

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. А. Барановская

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АГРОНОМИИ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
35.04.04 Агрономия

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2025

Рецензент

кандидат технических наук, доцент, зам. директора Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «КГТУ» по основной образовательной деятельности, доцент кафедры технологии продуктов питания
М. Н. Альшевская

Барановская, Е. А.

Математическое моделирование в агрономии: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 35.04.04 Агрономия / Е. А. Барановская. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 49 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Математическое моделирование в агрономии» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, предназначенные для направления подготовки 35.04.04 Агрономия.

Табл. 2, список лит. – 10 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к опубликованию кафедрой агрономии и агроэкологии 16 октября 2025 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 31 октября 2025 г., протокол № 8

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУ- ЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ	36
ТЕЗАУРУС	39
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	47

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование в агрономии» является приобретение глубоких знаний и практических навыков разработки и применения математических моделей для решения прикладных задач адаптивного земледелия, включая прогнозирование продуктивности агроценозов, управление плодородием почв, оптимизацию режимов обработки и внесения удобрений, а также оценку воздействия антропогенных и природных факторов на устойчивость и эффективность растениеводства.

Дисциплина Б1.О.05 «Математическое моделирование в агрономии» входит в состав обязательной части образовательной программы (ОП) магистратуры по направлению 35.04.04 Агрономия, профиль «Адаптивно-ландшафтные системы земледелия».

При реализации дисциплины «Математическое моделирование в агрономии» организуется практическая подготовка путем проведения лабораторных работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки.

ОПК-3: Способен использовать современные методы решения задач при разработке новых технологий в профессиональной деятельности.

ОПК-4: Способен проводить научные исследования, анализировать результаты и готовить отчетные документы.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

Знать:

- классификацию и свойства моделей, принципы и этапы математического моделирования;

- специализированные электронные информационно-аналитические ресурсы при планировании и проведении исследовательских работ в области агрономии;

- правила работы со специальным программным обеспечением при проведении статистической обработки результатов исследований и расчетов эффективности внедрения инноваций, оформляя в первичной документации по опытам в соответствии с требованиями методики опытного дела.

Уметь:

- определять перспективную тему исследований с учетом критического анализа полученной информации;

- пользоваться специальным программным обеспечением при проведении статистической обработки результатов исследований и расчетов эффективности внедрения инноваций;

- обрабатывать результаты исследований с использованием методов математической статистики.

Владеть:

- навыками проведения экспериментов (полевых опытов) по оценке эффективности инновационных технологий (элементов технологии), сортов и гибридов в условиях производства с последующим сбором результатов и анализом методами математической статистики.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Математическое моделирование в агрономии», студент должен научиться работать на лекциях, семинарских занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции, с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области инновационной деятельности пищевых производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями (таблица 1).

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Кол-во часов ЛЗ
		Очная форма
1	Методологические и теоретические основы моделирования и проектирования	4
2	Описательная статистика как основа математического моделирования	4
3	Регрессионные модели	4
4	Вероятностные модели	4
5	Дисперсионный анализ	4
6	Прогнозирование рядов динамики	4
7	Имитационные модели	4
8	Прикладные модели в агрономии	4
Итого		32

Содержание тем лекций

Тема 1. Методологические и теоретические основы моделирования и проектирования

Ключевые вопросы темы:

1. Понятие о моделях и моделировании.
2. Принципы моделирования.

Ключевые понятия: модели, описательные (эмпирические) и объяснятельные (теоретические), оптимационные и имитационные, статистические и динамические, детерминистические и стохастические.

Методические рекомендации

Изучение темы следует начать с определения понятия «модель», рассмотрев различные виды моделей и их применение в биологии, экологии и агрономии. Затем следует подробно остановиться на истории математического моделирования и применении моделирования в сельском хозяйстве.

Специфичность биологических систем требует применения адекватного математического аппарата. Однако это вовсе не значит, что необходимо ждать появления новой биологической математики.

В биологических исследованиях накоплен обширный опыт использования существующих математических методов и моделей.

Сложность математических моделей с неизбежностью ведет к широкому использованию компьютерной техники как для обработки данных и уточнения параметров моделей, так и для постановки машинного эксперимента, во многих случаях призванного заменить дорогостоящий натурный эксперимент. Поэтому дальнейшее развитие математического моделирования видится на пути создания новых информационных технологий как инструмента построения содержательных моделей, накопления и хранения информации, полученной в результате исследования этих моделей.

Моделирование – это процесс построения и изучения модели какого-либо объекта (системы, процесса).

Модель – это материальный или мыслительный (абстрактный) объект, который по ходу изучения замещает объект – оригинал (процесс), сохраняя некоторые свойства последнего, важные для конкретного исследования.

