

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОМАТ ПАСТЫ

Назойкин Евгений Анатольевич

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет пищевых производств»
nazojjkinea@mgupp.ru

Благовещенский Иван Германович

д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет пищевых производств»
igblagov@mgupp.ru

APPLICATION OF SIMULATION METHODS FOR IDENTIFICATION AND FORECASTING OF TOMATO PASTE PRODUCTION

**E. Nazoikin
I. Blagoveshchensky**

Summary: The use of multi-agent simulation modeling makes it possible to predict and identify food production systems. Multi-agent simulation modeling as an element of intelligent information technologies is aimed at optimizing production processes and conducting virtual experiments with the resulting models.

The article discusses the stages of creating a model of the production process of tomato paste based on multi-agent modeling technologies. The description of the main parameters and stages of the implementation of the multi-agent model using the AnyLogic simulation environment is given. The article also provides a description of the optimization experiments with the model in order to reduce production costs in real production.

Keywords: food enterprises, models, management, forecasting, identification, tomato paste, production processes, multi-agent modeling, modeling, simulation, anylogic.

Аннотация: Применение мультиагентного имитационного моделирования дает возможность прогнозирования и идентификации производственных систем пищевых производств. Мультиагентное имитационное моделирование, как элемент интеллектуальных информационных технологий, направлено на оптимизацию производственных процессов и проведение виртуальных экспериментов с полученными моделями.

В статье рассматриваются этапы создания модели производственного процесса томат пасты на основе мультиагентных технологий моделирования. Дается описание основных параметров и этапов реализации мультиагентной модели при помощи среды имитационного моделирования AnyLogic. Также в статье дается описание проведения оптимизационных экспериментов с моделью с целью уменьшения производственных затрат на реальном производстве.

Ключевые слова: пищевые предприятия, модели, управление, прогнозирование, идентификация, томат паста, производственные процессы, мультиагентное моделирование, моделирование, имитационное моделирование, anylogic.

Введение

Предприятия пищевой промышленности в условиях жесткой конкуренции требуют от компаний – производителей усовершенствования технологических процессов, направленных на повышение качества производимых товаров и услуг, а также выпуска готовой продукции за более короткие сроки по более низким ценам.

В специализированной литературе предлагаются и рассматриваются на практике методы применения новейших информационных технологий, в том числе основанных на мультиагентном имитационном моделировании [1,2]. Данные технологии дают возможность симуляции производственного процесса как он есть в виртуальном пространстве. В свою очередь это позволяет произвести идентификацию и прогнозирование производственного процесса без ресурсозатратных экспериментов на натуральном производстве и выработать на виртуальных моделях адекватные управленческие реше-

ния, что решает задачи снижения трудозатрат и времени.

Одно из важнейших мест в пищевой промышленности принадлежит овощепереработке. Продукты из овощных изделий сложны по своему составу, и обладают параметрами, отвечающими в совокупности за качество готовой продукции. Одно из основных направлений развития пищевой промышленности связано с автоматизацией контроля показателей качества таких изделий [3]. Однако существующие в настоящее время методы и технологии переработки овощей для выпуска готовой продукции далеки от совершенства.

Одним из сложноформализуемых процессов для которого актуально применение методов имитационного моделирования является производство томат пасты. Методы имитационного моделирования применительно к процессу производства томат пасты позволяют спрогнозировать выходные параметры производственного процесса, а также идентифицировать внутренние параметры при моделировании системы, что в свою очередь

позволяет дать рекомендации по актуализации параметров, направленных на оптимизацию производственного процесса.

Литературный обзор

В специализированной литературе часто используется классическая реализация применения имитационного моделирования на основе теории систем массового обслуживания, [4, 5, 6, 7], но в рассматриваемых подходах не учитывается реальная динамика изменения параметров производственного процесса. При построении сложных активных систем [8], в настоящее время предлагается применять принципы мультиагентного имитационного моделирования [9], такие модели наиболее полно описывают все этапы производственного процесса [10] и позволяют наиболее точно спрогнозировать выходные параметры.

