

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕСТОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ НА ХЛЕБОПЕКАРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Е.А. Назойкин, И.Г. Благовещенский (Москва)**

Одной из важных проблем любого пищевого предприятия является создания актуальной виртуальной компьютерной модели, четко идентифицирующей производственные процессы в реальном времени. Например, тестоприготовительное отделение на хлебопекарном предприятии является сложно формализуемой задачей, которую невозможно решить с использованием классического математического аппарата. Для исследования данного процесса и выявления важных показателей необходимо применять другие методы исследования, одним из которых является мультиагентное имитационное моделирование на основе структурированных последовательностей действий и состояний активных элементов (агентов), разделенных по времени.

В литературных источниках часто дается реализация классического применения имитационного моделирования на основе дискретно-событийного подхода [1], однако при этом не учитывается актуальная динамика изменения производственного процесса. При построении сложных активных систем [2], в настоящее время предлагается применять принципы мультиагентного имитационного моделирования [3], такие модели наиболее полно описывают все этапы производственного процесса [4].

Теоретическое обоснование

Для разработки агентно-ориентированной модели тестоприготовительное отделение на хлебопекарном предприятии была проанализирована структура и рассмотрены технологические процессы предприятия [5].

Основное производство состоит из трех участков:

- аппаратно-сырьевой цех;
- участок упаковки;
- участок укладки и хранения продукции.

При детализированном рассмотрении аппаратно-сырьевого цеха, можно выделить следующие участки:

- Отделение приема, хранения и подготовки муки в производство.
- Отделение приёма, хранения и подготовки рецептурных компонентов к производству
  - Тестоприготовительное отделение.
  - Тесторазделочное отделение.
  - Пекарное отделение.
  - Остывочное отделение и экспедиция.

Реализация этих участков на агентно-ориентированном языке имитационного моделирования в среде AnyLogic, позволит произвести идентификацию и прогнозирование исследуемого производственного процесса.

Исследование

В ходе разработки модели были выявлены основные этапы производственного процесса. Так, в настоящее время на хлебозаводах используются тестоприготовительные бункерные агрегаты непрерывного действия, работающие по актуальной технологической схеме приготовления пшеничного теста на густой опаре [6]. Для замеса опары используют 70% муки от всего количества, который требуется для приготовления теста. В месильную машину через дозаторы [7] МД-200 и СДМ7 непрерывно подаются мука, вода и дрожжевая суспензия. Замес происходит в течение 9-12 минут. Далее опара транспортируется выгрузным шнеком по трубопроводу в бункер для брожения. Для большей производительности бункер брожения состоит из нескольких секций. Загружаются секции опарой снизу с помощью поворотной трубы-колена.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Основной задачей брожения является разрыхление теста углекислым газом и создание мякиша с хорошо развитой тонкостенной пористостью. Процесс длится 4-5 часов. После, готовая опара из секций бункера в порядке очереди выгружаются через окно с поворотным днищем в воронку шнека, который транспортирует в тестомесильную машину, в которой происходит замес теста.

При замесе в тестомесильную машину через дозаторы подаются оставшаяся часть муки-30% и жидкие компоненты, такие как вода, раствор сахара, солевой раствор и жиры. Замес происходит в течение 20-25 минут.

На основе описательного процесса производства приведенного выше возможно провести формализацию с созданием UML-диаграмма классов оборудования (рис.1).

Диаграмма классов служит для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования и отражает различные взаимосвязи между отдельными сущностями предметной области, такими как объекты и подсистемы, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений[8].