Последовательность этапов построения модели, взаимосвязь модели и объекта можно представить следующим образом:

Система (объект, процесс) \leftrightarrow Эксперимент (информация об объекте) \rightarrow Модель системы \rightarrow Изучение модели \rightarrow Коррекция модели \rightarrow Выводы и рекомендации

Модели используют для того, чтобы:

1. Понять, какова внутренняя структура конкретного объекта или (и) структура его взаимодействия со средой.
2. Установить наиболее важные связи внутри структуры.
3. Установить количественные параметры этих связей.
4. Прогнозировать изменения объекта и среды при определенных воздействиях.
5. Провести оптимизацию объекта и (или) внешних воздействий на него.

Удачная модель даёт новые знания об объекте.

Студенту необходимо четко усвоить значение моделирования, которое заключается в следующих позициях:

1. Гипотезы об объекте, выраженные математически, могут служить количественным описанием биологических, сельскохозяйственных и других объектов (процессов) и тем самым способствуют более углубленному их пониманию.

2. Математическая модель часто подсказывает способ представления результатов научных исследований в форме, удобной для использования в практике (графики, гистограммы).

3. Благодаря модели может быть количественно оценена экономическая эффективность внедрения нового объекта или процесса в производство.

4. Модель позволяет выбрать оптимальную стратегию воздействия на объект.

5. Модель дает возможность сократить объем дальнейших экспериментальных работ с объектом.

6. При исследовании сложных объектов модель позволяет объединить разрозненные знания об отдельных частях системы в единое целое (имитационное моделирование).

7. Модель позволяет выбрать наиболее рациональную стратегию и тактику реализации исследовательских программ (теория планирования эксперимента).

8. Математическая модель – это мощное средство обобщения разнородных данных об объекте, позволяющее осуществлять как интерполяцию (восстановление недостающей информации о прошлом), так и экстраполяцию (прогнозирование будущего поведения объекта). В основе любой математической модели и метода ее анализа лежит математический аппарат. Это могут быть дифференциальные уравнения, формулы теории вероятностей, математической статистики и т. д. Правильный подбор математического аппарата – необходимое условие построения удачной модели.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое моделирование, общее определение модели, для чего их используют?

2. Приведите классификацию моделей и определение математической модели.

3. В чем разница понятий робастности и адекватности модели?

4. Что такое идентификация, настройка и верификация модели? Как они проводятся?

5. Чем отличаются дескриптивные и оптимизационные модели?

6. Почему метод моделирования получил широкое применение в сельском хозяйстве?

7. Какие виды моделирования применяются в агрономии?

Тема 2. Описательная статистика как основа математического моделирования

Ключевые вопросы темы:

1. Виды средних величин. Свойства средних величин: срединное положение, абстрактность, единство суммарного действия.

2. Средняя арифметическая и её математические свойства.

3. Средняя квадратическая, гармоническая и их практическое значение в профессиональной деятельности.
4. Структурные средние: мода и медиана.
5. Показатели изменчивости данных. Размах вариации, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, относительный коэффициент вариации.
6. Шкала интерпретации величины изменчивости Мамаева по относительному коэффициенту вариации.
7. Причины изменчивости показателей в биологических системах.

Ключевые понятия: оптимизационные модели, мода, медиана, интервальная, порядковая или номинальная шкалы.

Методические рекомендации

При изучении данной темы следует рассмотреть круг задач, решаемый методами описательной статистики. Необходимо изучить показатели, являющиеся мерами центральных тенденций в выборке, их свойства, преимущества и недостатки применения, а также частные случаи использования.

Обратить внимание на показатели, характеризующие разнообразие объектов в исследуемых выборках. Изучить факторы, влияющие на изменчивость данных. При изучении методов описательной статистики следует акцентировать внимание на типизации ошибок в исходных данных, причину их возникновения. Изучить понятие репрезентативности и принципы оценки ошибок репрезентативности. Также рекомендуется уделить внимания методам идентификации выбросов в данных, преимуществам и недостаткам их применения.

Для освоения материала по данной теме требуется также изучить показатели, связанные с описанием формы распределения случайной величины и их интерпретацию. Помимо этого рекомендуется рассмотреть наиболее часто встречающиеся законы распределения и рассмотреть примеры этих распределений, встречающиеся в практике сельскохозяйственных исследований. Следует акцентировать внимание на различиях в статистическом описании выборок в зависимости от характера распределения или способом выражения значений переменных (интервальная, порядковая или номинальная шкалы), а также рассмотреть причины этих различий.

Вопросы для самоконтроля:

1. Как проявляется свойство абстрактности средней величины?
2. Что характеризует мода?
3. Что характеризует медиана?
4. В каких случаях использование структурных средних предпочтительнее средней арифметической?
5. В каких случаях используется средняя взвешенная?