Теоретическое обоснование

При разработке мультиагентной модели производства томат пасты проанализирована структура и рассмотрены технологические процессы предприятия [11, 12].

Объектом исследования является поточная технологическая линия с использованием стерилизатора прогрева томат пасты перед фасовкой в пакет дойпак массой 75 грамм.

Предметом исследования является совокупность методологических и практических задач, связанных с управлением и контролем параметров вкуса томат пасты [13]. Были исследованы методы [14, 15], средства и способы контроля показателей качества готового из-

делия, что дает основание к созданию мультиагентной имитационной модели производственного процесса.

Описание принципа работы технологической установки представлено на функциональной схеме скребкового стерилизатора томат пасты (рис.1).

Видно, что сам теплообменник реализован на двух емкостях. В емкости, в которой происходит подача пара и удаление конденсата, находится емкость, по которой движется продукт, в результате чего он нагревается. Готовый продукт подается через клапан 4-1 с датчиком температуры 1-1 ТЕ, служащий для измерения температуры. На основе показаний датчика температуры подается сигнал на регистрирующий прибор контроля 1-2 ТИР и регулятор температуры 1-3 ТС для формирования сигнала отклонения от необходимой температуры. Все данные передаются на регулятор расхода пара 2-3 FC.

Для изменения частоты вращения скребкового двигателя 5-5М в большую или меньшую сторону в соответствии законом регулирования и управления, служит частотный преобразователь 5-1 NY. Частотный преобразователь получает сформированный сигнал о разности температур продукта на выходе и о расходе пара с регулятора расхода 2-3 FC. Регулятор получает сигнал с вторичного регистрирующего прибора контроля расхода пара 2-2 FIR и датчика расхода пара 2-1 PE. Для ручного дистанционного управления используются кнопочный пост 4-2 HS управления клапаном 4-1. Для управления двигателем, так же используется кнопочный пост М 5-2 HS, который служит для управления в ручном режиме частотным преобразователем и двигателем.

Описанная выше функциональная схема исследуе-

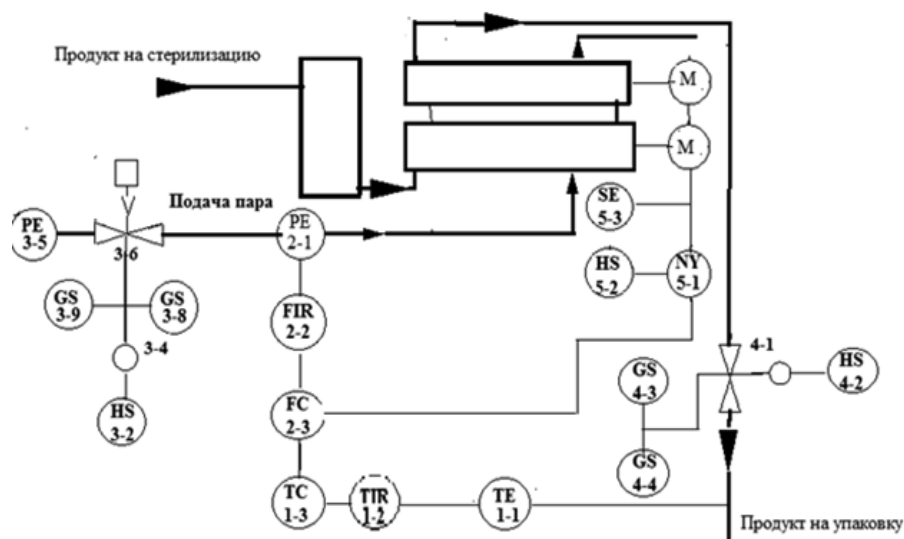


Рис. 1. Функциональная схема скребкового стерилизатора томат пасты

мого производственного процесса, дает возможность ее реализации в среде имитационного моделирования AnyLogic, на основе мультиагентного подхода.

Исследование

Целью исследования является создание мультиагентной имитационной модели приготовления томат пасты в соответствии с технологическим процессом и параметрами производства. Созданная модель производства дает возможность проведения виртуальных экспериментов и выявления возможности внедрения новой воспроизвести все этапы производственного процесса, рассмотренные выше.

