

Оценка перспективных направлений вариантов процессов переработки молока на базе системного подхода

К. т. н. В.В. Орлов, канд. биологических наук, проф. К.К. Горбатова,
аспирант С.В. Гуньков

Фундаментальные основы системного подхода нашли широкое применение не только в системотехнике химических производств для моделирования, анализа и синтеза химико-технологических систем, но и в теории и практике пищевой инженерии. Этот подход предполагает системное рассмотрение технологий, структура которых неизвестна, а комплектация априори определена. В настоящей работе предлагается компьютерно-ориентированная формализация процессов переработки молока для оценки возможных, заранее структурно неопределенных вариантов ее развития. С этой целью применен морфологический подход позволяющий выявить максимальное количество способов реализации определенных функций, отношений и связей для данного объекта исследования.

Процесс преобразования молока, как разновидности сельскохозяйственного сырья, в продукт организуется совокупностью технических систем – $ТС_1, ТС_2, \dots, ТС_n$ (рис.1), представляющих собой аппаратное оформление процесса производства пищевого продукта. Преобразование выполняется на основе некоторой технологии, включающей алгоритм упорядоченной совокупности целенаправленных частичных изменений – операций (O_1, O_2, \dots, O_n) над операндами: сырье – полуфабрикаты – продукт ($Од, Од_1, \dots, Од_n$). Воздействие на операнд осуществляется непосредственно операторами (лица, принимающие решение – $ЛПР_1, ЛПР_2, \dots, ЛПР_n$), либо операторами с помощью технических систем посредством изменения материальных (M), энергетических (E) или информационных (J) потоков. Элементарной ячейкой, осуществляющей частичные преобразования, является системотехнический комплекс ($СТК_1, СТК_2, \dots, СТК_n$), представляющий собой сложную систему, включающую разнородные элементы – техническую систему и оператора. Важнейший признак системы преобразования – ее взаимосвязь с окружающей средой. Содержание и интенсивность этой взаимосвязи (степень открытости системы) определяют условия

функционирования и свойства системы преобразования сырья. Отграничение от внешней среды определяет систему преобразования, как пространственно-функциональную единицу. Исходя из этого внешнюю среду составляют:

- входы в систему, определяющие внешнее отношение «окружающая среда – система», - материальные, энергетические, информационные потоки и сырье;

- выходы из системы, определяющие внешнее отношение «система – внешняя среда», основной выход – пищевой продукт, побочные $-(O_{T_1}, O_{T_2}, \dots, O_{T_n})$ – вторичное сырье, вторичный пар, конденсат, тепловые загрязнения, шум, вибрация и т.п.;

- общее окружение (биосфера, геосфера, техносфера).

Внешняя среда определяет условия функционирования системы преобразования: физические параметры (температура, давление, влажность, содержание микроорганизмов, пыли и т.п.), время функционирования (сменность работы, производительность, сезонные колебания состава сырья и т.д.), социальные и финансовые особенности (система подготовки специалистов, структура управления, спрос на выпускаемый продукт, прибыль от продажи и т.п.).

В соответствии с системным подходом, технологический процесс переработки молока в пищевые продукты, как алгоритм упорядоченной совокупности целенаправленных частичных изменений, может быть представлен в виде логической схемы элементарных событий (преобразований), которые в морфологическом моделировании формализуются как совокупность параметров – p_i^j , где i – номер вида преобразования, j – номер типа преобразования. Согласно системотехнической классификации имеют место следующие возможные виды преобразований: преобразование структуры (преобразование структуры без изменения состава – p_1 и с изменением состава – p_2); преобразование формы – p_3 ; преобразование пространственных координат – p_4 ; преобразование временных координат – p_5 . Принятые морфологические параметры могут принимать значения, имеющие признаки – $R_{i(k)}^j$, где k – номер признака.

Применительно к исследуемому объекту с учетом известных процессов переработки молока приведем наборы признаков выбранных параметров.

