

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БРОДИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Предложен подход к разработке новых технологий и совершенствованию существующих на примере технологии утилизации отходов бродильных производств. Сформулированы требования к структуре программных средств, обеспечивающих синтез технологий. Показана необходимость использования систем искусственного интеллекта.

Повышение эффективности производства является одним из факторов, обеспечивающих стабильное развитие перерабатывающих отраслей аграрно-промышленного комплекса. Поэтому актуально создание и освоение прогрессивных процессов с применением современных физико-химических методов обработки и формирование технологий на их основе.

Важным фактором обеспечения эффективности технологии должно быть совместное рассмотрение ее основных процессов.

Это вызывает необходимость применения системных методов для создания и оптимизации экологически безопасных и ресурсосберегающих систем технологических процессов.

Системный подход, сочетающий анализ и синтез, является базовой отраслью знаний, развивающей методы проектирования больших и сложных систем и объектов на начальных стадиях разработки и обоснования проектных решений [1].

Решение задачи анализа системы на практике осуществляется методом последовательных приближений. Сначала на основе ориентировочных представлений об организации системы выполняется предварительный анализ. В ходе самого анализа уточняются функция, строение и другие особенности системы. Затем следует новый более точный анализ. Такая итерационная процедура осуществляется несколько раз [2].

Использование системного анализа при проектировании системы технологических процессов осложнено отсутствием каких-либо сведений об их структуре. Проектируемая система изначально выступает в виде «черного ящика», для нее полностью определены только выходные параметры в виде множества свойств продукта, который необходимо со-

здать. Далее формулируется гипотеза об исходных сырьевых компонентах, а также о побочных и побочных продуктах.

На основании этой гипотезы задаются множества технологических параметров для каждого вида используемого сырья и полученного продукта. Таких гипотез может быть несколько. Тогда задача анализа сводится к построению системы процессов, преобразующей параметры сырья в параметры продукта.

Приступая к системному анализу технологии, следует учитывать, что ее процессы неодинаково влияют на качество конечного продукта. Обязательно имеется центр системы – одна или несколько частей, в которых осуществляются самые важные с точки зрения достижения конечного результата процессы.

Выделение этих частей, их границ, связей с другими частями является необходимым условием успешного системного анализа [3].

Выделение центра системы представляет собой одновременно изучение условий и возможностей его развития, установления основных направлений совершенствования технологии и техники данного производства.

Технологический процесс является элементом системы, преобразующим полуфабрикат посредством физико-химических и микробиологических процессов. Степень этого преобразования описывается математическими моделями.

Технологические системы можно описать при помощи изображения технологических процессов в виде условных обозначений (процессоров). Все существующие технологические процессы описываются ограниченным числом процессоров.

Обычно для описания технологической системы достаточно тринадцати процессоров. Процессоры образуют операторные модели, описывающие обмен между ними

веществом с учетом изменения его состава, свойств и структуры [4].

Анализ операторных моделей осуществляется экспертными системами.

Результатом воздействия на полуфабрикат в процессоре является изменение его состояния.

Если воздействие приближает состояние полуфабриката к состоянию конечного продукта, процессор отбирается для включения в операторную модель.

Если процессор не изменяет состояния полуфабриката или не может функционировать, он не включается в систему. В результате получается множество систем, составленных возможными комбинациями соединения процессоров.

Для сокращения элементов этого множества оно подвергается неформальной процедуре экспертного анализа, осуществляемого так называемым «лицом, принимающим решения» (ЛПР) [5].

В результате отбирается множество конкурирующих вариантов операторных моделей проектируемой технологии.

На этом этап анализа завершается.

На этапе синтеза осуществляется выбор оптимальных структур систем (то есть процессоров и топологии причинно-следственных связей между ними), аппаратного оформления процессоров (в частности, конструкции технологического оборудования) и значений их параметров (например, настроек технологического оборудования).

Удовлетворению требований к поведению технологических систем обычно препятствуют динамические свойства сырья и технологического оборудования, недоступность полной априорной информации об их свойствах и свойствах окружающей среды, невозможность получения всей текущей информации о состоянии процессоров и возмущениях, ограничения на параметры элементов системы и управляющие воздействия.