Модель функционирования производственного процесса томат пасты использует объекты дискретно-событийного моделирования среды AnyLogic описанные ниже.

Объекты *Tomat*, *Water*, *Smes* служат для генерации и отслеживания сырья, поступающего на обработку и хранение в единицу времени.

Объект *Tank*, накапливает вещество до уровня вместимости емкости и опционально задерживает его на заданное время. В имитационной модели процесса производства томатной пасты играет роль рецептурного сборника сырья.

Объект *BulkConveyor* служит как имитация конвейера для транспортировки сухих добавок.

MixTank является объектом смешивания веществ и получения смеси на основе различных источников, кроме того, может создавать временную задержку полученной смеси в течение регламентируемого времени. Пропорции веществ в смеси определяются в соответствии

с объемом каждого вещества, либо общей доли компонентов.

В объекте *processTank* происходит выдерживание смешанных компонентов, а затем их накапливание в объекте *tank*, так как процесс фасовки происходит медленнее, в *tank1* подкачивается томатная паста. На следующем шаге паста поступает в *processTank1*, где происходит нагрев до $107 \pm 1^\circ\text{C}$ (процесс стерилизации перед фасовкой) и выдерживается по времени от 30 до 300 секунд, а затем поступает в *processTank2*, где происходит охлаждение продукта до $75 \pm 3^\circ\text{C}$.

Далее сырье поступает в объект *FluidToAgent* для преобразования объемного вещества в агентные элементы и их накопления в блоке *QueueTom*.

FluidDispose, служит для контроля готовой партии продукции и является стандартным завершающим блоком.

Агент *myAgent*, служит для регулирования времени задержки дозируемых компонентов в объекте *Tank* с помощью параметров *Time*.

В объекте *Assembler* происходит объединение двух агентов (томат пасты и пакета дойпак), происходит упаковка томат пасты в тару (пакет дойпак). Наполненный пакет дойпак поступает по конвейеру из блока *conveyor* в блок *Service*, в котором происходит сбор пакетов в групповую упаковку и укладку в поддон.

Полная реализация мультиагентной модели процесса производства томат пасты представлена на рисунке 2.