Для параметра p_1 : p_1^1 - изменение температуры молока или его компонентов ($R_{1(1)}^1$ - нагревание молока при пастеризации; $R_{1(2)}^1$ - нагревание при стерилизации; $R_{1(3)}^1$ - изменение температуры при

проведении специальных технологических операций); p_1^2 - преобразование с целью изменения агрегатного состояния компонентов молока ($R_{1(1)}^2$ - кристаллизация молочного жира; $R_{1(2)}^2$ - кристаллизация лактозы; $R_{1(3)}^2$ - льдообразование; $R_{1(4)}^2$ - дезодорация); p_1^3 - преобразование в результате внешнего силового воздействия ($p_{1(1)}^3$ - перемешивание; $R_{1(2)}^3$ - гомогенизация; $R_{1(3)}^1$ - преобразование с применением ЭМП).

Для параметра p_2 : p_2^1 - изменение температуры молока или его компонентов ($R_{2(1)}^1$ - нагревание при сгущении; $R_{2(2)}^1$ - нагревание при сушке; $R_{2(3)}^1$ - охлаждение при криоконцентрировании); p_2^2 - преобразование молока или его компонентов в результате внешнего силового воздействия ($R_{2(1)}^2$ - сепарирование; $R_{2(2)}^2$ - обезвоживание; $R_{2(3)}^2$ - центрифугирование; $R_{2(4)}^2$ - обратный осмос; $R_{2(5)}^2$ - ультрафильтрация; $R_{2(6)}^2$ - электродиализ); p_2^3 - преобразование молока или его компонентов при внесении добавок ($R_{2(1)}^3$ - для нормализации состава; $R_{2(2)}^3$ - для изменения структуры; $R_{2(3)}^3$ - для изменения вкуса; $R_{2(4)}^3$ - для изменения запаха; $R_{2(5)}^3$ - для изменения цвета).

Для параметра p_3 : p_3^1 - фасование; p_3^2 - упаковывание.

Для параметра p_4 : p_4^1 - транспортирование сырья или полуфабриката; p_4^2 - транспортирование готовой продукции.

Для параметра p_5 : p_5^1 - выдержка ($R_{5(1)}^1$ - выдержка при пастеризации; $R_{5(2)}^1$ - выдержка при созревании; $R_{5(3)}^1$ - выдержка при посоле); p_5^2 - хранение сырья или готового продукта;

В формализованном виде с учетом выбранных параметров и значений их признаков спектр вариантов процессов молока при переработке в пищевые продукты представлен в виде матрицы (табл. 1) - морфологической модели над уровнем составляющих отношений.

Процесс переработки молока в конкретный пищевой продукт моделируется одной из комбинаций конкретных значений признаков морфологических параметров. Так, например, опуская параметры p_3 и p_4 , традиционный способ производства творога представляется комбинацией:

<охлаждение молока для хранения - $R_{1(3)}^1$; перемешивание при хранении - $R_{1(1)}^3$; подогревание - $R_{1(3)}^1$; сепарирование - $R_{2(1)}^2$; нормализация - $R_{2(1)}^3$; пастеризация - $R_{1(1)}^1$; охлаждение до

температуры заквашивания – $R_{1(3)}^1$; внесение компонентов для заквашивания и сквашивания – $R_{2(2)}^3$; термообработка сгустка – $R_{1(3)}^1$; обезвоживание сгустка – $R_{2(2)}^2$; охлаждение творога – $R_{1(3)}^1$ >, традиционный способ производства масла сбиванием сливок –

$$\langle R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{2(1)}^2 - R_{2(1)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^2 - R_{5(2)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{2(2)}^2 - R_{3(1)}^1 - R_{3(1)}^2 \rangle,$$

традиционный способ производства сгущенного молока с сахаром

$$\langle R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{2(1)}^2 - R_{2(1)}^3 - R_{2(3)}^3 - R_{1(1)}^1 - R_{2(1)}^1 - R_{1(3)}^1 - R_{3(1)}^1 - R_{3(1)}^2 \rangle.$$

Генерация новых технологий переработки молока основывается на развитии полученной морфологической модели по следующим направлениям.