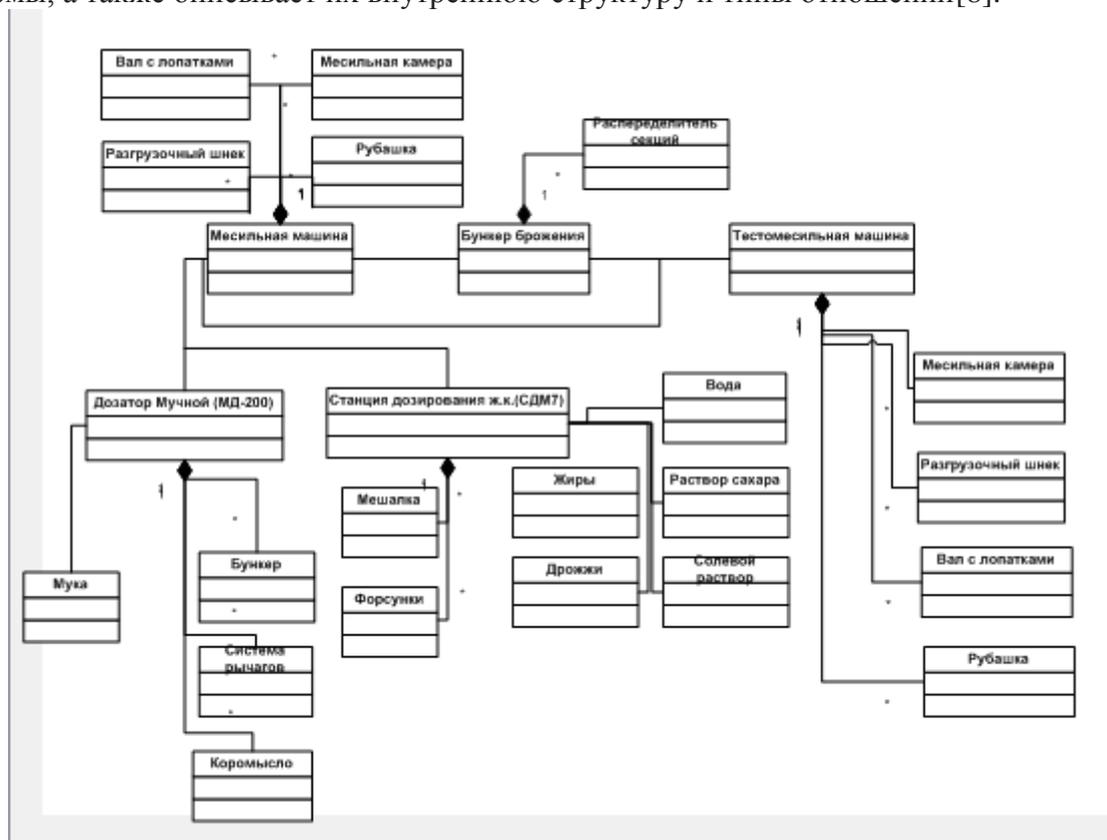


Рис. 1. UML-диаграмма «оборудование тестоприготовительного отделения»

При разработке UML-диаграммы были определены основные параметры состояния системы реализуемые в мультиагентной модели (таблица 1).

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Таблица 1. Параметры состояния системы.

Параметр	Тип данных	Единицы измерения	Описание
ПроизСДМ7	double	л/час	Производительность дозатора ж.к.
ПроизвМесМаш	double	л/час	Производительность месильной машины
ПроизвБукБрож	double	кг/час	Производительность бункера брожения
ПроизвТестМаш	double	л/час	Производительность тестомесильной машины
КолМук	double	кг	Количество муки, используемое для одного замеса опары
КолВод	double	л	Количество воды, используемое для одного замеса опары
КолСах	double	л	Количество раствора сахара, используемое для одного замеса теста
КолСол	double	л	Количество раствора соли, используемое для одного замеса теста
КолЖир	double	л	Количество жира, используемое для одного замеса теста
КолДрож	double	кг	Количество дрожжей, используемое для одного замеса опары
КолМукиТеста	double	кг	Количество муки, добавляемое в тестомесильную машину при каждом замесе
КолВодыТест	double	л	Количество воды, добавляемое в тестомесильную машину при каждом замесе
КолТестДля1заготов	double	л	Количество теста для одной единицы хлеба

Для программной реализации представленной концептуальной и параметрической модели был использован программный продукт для создания имитационных моделей AnyLogic.

Поскольку составляющие теста являются жидкостями и сыпучими материалами, то для моделирования работы с ними использовалась библиотека AnyLogic - моделирование потоков. Источники потоков моделируются с помощью блока «FluidSource». Так как скорость потребления компонентов будет разная, то необходимо предусмотреть буферные ёмкости для их хранения после того, как они поступили в модель. Ёмкости моделируются блоком «Tank». Доставка компонентов в ёмкость месильной машины осуществляется по трубопроводу (блок «Pipeline»). Сама смесительная ёмкость моделируется блоком «MixTank». Процесс приготовления опары и теста моделируется объектом «ProcessTank». После замеса теста необходимо приступить к формированию тестовых заготовок для дальнейшего выпекания. Тестовые заготовки - единичная заявка. Следовательно, процесс разделения на порции моделируем блоком «FluidToAgent». Для объединения двух потоков в 1, использовался блок «FluidMerge». Завершение процесса производства промоделируем при помощи блока «Sink». На рисунке 2 представлена программно-визуальная реализация описанных блоков.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

В результате работы была получена мультиагентная имитационная модель тестоприготовительного отделения на хлебопекарном предприятии для идентификации и прогнозирования производственных процессов.