В постановках задач синтеза используется множество систем, полученное в процессе анализа, на котором проводится выбор.

Возможны следующие постановки задачи синтеза систем технологических процессов [6]:

– задача параметрического синтеза, когда элементы множества систем отличаются параметрами процессоров, например задача выбора технологических режимов;

– задача структурного синтеза, когда элементы множества систем различаются структурами процессоров; при этом выбирается подмножество структур процессоров, после чего имеет место задача параметрического синтеза, например задача выбора типа технологической машины с последующим определением технологических режимов;

– задача топологического синтеза, когда выбор осуществляется из множества систем с различной топологией с последующим решением задач структурного и параметрического синтеза, например определение наилучшего места включения процессора в операторную модель, то есть определение оптимального варианта оказания на полуфабрикат обрабатывающих воздействий.

Для описания потоков энергии и информации, проходящих через процессоры, используют математические модели.

Назначение математических моделей, описывающих поведение данного процессора, заключается в установлении эффективности его действия.

Под математической моделью технологического процесса будем понимать алгоритм описания передачи энергии полуфабрикату рабочими органами машины или рабочим пространством аппарата, содержащий две части: математический аппарат и принятые автором модели гипотезы.

Для исследования и оптимизации технологической системы оборудования, реализующего данный процессор, необходимо иметь следующие средства:

– систему математических моделей, позволяющих воспроизвести течение технологического процесса в машине или в аппарате при заданных управляющих воздействиях;

– алгоритмы и программные средства, реализующие воспроизведение технологического процесса на компьютере;

– модели управления технологическим процессом и алгоритмы, позволяющие решать в их рамках оптимизационные задачи на выбор управляющих воздействий;

– банк данных и соответствующую систему управления банком данных.

Целесообразно задать требования к полуфабрикатам и готовой продукции в виде критериев, связывающих параметры качества с параметрами процессов (задать множества таких критериев). Удовлетворение этим критериям определяет соответствие технологической системы предъявленным требованиям. Если выполнение критериев не обеспечивается, выбирается другая топология системы.

Укрупненная структура решения задачи проектирования технологии представлена на рисунке 1.

Оценку свойств технологического объекта удобно производить, пользуясь парамет-

рами эффекта. Параметры эффекта определены как величины, устанавливаемые через законченное действие, направленное на решение определенной задачи.

Таким образом, параметры эффекта характеризуют полезность данного объекта. Это их отличает в общем случае от технических характеристик объекта. Однако не исключено, что одна или несколько общепринятых на практике технических характеристик объекта соответствуют определению параметров эффекта [5].

Важным этапом анализа математических моделей является декомпозиция – разложение исходного объекта на более простые, как правило, той же природы, что и исходный объект, причем совокупность этих более про-