1. Изменение последовательности реализации значений признаков морфологических параметров. Например, если в морфологическом описании традиционного способа производства творога параметр $R_{2(1)}^3$ (нормализация) переставить на предпоследнее место, то получим морфологическое описание раздельного способа производства творога

$$\langle R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{2(1)}^2 - R_{1(1)}^1 - R_{1(3)}^1 - R_{2(2)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{2(2)}^2 - R_{2(1)}^3 - R_{1(3)}^1 \rangle.$$

2. Исключение и/или введение дополнительных морфологических параметров по отношению к известному способу переработки молока. Например, исключение из морфологического описания традиционного способа производства масла сбиванием сливок параметров $R_{2(1)}^3$, $R_{1(1)}^2$, $R_{5(2)}^1$, $R_{2(2)}^2$ приводит к морфологическому описанию получения сливочного масла из высокожирных сливок:

$$\langle R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{1(3)}^1 - R_{2(1)}^2 - R_{1(3)}^1 - R_{1(1)}^3 - R_{3(1)}^1 - R_{3(1)}^2 \rangle.$$

3. Поиск возможностей применения принципиально новых и/или дополнительных воздействий, основанных на физических, химических и биохимических явлениях. В частности, снижение количества бактерий с помощью СВЧ-поля, ионизирующего излучения, ультразвука, высокого гидростатического давления и т. п.

4. Построение принципиально новых или частично новых цепочек преобразований, либо в рамках полученной морфологической модели, приведенной в табл. 1, либо расширяя модель, вводя новые признаки каких-либо параметров, например, фракционирование молока и молочного сырья с помощью мембран; ионнообменной хроматографии, обработка ферментами и т.д. Приведенные примеры подтверждают возможность синтеза новых вариантов переработки молока, что в настоящее время приобретает особую актуальность в связи, например, с

востребованностью новых технологий для получения функциональных молочных продуктов, путем их конструирования с заданными улучшающими здоровье человека характеристиками.

Полученная морфологическая модель процессов переработки молока, включающая формализованные описания множества возможных, в том числе не реализованных (заранее структурно неопределенных), вариантов получения молочных продуктов на основе принятых морфологических параметров является первым этапом системного исследования. На втором этапе каждой выделенной при предпроектной ориентации цепочке морфологического описания, согласно схеме на рис.1, может быть поставлена в соответствие цепочка операций (O_1, O_2, \dots, O_n), реализующая процессы обмена материальных, энергетических и информационных потоков, для которой на третьем этапе выбирается соответствующая цепочка технических систем, выбираемых исследователем или проектировщиком ($ТС_1, ТС_2, \dots, ТС_n$). Предложенная формализация процессов переработки молока с помощью морфологических описаний позволяет реализовать компьютерную процедуру перехода к конкретным процессам обмена и конкретным аппаратурным оформлением этих процессов.

Таблица 1. Морфологическая модель вариантов процессов переработки молока в пищевые продукты.

p_i	p_i^j	$R_{i(k)}^j$
p_1	p_1^1	$R_{1(1)}^1, R_{1(2)}^1, R_{1(3)}^1$
	p_1^2	$R_{1(1)}^2, R_{1(2)}^2, R_{1(3)}^2, R_{1(4)}^2$
	p_1^3	$R_{1(1)}^3, R_{1(2)}^3, R_{1(2)}^3$
p_2	p_2^1	$R_{2(1)}^1, R_{2(2)}^1, R_{2(3)}^1$
	p_2^2	$R_{2(1)}^2, R_{2(2)}^2, R_{2(3)}^2, R_{2(4)}^2, R_{2(5)}^2, R_{2(6)}^2$
	p_2^3	$R_{2(1)}^3, R_{2(2)}^3, R_{2(3)}^3, R_{2(4)}^3, R_{2(5)}^3$
p_3	p_3^1	$R_{3(1)}^1$
	p_3^2	$R_{3(1)}^2$
p_4	p_4^1	$R_{4(1)}^1$
	p_4^2	$R_{4(1)}^2$
p_5	p_5^1	$R_{5(1)}^1, R_{5(2)}^1, R_{5(3)}^1$
	p_5^2	$R_{5(1)}^2$