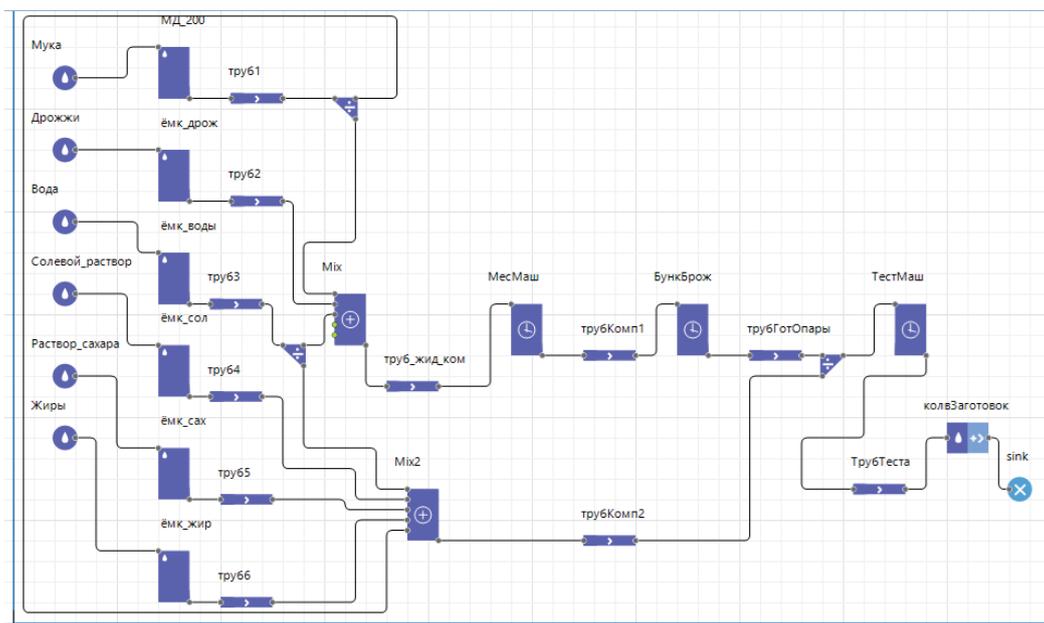


Рис. 2. Имитационная модель тестоприготовительного отделения в имитационной среде AnyLogic

Результаты моделирования

На основе мультиагентной имитационной модели была произведена серия оптимизационных экспериментов.

В качестве входных параметров системы были выбраны производственные мощности предприятия и начальные значения всех исследуемых параметров отделения, представленных на рисунке 3.

ПроизСДМ7 1,000	КолВод 70	КолМукиТеста 50
ПроизвМесМаш 1,300	КолСах 5	КолВодыТест 30
ПроизвБукБро 600	КолСол 4	КолТестДляЗаготов 0.5
ПроизвТестМаш 1,300	КолЖир 2	
КолМук 110	КолДрож 10	

Рис. 3. Начальные значения параметров

В результате проведенного эксперимента с моделью (рис.4) было установлено, что при средней производственной мощности тестоприготовительного отделения за одни сутки возможно произвести 23500 тестовых изделий, готовых к дальнейшему выпеканию. При этом будет затрачено: 7248 кг. муки; 5460 л. воды; 875 кг. дрожжей; 140 л. раствора сахара; 110 л. солевого раствора; 90 л. жира.

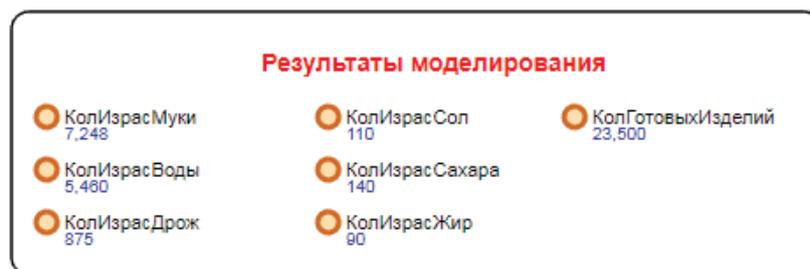


Рис. 4. Результаты моделирования

Что позволит увеличить объем выпускаемой продукции и оптимизировать процесс производства.

#### Выводы

Использование разработанной имитационной модели позволяет изучить поведение исследуемой системы во времени и сравнить результаты производимой продукции при отладке технологической мощности. Представленная модель позволяет произвести оценку устойчивости оборудования на длительном промежутке времени, при непрерывном производстве, тем самым выявлять узкие места производственной линии и дать рекомендации по модернизации производства для увеличения мощностей без потери качества выпускаемой продукции.

#### Литература

1. Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
2. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование процесса накопления знаний / Ивашкин Ю.А., Назойкин Е.А. // Программные продукты и системы № 1, 2011.с. 47-52.
3. 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.
4. 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.
5. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. М.: Высшая школа, 2010. 768 с.
6. 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.
7. <http://mppnik.ru/> – [Электронный ресурс] – «Бункерные тестомесильные агрегаты». Дата обращения-18.09.2018
8. Леоненко А.В. Самоучитель UML – 2-е изд, перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432с.