

УДК 631.363.21

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АПК

Бурлуцкий Е.М., к.т.н., доцент; Павлидис В.Д., к.ф.-м.н., профессор;

Чкалова М.В., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет»,  
г.Оренбург, Россия

Весьма перспективным в плане применения современных математических средств является моделирование сложных технологических процессов (ТП) современного сельскохозяйственного производства. Следует заметить, что математическое моделирование затруднительно без тесной связи экспериментальных исследований с развитием различных теоретических обобщений. В приложении к инженерным исследованиям в области сельского хозяйства теоретические обобщения заключаются в анализе и синтезе имеющихся закономерностей с помощью современного математического аппарата. Новые объективные закономерности устанавливаются путем логических построений на базе новых предпосылок и допущений.

Эффективность изучения тех или иных ТП во многом зависит от возможности построения их наиболее полной и адекватной модели: она позволяет изучать свойства объекта моделирования путем анализа аналогичных свойств его модели. В зависимости от характера и сложности тех или иных явлений при их изучении могут быть использованы соответствующие методы моделирования. Выбор методов определяется поставленной задачей. Однако в любом случае математическое моделирование включает в себя следующие этапы: составление математического описания процесса; создание алгоритма, моделирующего изучаемый процесс; проверку адекватности модели изучаемому процессу; использование модели.

На современном этапе развития научных исследований применяют три вида математического моделирования: аналоговое моделирование с помощью моделей прямой аналогии; аналоговое моделирование с помощью моделей непрямо аналогии; цифровое моделирование с применением моделей, состоящих из ряда отдельных арифметических операций с параметрами процесса, которые представляются в виде дискретных значений, изображаемых числами. При этом модели могут быть детерминированными и стохастическими. В детерминированных моделях процесс или действия объекта описываются аналитическими выражениями, в стохастических моделях – стохастическими уравнениями, когда физический смысл имеют не отдельные реализации процесса, а совокупность реализаций и их параметры (математическое ожидание, дисперсии, корреляционные зависимости и др.).

При моделировании ТП могут применяться следующие виды моделей:

- модели взаимосвязи факторов и параметров ТП, оценки их значений и допусков;
- модели массового обслуживания выбора состава оборудования (технических средств);
- модели массового обслуживания, распределения средств контроля по ТП;
- балансовые модели производства в непрерывном и дискретном времени.

При разработке моделей одним из простых методов является определение статистической взаимосвязанности факторов и их влияния на ТП по коэффициенту корреляции и корреляционным соотношениям.

В большинстве случаев ТП представляют собой сложные многофакторные процессы со случайным характером воздействия возмущений. Статистическую взаимо-

связь факторов и степень их влияния на исходный параметр можно определить математическими методами планирования эксперимента.

Важным является обоснованный выбор состава технических средств системы, обеспечивающего выполнение задачи при заданных ограничениях. Построение модели технических средств можно осуществить с помощью моделей теории массового обслуживания. В настоящее время эти модели исследованы, и рассматриваемую систему часто можно свести к одному из известных типов моделей.

При определении модели распределения средств контроля по технологическому циклу, в силу разнотипности испытываемых деталей и случайного характера дефекта, время контроля изделия случайно, а характер входящего потока изделий, подлежащих контролю, нестационарный и циклический. В целом систему производственного контроля можно представлять как систему массового обслуживания с ограниченным числом требований в очереди, без приоритета и с конечным числом обслуживающих аппаратов.

Система управления требует учета значительного числа факторов, связанных с динамикой как самого ТП, так и процесса управления. Применение аналитических и вероятностных методов, моделей массового обслуживания в ряде случаев дает упрощенное описание динамики реальных систем. В последнее время широко применяется имитационное моделирование, при котором осуществляется программная реализация основных моментов динамики функционирования объекта и системы управления.

Повышение эффективности производства и качества выпускаемой сельскохозяйственной продукции неразрывно связано с более полным использованием возможностей, заложенных в конструкционных особенностях рабочих агрегатов и технологиях. Сложность решения проблемы заключается в необходимости достоверного учета (а, следовательно, в последствии – и достоверного управления средствами автоматизации) взаимозависимых случайных отклонений факторов режимов, характеризующих ТП. Оценка достоверности нахождения этих факторов в пределах какого-либо допускового ограничения важна еще и потому, что применяемые средства автоматизации должны обеспечить стабильное поддержание значений этих факторов в пределах заданного допуска.

Изучение ТП ставит перед исследователем проблему выбора теоретических основ построения математической модели: детерминистского или стохастического подхода к описанию реально протекающего процесса.

Основой классического «детерминистского» подхода к описанию и анализу технологических процессов является построение математической модели второго класса вида «вход–выход». Модели первого класса (аналитические) в явном виде включают в себя конструктивные и технологические параметры исследуемого объекта. Но данное преимущество в большинстве случаев на практике не может быть использовано, так как внутренняя структура многих технологических процессов на микроуровне не исследована либо исследованы только отдельные составляющие этих процессов. Моделирование технологического процесса значительно усложняется наличием нескольких параметров оптимизации, одни из которых желательно обратить в максимум, другие – в минимум, и удовлетворить одновременно всем этим требованиям невозможно. Уменьшение числа параметров оптимизации как посредством укрупнения цели функционирования объекта исследования (например, методом главных компонент), так и сведением нескольких параметров к одному на основе исключения дублирующей информации (например, методом парной корреляции) неизбежно повлияет на адекватность построенной модели [2]. Если в результате уменьшения осталось несколько некоррелированных между собой параметров, то математические модели должны быть построены для каждого из них. Дальнейшая оптимизация по

наиболее важному параметру при наложении ограничений на все остальные, становится задачей математического программирования и реализуется в рамках имитационного моделирования.