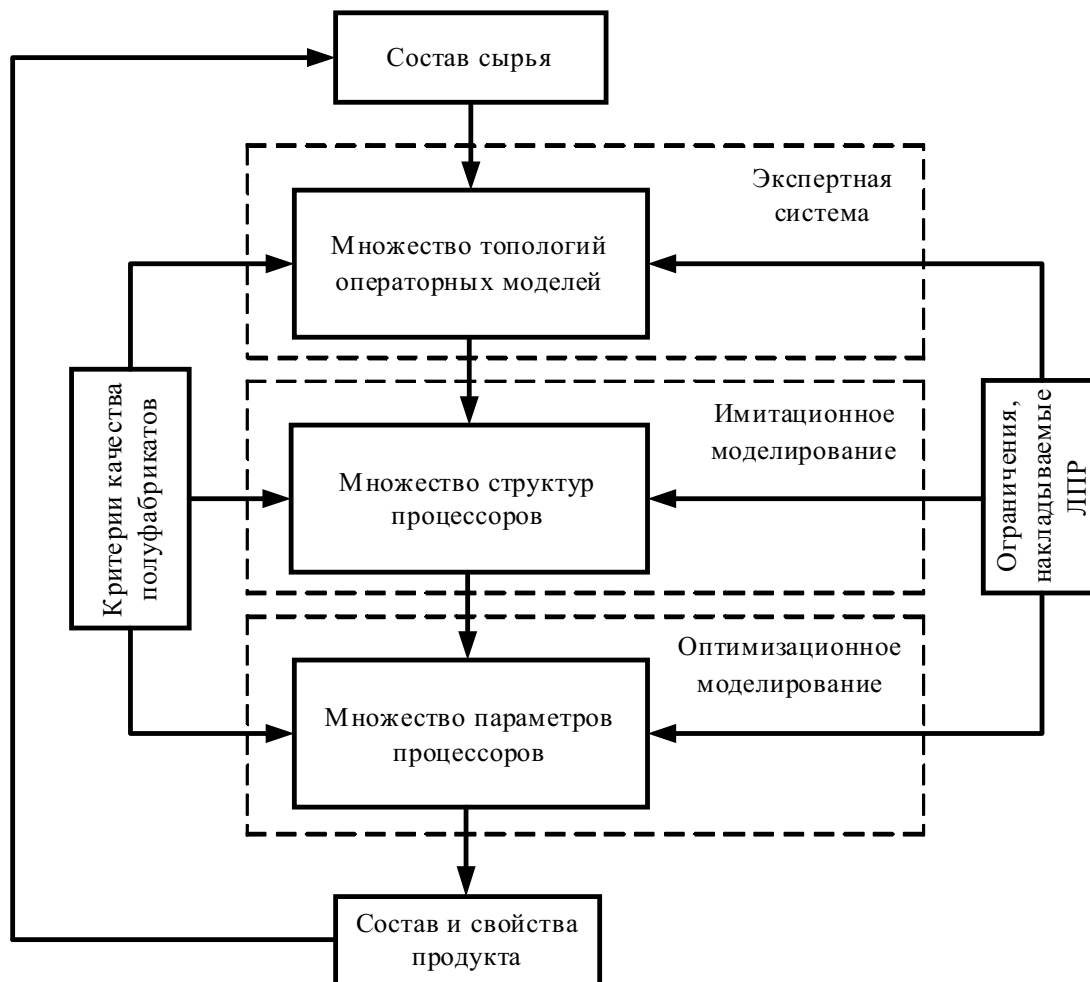


Рисунок 1. Схема проектирования технологии

стных объектов эквивалентна исходному объекту [3].

Качество и количество перерабатываемого технологическим объектом полуфабриката зависит от характера потребления и перераспределения механической энергии или теплоты, передаваемой обрабатываемому материалу в рабочем пространстве машины или аппарата.

Математические модели, описывающие эти технологические процессы, являются моделями сложных систем, описывающих передачу энергии по связям между элементами и окружающей средой.

Эти системы в общем случае относятся к динамическим, то есть зависят от времени.

Изменения системы во времени отражаются в ее состоянии, которое характеризуется величиной, называемой внутренней характеристикой системы. Внутренняя характеристика определяет текущее значение выходных величин – параметров эффекта.

Внутренней характеристикой системы, описывающей технологический процесс, удобнее всего выбрать функцию передачи основного вида энергии обрабатываемому материалу.

Примем в качестве гипотезы, что подвергаемые синтезу математические модели каждой операции технологического процесса должны описывать энергетическое состояние обрабатываемого материала в рабочем пространстве. Такие модели включают модель свойств материала, которая наиболее достоверно проявляется при исследуемых воздействиях.

Согласно этой гипотезе параметры эффекта оптимизируемого процесса выводятся из энергетического состояния обрабатываемого материала.

Изложенная структура математической модели позволяет рассматривать взаимодействие рабочего пространства с обрабатываемым материалом, не накладывая ограничения на изменение внутренней характеристики системы во времени [7].

На рисунке 2 представлена структура математической модели технологического объекта, которая состоит собственно из системы математических зависимостей для различных зон рабочего пространства, необхо-

димых для проведения векторной оптимизации, и тесно связанной с этой моделью базой данных.