Результаты и их обсуждение

Для регулирования параметров процесса производ-

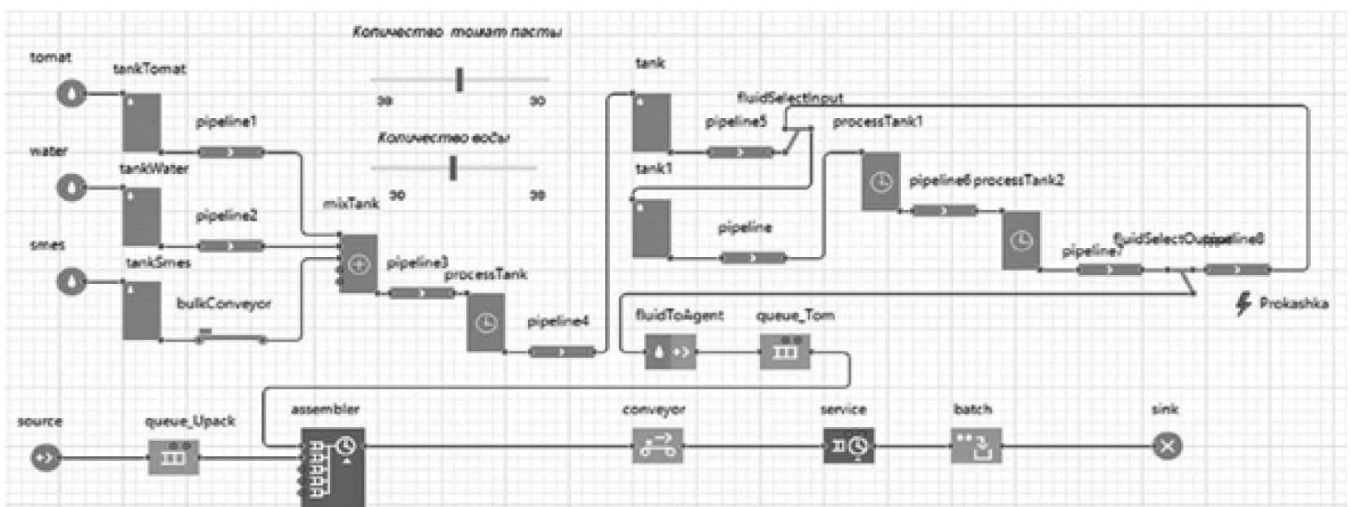


Рис.2. Мультиагентная модель технологического процесса стерилизации томат-пасты

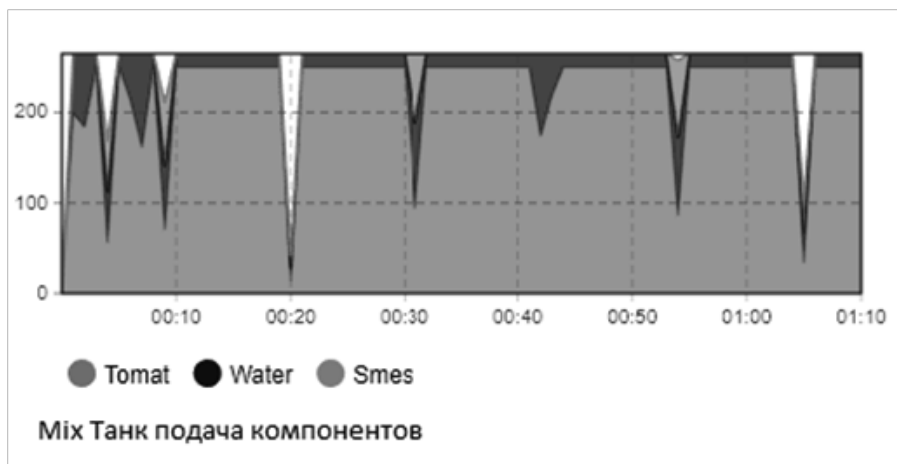


Рис. 3. Диаграмма компонентов

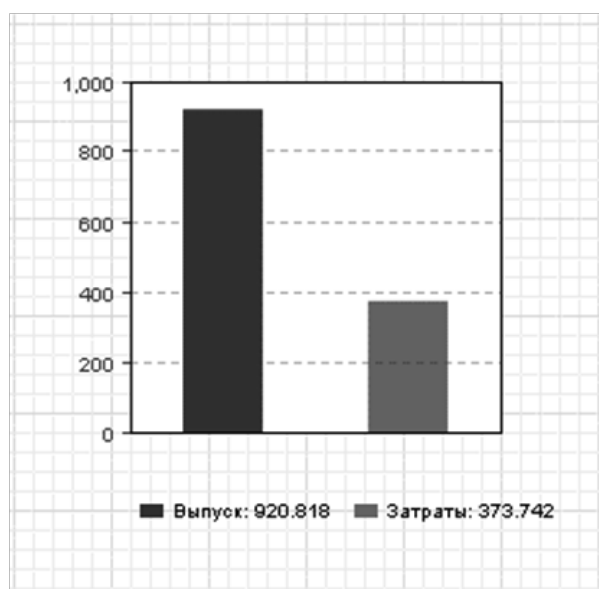


Рис. 4. Количества выпуска готовой продукции и затрат на производство

ства томат пасты используется специальный агент-регулирующий. Этот тип агента представляет собой набор производственных правил, описывающих функциональные зависимости. Такие функциональные зависимости предназначены для регулирования параметров модели с целью имитации различных ситуаций, возникающих при подборе оборудования.

В ходе проведения имитационного эксперимента в модели предоставляется возможность изменения сухих веществ в пасте (30%-38%), что в свою очередь позволяет изменить количество томатной пасты (215 – 167 кг.), используемой в технологическом процессе, перед началом производства. Объем воды, необходимый для производства, также будет изменяться от 50 до 67.5 кг. Количество сухой смеси, необходимое для технологического процесса, остается постоянным и суммарно равно 15 кг.