Не менее трудоемкими являются процессы выявления и отсеивания факторов, оказывающих влияние на показатель качества функционирования объекта исследования (параметр оптимизации). Для большинства ТП случайные факторы невозможно не только учесть, но и перечислить. Существуют научно обоснованные методики, позволяющие выделить значимые для параметра оптимизации факторы (например, метод экспертных оценок), но исключить совершение ошибок I и II рода невозможно, что в конечном итоге неизбежно отразится на адекватности построенной модели реальному процессу [1].

Анализ классического «детерминистского» аппарата дает приближенное, схематичное описание технологического процесса – некоторое его «среднее» протекание, относительно которого возможны случайные отклонения, что позволяет его использовать для исследования конструктивно–технологических характеристик функционирования машин и агрегатов.

Свободным от ряда указанных недостатков является «стохастический» подход К описанию сложных технологических процессов.

В общем случае любой производственный процесс характеризуется отсутствием полной закономерности в функционировании с наличием множества случайных составляющих: время обработки единицы продукции, длительность безотказной работы агрегатов и механизмов, время простоев и восстановительных работ и т.д. Именно поэтому при моделировании сложных производств возникает необходимость рассматривать стохастические модели разных классов. Применение этого подхода позволяет учесть все возможные случайные факторы, определяющие протекание

процесса, не рассматривая в отдельности каждый из них, их взаимосвязи и долю влияния каждого конкретного фактора на процесс.

Строго говоря, в природе не существует совершенно не случайных, в точности детерминированных процессов, но есть процессы, на ход которых случайные факторы влияют так слабо, что при изучении явления ими можно пренебречь. Однако существуют и такие процессы, где случайность играет основную роль. Между двумя крайними случаями лежит целый спектр процессов, в которых случайность играет большую или меньшую роль. Учитывать такую случайность или не учитывать – этот выбор зависит, прежде всего, от цели и направления исследовательской работы.

Случайный процесс, протекающий в любой физической системе  $S$ , представляет собой случайные переходы системы из состояния в состояние. Состояние системы может быть охарактеризовано качественно или количественно, а сам процесс сводится к «блужданию по состояниям». Эта сторона теоретико–инженерных исследований наиболее полно описывается теорией случайных потоков, марковских процессов, на основе которых были разработаны разнообразные модели систем массового обслуживания (СМО) [2]. В них в полной мере нашло отражение основное свойство марковского процесса: «будущее» зависит от «прошлого» только через «настоящее».

СМО часто классифицируются по числу каналов обслуживания и по числу фаз обслуживания. Наиболее исследованы однофазовые системы, описывающие реальные процессы, в которых объект обслуживается в одном пункте (на одном агрегате, рабочем месте и др.) и затем покидает систему.

В описании ТП можно использовать различные модели систем массового обслуживания. Характеристики четырех наиболее часто встречающихся в практике моделей даны в табл. 1. Все четыре модели имеют следующие общие характеристики: нуас-

соновское распределение заявок; правило обслуживания - FIFO (первым пришел – первым получил обслуживание); единственную фазу обслуживания.

Таблица 1 - Модели массового обслуживания

Модель	Название с техническим наименованием	Пример	Число каналов	Число фаз	Темп поступления заявок	Темп обслуживания	Число клиентов	Порядок прохождения очереди
<b>A</b>	Простая система (М/М/1)	Подборщик тюков сена на полях	Один	Одна	Пуассоновский	Экспоненциальный	Неограничено	FIFO
<b>B</b>	Многоканальная (М/М/S)	Уход измельченных частиц через отверстия решета	Несколько	Одна	Пуассоновский	Экспоненциальный	Неограничено	FIFO
<b>C</b>	Равномерное обслуживание (М/D/1)	Автоматическая автомойка	Один	Одна	Пуассоновский	Экспоненциальный	Неограничено	FIFO
<b>D</b>	Ограниченная популяция	Ремонт единиц МТП	Один	Одна	Пуассоновский	Экспоненциальный	Неограничено	FIFO

Актуальные запросы теории управляемых и случайных технологических процессов стимулировали прикладные теоретико-вероятностные исследования потоков событий (из них важнейшие – поток Пуассона, поток Пальма, поток рекуррентный и др.), исследования в области теории управления случайными процессами, в области теории массового обслуживания и в теории надежности. На современном этапе развития научных исследований стохастических систем и процессов формируется ряд новых направлений их применения

– разработка теории дискретных и интегральных канонических разложений случайных процессов;

– создание общей теории среднеквадратической оптимизации линейных стохастических систем;

– разработка методов приближенного анализа нелинейных стохастических систем управления и, в частности, создание теории нормализации сложных стохастических систем;

– разработка математического и программного обеспечения ЭВМ для автоматизации процесса синтеза алгоритмов анализа, фильтрации, экстраполяции и сглаживания процессов в сложных стохастических динамических системах [3]. Это открывает новые перспективы в области исследований реально протекающих процессов.

### Литература

1. Бешелев. С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Е.Г. Гурвич М.: Статистика, 1974.
2. Вентцель, Е.С Исследование операций / Е.С Вентцель М.: Высшая школа, 2000. 550 с.
3. Пугачев. В.С Теория стохастических систем / В.С Пугачев, И.Н. Сеницын. М.: Логос, 2004. 1000 с.: ил.