Основой базы данных является множество T технологических параметров процесса, являющихся в данном случае управлениями. Множество T сформировано из технологических требований к процессу и управляет внешними величинами математической модели, которые разделены на четыре множества параметров:

- множество свойств обрабатываемого материала M ;
- множество кинематических параметров процесса K ;
- множество структурных параметров технологического объекта P ;
- множество геометрических параметров рабочего пространства G .

Таким образом, системе математических моделей в качестве исходных данных передаются следующие векторы:

- вектор параметров свойств \vec{m} обрабатываемого материала из множества допустимых альтернатив M ;
- вектор кинематических параметров процесса \vec{k} из множества допустимых альтернатив K ;
- вектор структурных параметров \vec{p} (не выражаемых в единицах измерения геометрических величин) из множества допустимых альтернатив P ;
- вектор геометрических параметров пространства взаимодействия \vec{g} из множества допустимых альтернатив G .

Вектор \vec{m} должен содержать необходимое количество информации для построения замкнутой модели свойств обрабатываемого материала. Для технологических машин моделью свойств часто является реологическая модель обрабатываемого материала.

Векторы K , P , G и результаты вычислений по модели свойств должны обеспечить замкнутость ядра системы – модели ее энергетического состояния. В свою очередь, внутренняя характеристика системы оказывает влияние на модель свойств обрабатываемого материала. Внутренняя характеристика системы позволяет использовать модель векторной оптимизации.

Модель параметров эффекта на основе внутренней характеристики системы формирует параметры эффекта, необходимые и достаточные для проведения параметрического синтеза.

Эти параметры эффекта должны характеризовать масштаб процесса, эффективность процесса и качество получаемого в процессе полуфабриката.

По данным В.Г. Гмошинского, для технологического потока принятый уровень доверительной вероятности может составлять 80%. В связи с этим количество параметров эффекта может не превышать пяти [8].

Множество ограничений оптимальной поверхности параметров эффекта формирует ЛПР, проводящее оптимизацию.

В случае, если проводится имитационное моделирование, ограничения на параметры эффекта не накладываются.

В заключение используют модель анализа участка поверхности параметров эффекта, удовлетворяющего наложенным ограничениям параметров эффекта при проведении оптимизации либо выбранного из других предпосылок при имитационном моделировании.

Исполнение математической модели векторной оптимизации вызывает необходимость изменения определенным образом векторов \bar{t} , \bar{k} , \bar{p} , \bar{g} , формирующих внутреннюю характеристику системы, что позволяет достичь глобального оптимального проектного решения.