В ходе проведения экспериментов с моделью были получены статистические данные, отражающие информацию о состоянии контроля над количеством созданных агентов, представляющих собой пакеты готовой продукции.

Также для контроля сроков производства готовой продукции отслеживаются временные показатели и параметры на всех этапах обработки используемого сырья. Результаты моделирования представлены на рисунке 3. На рисунке 4 показано количество выпуска готовой продукции и затрат на производство в целом.

Полученные статистические данные процесса производства томат пасты позволяют, актуализировать параметры и идентифицировать систему в целом, что в свою очередь дает возможность выработать рекомендации

по регулированию параметров производственного процесса.

Выводы

На основе анализа технологического процесса и оборудования предприятия была разработана мультиагентная имитационная модель процесса производства томат пасты в среде имитационного моделирования AnyLogic.

Использование данной агентно-ориентированной модели позволяет:

- провести идентификацию предприятия;
- с помощью накопительных диаграмм установить узкие места в работе и сделать вывод о целесообразности использования различного типа обо-

рудования на производстве;

- смоделировать модернизацию производства, не претерпевая финансовых потерь;
- провести виртуальный эксперимент для изучения параметров системы, оказывающих влияние на процесс стерилизации и упаковки продукции.

С помощью построенной имитационной модели произведены оптимизационные эксперименты по минимизации себестоимости выпуска томат пасты при изменяемой стоимости закупки сырья и по максимизации количества произведённой продукции при изменяемой производительности аппаратов. На основе экспериментов сделаны выводы о целесообразности замены оборудования линии упаковки и хранения продукции на оборудование с большей производительностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем: учебное пособие / А.А. Сирота. – М.: Техносфера, 2006, – 280
2. Советов Б.Я. Моделирование систем [Текст]: учеб-ник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2007. – 343 с.
3. Fajar, A. Asynchronous agent-based simulation and optimization of parallel business / Fajar, A., Sarno, R. // *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 17(4), 2019, с. 1731-1739 (DOI: <http://dx.doi.org/10.12928/telkomnika.v17i4.10846>)
4. Габрин К.Э. Основы имитационного моделирования в экономике и управлении: учебное пособие / К.Э. Габрин, Е.А. Козлова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 108 с.
5. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем: введение в моделирование с помощью AnyLogic 5 (+ CD) / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
6. Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
7. Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
8. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование процесса накопления знаний / Ивашкин Ю.А., Назойкин Е.А. // *Программные продукты и системы* № 1, 2011. с. 47-52.
9. Назойкин Е.А. и др. Идентификация процессов производства мармеладных масс с использованием методов имитационного моделирования. / Е.А. Назойкин, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Р.Р. Наумов // *Пищевая индустрия*. 2019. № 1 (39). С. 40-41.
10. Назойкин Е.А. и др. Применение агентных технологий в анализе производственных процессов пищевых производств / Е.А. Назойкин, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Р.Р. Наумов // В сборнике: *Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста Сборник научных трудов I научно-практической конференции с международным участием*, 29 - 30 ноября 2018 г. 2018. С. 711-715.
11. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. М.: Высшая школа, 2010. 768 с.
12. Технология переработки продукции растениеводства. / Личко Н.М. // Москва, КолосС, 2008, 616с.
13. Благовещенская М.М., Карелина Е.Б., Клехо Д.Ю., Благовещенский И.Г. Разработка программно-аппаратного комплекса для контроля качественных показателей муки в потоке // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. Москва: МГУПП, 2017. С. 180-183.
14. <http://mppnik.ru/> – [Электронный ресурс] – «Бункерные тестомесильные агрегаты». Дата обращения-18.09.2018
15. Леоненко А.В. Самоучитель UMI – 2-е изд., перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432с.

© Назойкин Евгений Анатольевич (nazojkinea@mgupr.ru), Благовещенский Иван Германович (igblagov@mgupr.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»