6. По каким показателям можно судить об изменчивости изучаемых признаков?
7. Что характеризует среднеквадратическое отклонение?
8. От чего зависит величина дисперсии?
9. Какие имеются недостатки использования стандартного отклонения?
10. В каких случаях предпочтительнее использовать коэффициент вариации для характеристики изменчивости признака в выборке?
11. Какой класс ошибок учитывается математической статистикой?
12. Что показывает ошибка выборочной средней?
13. Как определяется ошибка генеральной средней?
14. Какими факторами определяется величина ошибки?
15. От каких факторов зависит необходимый объём выборки?
16. Что представляет собой распределение случайной величины?
17. Какие основные параметры характеризуют нормальное распределение?

Тема 3. Регрессионные модели

Ключевые вопросы темы:

1. Корреляционные связи как этап регрессионных моделей.
 2. Задачи корреляционного анализа.
 3. Направление корреляционных связей: прямые и обратные.
 4. Форма корреляционных связей: прямолинейная и криволинейная.
- Оценка формы связи.
5. Параметрические показатели тесноты связи.
 6. Коэффициент линейной корреляции Пирсона, вычисление, интерпретация, шкала Чеддока, шкала Голубкова, область применения.
 7. Корреляционное отношение Пирсона (η), вычисление, интерпретация, область применения. Коэффициент детерминации (R^2).
 8. Регрессия. Зависимые и независимые переменные.
 9. Формы представления регрессии: ряды регрессии, линии регрессии, коэффициент регрессии, уравнение регрессии.
 10. Регрессионный анализ и его задачи.
 11. Уравнение регрессии.
 12. Регрессионные модели. Простая и множественная модели линейной регрессии, параметры модели.
 13. Оценка достоверности показателей регрессии, критерии достоверности, оценка значимости параметров уравнения регрессии (F-критерий, t-критерий), доверительный интервал регрессии.

Ключевые понятия: корреляция, регрессия, регрессионный анализ, линейная модель.

Методические рекомендации

Для успешного освоения данной темы следует рассмотреть понятие корреляции, виды корреляционных связей, способы измерения тесноты связи между переменными. Также рекомендуется акцентировать внимание на выборе способа оценки тесноты связи в зависимости от характера зависимости (линейная, криволинейная) и от способа выражения переменных (количественные переменные, ранжированные, качественные).

При рассмотрении регрессионного анализа необходимо изучить способы представления регрессии и общую схему проведения анализа. Особое внимание следует уделить вопросам, связанным с методами подбора регрессионных моделей и методами оценки качества их подбора. Для лучшего понимания темы рекомендуется дополнить изучение примерами использования регрессионных моделей разного вида для типовых ситуаций, возникающих в практике агроомических исследований.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое корреляция?
2. В чём заключается отличие функциональных связей от корреляционных?
3. Какие задачи решает корреляционный анализ?
4. Какие связи между признаками называют прямыми?
5. Какие связи между признаками называют обратными?
6. Как определить направление корреляционной связи?
7. Для каких типов корреляционных связей использование коэффициента корреляции Пирсона является некорректным?
8. Какие существуют ограничения для применения коэффициента корреляции Пирсона?
9. Какие показатели используются для оценки тесноты связи криволинейных связей?
10. Какова область применения непараметрических показателей тесноты связи?
11. Какие показатели связи используются для качественных признаков?
12. Какой коэффициент корреляции используется для оценки связи, если один из признаков является бинарным (например, пол)?
13. Что показывает коэффициент детерминации?
14. Какой показатель связи может быть использован для оценки тесноты ассоциации обитания двух биологических видов?
15. Какой показатель связи может быть использован для оценки степени сопряжённости проявления качественных признаков?
16. Что характеризуют частные коэффициенты корреляции?
17. Какие задачи решаются с помощью регрессионного анализа?
18. Что показывает коэффициент регрессии?
19. Какие допущения о характере связи принимаются при использовании коэффициента регрессии?
20. Какие этапы включает в себя проведение регрессионного анализа?

21. В чём заключается сущность метода наименьших квадратов?
22. В чём заключается сущность метода наименьших абсолютных отклонений?
23. Каким образом проводится подбор уравнения регрессии?

Тема 4. Вероятностные модели

Ключевые вопросы темы:

1. Виды вероятностных моделей.
3. Оценка вероятностных моделей.
4. Применение вероятностных моделей.

Ключевые понятия: вероятность, стохастическая модель, марковские процессы, валидация.

Методические рекомендации

При рассмотрении теоретического материала следует использовать вероятностные, оптимизационные и многофакторные модели, а также модели типа «хищник-жертва», модели с нулевой суммой и модели катастроф.

Вероятностные модели (стохастические модели) – это модели, которые учитывают неопределённость, присущую реальным данным, и делают прогнозы на основе распределений вероятностей, а не абсолютных значений. Такие модели позволяют исследовать случайные события, выявлять закономерности и делать обоснованные выводы о будущем.