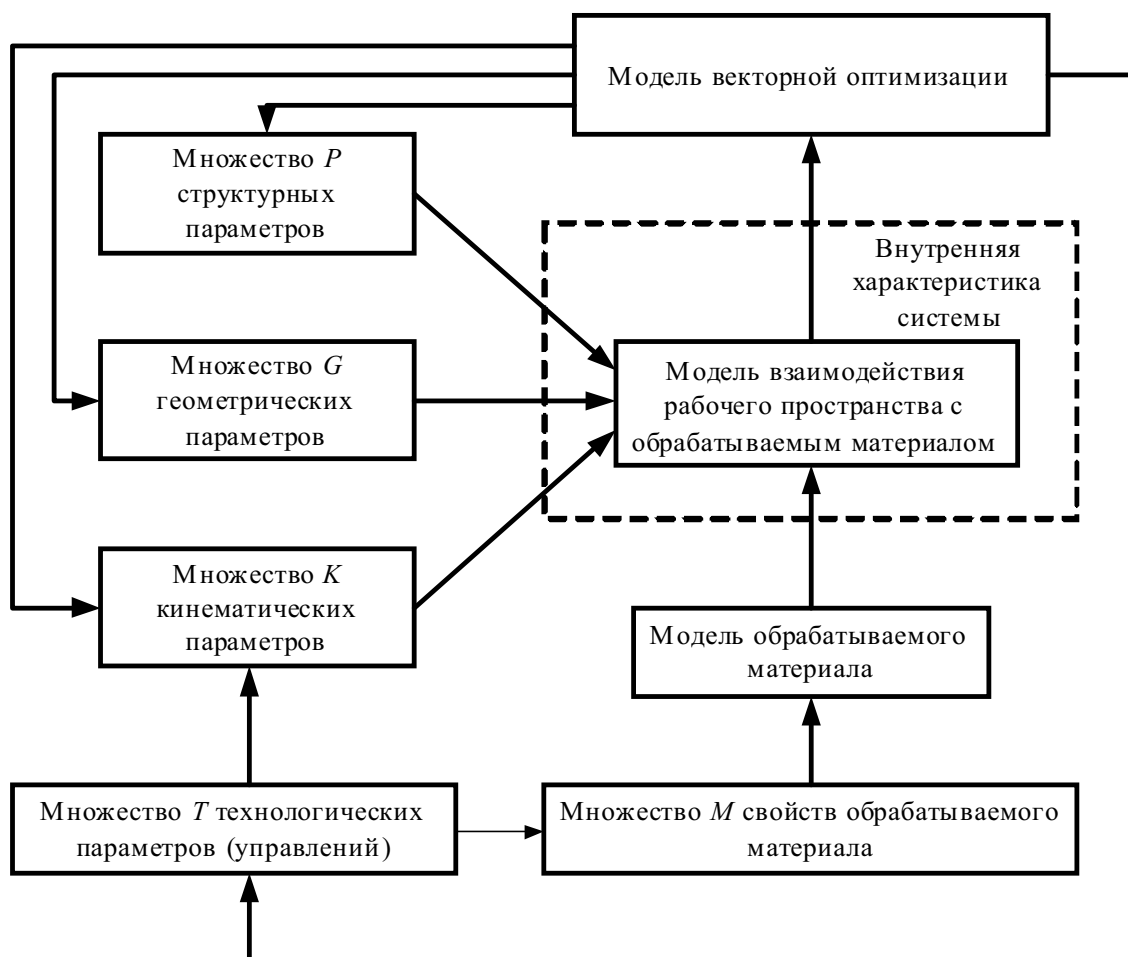


Рисунок 2. Структура математической модели технологического объекта

Таким образом, структурно-параметрический синтез технологического объекта (механизма или аппарата) по разработанной математической модели может быть произведен на множествах M , K и G . Следует отметить, что членами этих множеств могут быть только величины, входящие во внутреннюю характеристику системы.

Механические процессы взаимодействия обрабатываемого материала с рабочими органами машины или теплофизические процессы в аппарате для любого проектируемого объекта представляют собой сложные многопараметрические нелинейные процессы, теоретическое и экспериментальное определение свойств которых традиционными методами затруднено, однако требуется для проведения параметрического синтеза. Необходимые свойства могут быть определены численными методами.

С учетом изложенного выше проведена разработка технологии ресурсосберегающей переработки пивной дробины и спиртовой барды в белково-витаминные кормовые продукты. Такая технология должна быть малоотходной для обеспечения охраны окружающей среды. Конечным продуктом этой технологии является твердое вещество с равновесной влажностью, выделенное из высоковлажных отходов. В том числе должны быть сохранены водорастворимые вещества этих отходов. Для удобства дальнейшего использования конечный продукт должен быть гранулированным. Для образования гранул в конечном продукте имеется связующий компонент.

Была выдвинута гипотеза о том, что повышения потребительских свойств высоковлажных отходов бродильных производств можно добиться, смешивая их с капиллярно-пористым наполнителем, имеющим адекватный химический состав. Для предлагаемой технологии наполнителем и связующим компонентом могут быть отходы переработки зерна, в частности пшеничные отруби.