ВНЕШНЯЯ СРЕДА

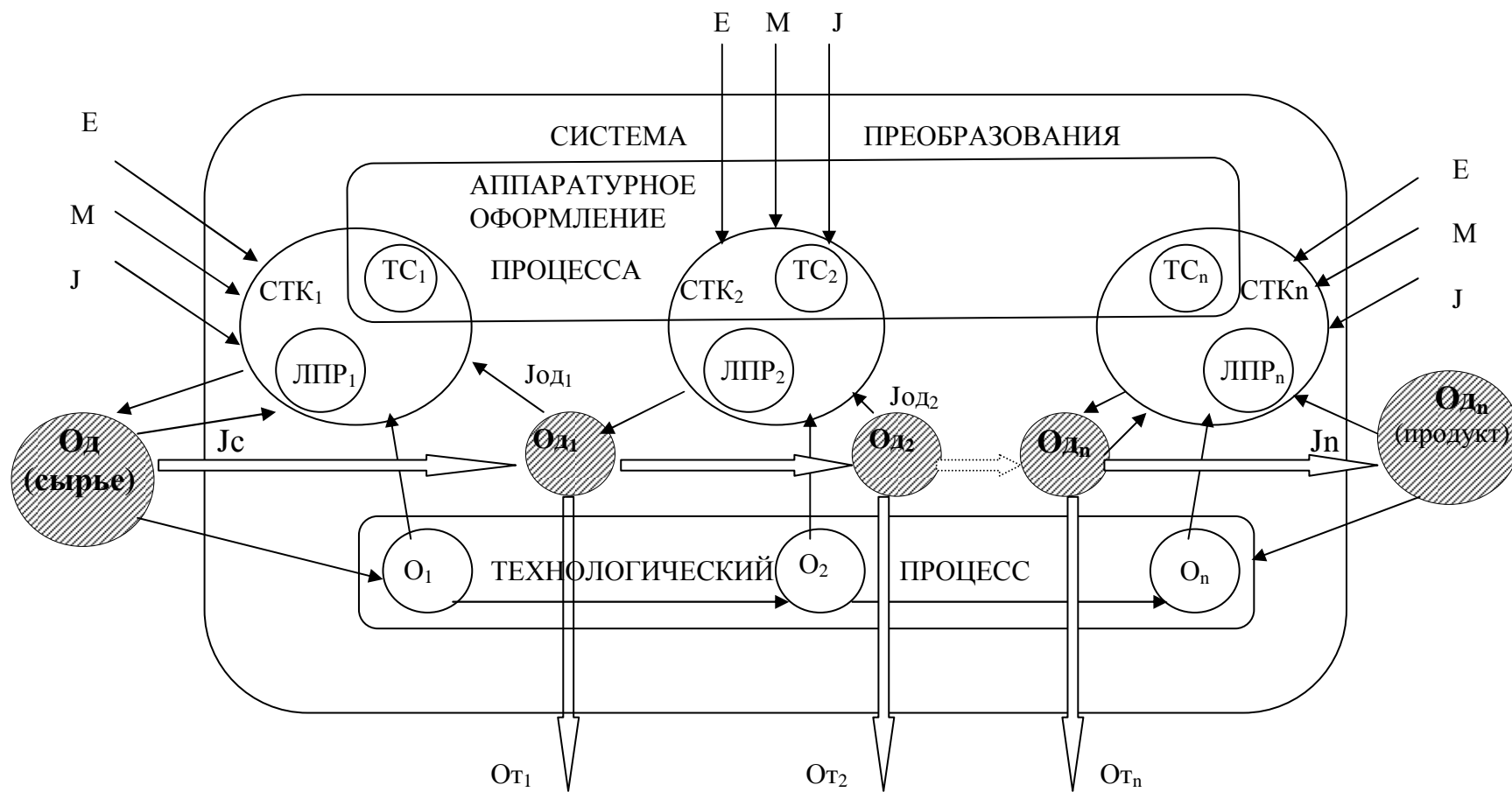


Рис. 1. Схема структуры преобразования сельскохозяйственного сырья в пищевой продукт.

Обозначения на схеме структуры преобразования
сельскохозяйственного сырья в пищевой продукт:

С — сырье,

Од — операнд,

Пр — продукт,

О — операция,

ТС — техническая система,

ЛПР — лицо принимающее решение,

СТК — системотехнический комплекс,

АОП — аппаратное оформление процесса,

ТП — алгоритм технологического процесса,

ВС — внешняя среда;

Е, М, J — потоки энергии, массы, информации;

ОТ — вторичное сырье.