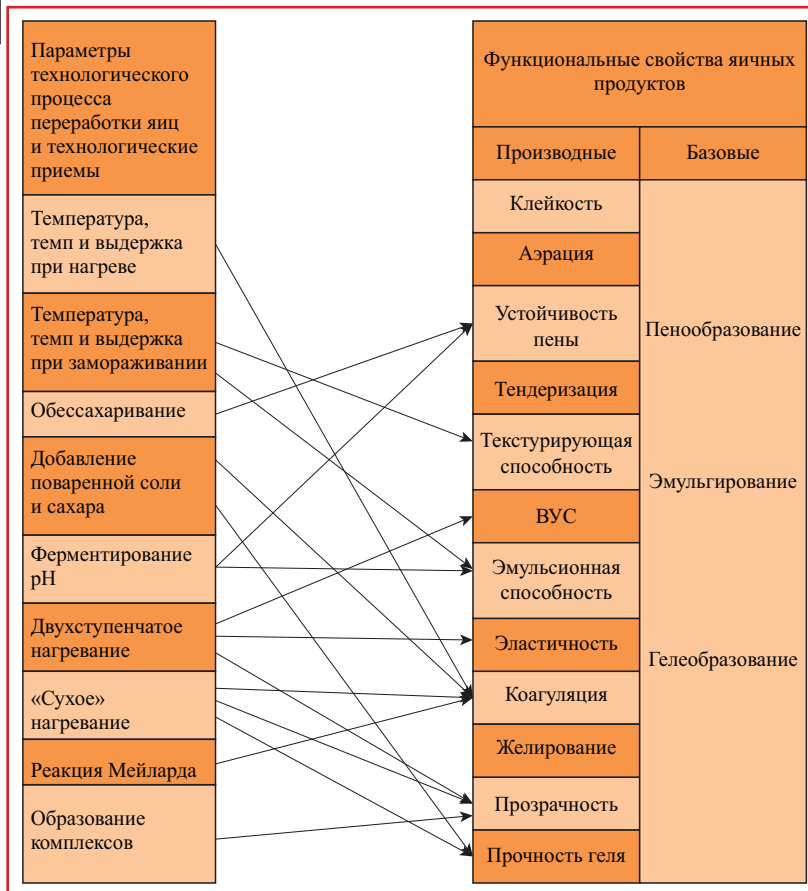


Рис. 3. Структура связей параметров процессов, формирующих функциональные свойства яичных продуктов

Указанная формула имеет следующий вид:

$$M_{ж} = M_{м} \times (P_{м.с.в.} - P_{см.с.в.}) : (P_{см.с.в.} - P_{ж.с.в.})$$

где: **Мж** — масса яичного желтка, добавляемого в исходный меланж с целью получения купажированного яичного продукта с заданным содержанием массовой доли сухих веществ (**Псм.с.в.**).

Мм — масса исходного яичного меланжа.

Пм.с.в. — массовая доля сухих веществ в исходном меланже, %.

Псм.с.в. — массовая доля сухих веществ в купажированном яичном продукте, %.

Пж.с.в. — массовая доля сухих веществ в яичном желтке, который используется в качестве добавки, %.

Индексы: **м** — меланж; **с.в.** — сухие вещества; **ж** — желток; **см.** — смесь.

Предложена также математическая модель варки яичного рулета [8], которая описывает связь пяти

параметров процесса варки: диаметра и длины объекта, его начальной температуры, температуры греющей воды и конечной температуры в центре объекта. Она позволяет по заданным любым четырем параметрам определять значение пятого.

Поскольку в основу данной модели положены физические закономерности и объект варки характеризуется только физическими величинами (без использования эмпирических коэффициентов), она может применяться для расчета процесса варки продуктов цилиндрической формы различного состава с известными теплофизическими свойствами компонентов и заданными (либо реальными) геометрическими размерами объекта.

Таким образом, анализ технологического процесса производства яичных продуктов позволил определить комплекс значимых для формирования конечных свойств продукции параметров, осуществить их систематизацию на входные, управляющие и

выходные, а также выявить их взаимосвязи, позволяющие прогнозировать конечные свойства продукции на качественном и количественном уровне.

Данный подход является основой для повышения управляемости технологического процесса переработки куриных яиц и совершенствования на этой базе систем качества и безопасности яичных продуктов.

Литература

1. Скапец О.В., Мезенова О.Я. Оптимизация процесса фракционирования молочной сыворотки пектином и хитозаном // Известия вузов. Пищ. технология. — 2011. — № 2–3. — С. 64–66.
2. Журавлев А.А., Магомедов Г.О., Лобосова Л.А. Моделирование и оптимизация структурно-механических свойств желеино-фруктового мармелада / Матер. 3-й Всеросс. научно-практ. конф. «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности». — Бийск: АлтГТУ, 2010. — С. 261–265.
3. Assis Tassia F. Solubility of egg yolk proteins. Modeling and thermodynamic processes // Eur. Food Res. and Technol. — 2010. — № 5, С. 745–750.
4. Заболоцкий А.А. и др. Моделирование процесса диспергирования яичного масла перемешивающими устройствами / Материалы 17-й Межд. конф. «МКХТ-2003». — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. — № 1. — С. 87–90.
5. Chen Ming-Fei, Wang Van-Hsin. Finite element analysis and verification of laser marking on egg-shell // Process Technol. — 2009. — № 1. — С. 470–476.
6. Штеле А.Л., Филатов А.И. Математическое моделирование энергетической ценности пищевых яиц // Птица и птицепродукты. — 2012. — № 3. — С. 58–61.
7. Остроумов Л.А., Просеков А.Ю. Методологические аспекты системного анализа пенообразных масс // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2000. — № 12. — С. 9–10.
8. Агафонович В.П., Петрова Т.И., Кругалев С.С., Дмитриенко И.С. Математическая модель варки яичного рулета // Птица и птицепродукты. — № 6. — 2012. — С. 52–55. □

Для контактов с авторами:
Агафонович Валерий Петрович
 e-mail: av@dinfo.ru
Петрова Тамара Ивановна
Кругалев Сергей Сергеевич
Дмитриенко Ирина Сергеевна