Простое смешение высоковлажных отходов с зерноотходами не облегчает решения задачи съема влаги, так как насыпь влажных зерноотходов невозможно продуть потоком атмосферного воздуха. Чтобы продукт можно было продуть атмосферным воздухом

при небольшом давлении, следует придать насыпи порозность. Необходимо придать продукту форму небольших по размерам кусочков с развитой поверхностью и капиллярно-пористой структурой. Этого можно достигнуть, увлажняя зерновые отходы отходами бродильного производства с последующим формованием. Это совпадает с требованием к получению конечного продукта в виде гранул.

Таким образом, за счет кондуктивного массообмена получается полуфабрикат – смесь с заданной технологической (удобной для дальнейшей обработки) влажностью. В нем сохраняются все водорастворимые вещества. Последующим экструдированием полуфабрикату можно придать форму с большой удельной поверхностью, выгодной для последующей конвективной сушки. Придание полуфабрикату технологической влажности и формы обеспечивает стабильность процесса конвективной сушки в наперед заданных наиболее экономичных режимах высушивания, обеспечивающих требуемое качество продукта.

В результате проведенного системного анализа установлены основные технологические процессы:

- кондуктивный влагообмен высоковлажных отходов с наполнителем при их смешении;
- формообразование полуфабриката;
- сушка полуфабриката.

Предварительный структурный синтез позволил выделить три варианта схемы реутилизации высоковлажных отходов бродильных производств и зерновых отходов в качестве наполнителя (рисунок 3).

Имеется три варианта реализации этой схемы:

- с поглощением дисперсионной среды экструдатом непосредственно из отходов (показано сплошными линиями);
- с промежуточным отделением дисперсионной среды с последующей впитыванием ее экструдатом (показано сплошными линиями);
- непосредственный ввод дисперсионной среды в полуфабрикат при смешении (показано пунктиром).



Рисунок 3. Схема центра системы получения кормового продукта утилизацией отходов бродильного производства и зерновых отходов

Первые две технологии требуют использования в 1,6 раза меньшего количества зерновых отрубей, чем третья. Однако они имеют, по крайней мере, одну дополнительную операцию: впитывание экструдированным полуфабрикатом дисперсионной среды высоковлажных отходов.

Зерноперерабатывающей промышленностью вырабатывается достаточно большое количество пригодных для приготовления полуфабриката отходов, что обеспечивает

переработку всей имеющейся пивной дробины и спиртовой барды по предлагаемым технологиям. Однако для уменьшения количества используемых зерновых отрубей к ним могут быть добавлены идентичные отходы бродильного производства, например, для пивоварения это сплав ячменя и отходы его полирования.

Описанные технологии защищены патентами РФ №2248720 [9] и №2266677 [10].

Список использованной литературы:

1. Аоки М. Введение в методы оптимизации / Пер. с англ. М.: Наука, 1977. 343 с.
2. Джонс Дж. К. Методы проектирования. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 237 с.
3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука. 1981. 487 с.
4. Панфилов В.А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока). М.: Колос, 1993. 288 с.
5. Формирование технических объектов на основе системного анализа / В.Е. Руднев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 318 с.
6. Теория автоматического управления: учеб. для вузов / Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высш. шк., 2003. – 567 с.
7. Полищук, В.Ю. Проектирование экструдеров для отраслей АПК / В.Ю. Полищук, В.Г. Коротков, Т.М. Зубкова. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 256 с.
8. Гмошинский В.Г. Инженерное прогнозирование. М.: Энергоиздат, 1982. 327 с.
9. Пат. 2248720 Российская Федерация, МПК⁷ А 23 К 1/00, 1/10, А 23 Р 1/12. Способ утилизации высоковлажных пищевых отходов / Попов В.П., Василевская С.П. (Россия); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. – №2003100285; заявл. 04.01.03; опубл. 27.03.05; Бюл. №9. – 3 с.
10. Пат. 2266677 Российская Федерация, МПК⁷ А 23 К 1/06, А 23 Р 1/12. Способ ввода водных суспензий в корма и экструдер для его осуществления / Попов В.П., Василевская С.П., Ханин В.П., Полищук В.Ю. (Россия); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. – №2003123654/13; заявл. 25.07.03; опубл. 27.12.05, Бюл. №36. – 3.