Виды вероятностных моделей:

Дискретные – для анализа событий, которые могут принимать конечное или счётное количество значений, например, количество выброшенных граней игральной кости.

Непрерывные – применяются для событий, имеющих бесконечное множество возможных значений, таких как время, температура или расстояние.

Марковские процессы – основаны на принципе, что будущее состояние системы зависит только от её текущего состояния, а не от предшествующих состояний.

Методы построения вероятностных моделей

Процесс построения вероятностной модели включает несколько этапов:

1. Формулировка гипотез о природе изучаемых явлений и их взаимосвязях.
2. Выбор подходящего типа вероятностного распределения для моделирования данных.
3. Оценка параметров выбранного распределения на основе имеющихся данных.
4. Валидация модели через сравнение прогнозов с фактическими результатами.
5. Калибровка и оптимизация модели для улучшения точности прогнозов.

Применение вероятностных моделей

Вероятностные модели используются в различных сферах, например:

Машинное обучение и искусственный интеллект – помогают создавать алгоритмы, которые могут обучаться на основе данных и делать прогнозы. Например, алгоритмы, основанные на вероятностных моделях, могут использоваться для классификации объектов, распознавания образов и анализа текстов.

Медицина – для оценки рисков и прогнозирования исходов заболеваний, например, анализа вероятности развития определённых заболеваний на основе генетических, возрастных и других факторов.

Социальные науки – для анализа социальных процессов, таких как миграция населения, изменения в общественном мнении и поведение потребителей.

Оценка вероятностных моделей

После построения модели важно провести её валидацию. Для этого используются метрики точности прогнозов, такие как среднеквадратическая ошибка (RMSE), средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент определённости (R^2). Кросс-валидация и бутстррап позволяют оценить устойчивость модели к изменениям во входных данных.

Важно помнить, что любая вероятностная модель требует периодического пересмотра и корректировки по мере накопления новых данных.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что собой представляют вероятностные модели?
2. В каких областях применяются вероятностные модели?
3. Каким образом можно оценить вероятностные модели?
4. Каковы виды вероятностных моделей?
5. Какие существуют методы построения вероятностных моделей?

5 Дисперсионный анализ

Ключевые вопросы темы:

1. Понятие дисперсионного анализа.
2. Роль дисперсионного анализа в математическом моделировании.
3. Виды дисперсионного анализа (однофакторный, двухфакторный и др.).
4. Методики расчета и интерпретация результатов при применении дисперсионного анализа.

Ключевые понятия: дисперсия, выборка, гипотеза, статистика.

Методические рекомендации

Дисперсионный анализ – это статистический метод, который используется для сравнения средних значений двух или более выборок. Он позволяет определить, различаются ли средние значения между группами или же различия случайны. Анализ используется в различных областях, включая науку, ин-

женерию, медицину, социологию и многие другие, где необходимо доказать связь между переменными.

Дисперсионный анализ является мощным инструментом, который может использоваться в статистическом анализе для оценки влияния исследуемого фактора на зависимую переменную. Это помогает установить, является ли фактор значимым, и позволяет идентифицировать взаимодействие между переменными. Дисперсионный анализ также позволяет определить, насколько сильны различия между группами, что может быть полезно при выборе стратегий манипулирования факторами.

Правильное применение дисперсионного анализа может доставить большую пользу и сделать исследование намного более информативным.

Теория дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ может быть использован для различных целей, например для сравнения средних значений для разных групп или для проверки влияния факторов на исходы. Для проведения дисперсионного анализа необходимо определить несколько гипотез:

Нулевая гипотеза – это гипотеза, согласно которой никаких статистически значимых различий между группами не существует. В контексте дисперсионного анализа она утверждает, что средние значения всех групп равны между собой.

Например, при проведении исследования по сравнению среднего уровня дохода людей в разных группах (например, по возрасту или образованию) нулевая гипотеза будет звучать так: «Средний уровень дохода во всех группах одинаков».

Установление нулевой гипотезы является важным шагом в проведении статистического тестирования, поскольку это позволяет определить статистическую значимость различий между группами. Если результаты тестирования указывают на то, что нулевую гипотезу можно отвергнуть, то это говорит о том, что существует статистически значимое различие между группами.

Нулевая гипотеза может быть отвергнута при помощи статистических инструментов, таких как р-значение, которое оценивает вероятность того, что различия между группами являются случайными. Чем меньше р-значение, тем больше вероятность того, что нулевая гипотеза является ложной и существуют статистически значимые различия между группами. Обычно, если р-значение меньше 0,05, то нулевая гипотеза считается отвергнутой.

Альтернативная гипотеза – это гипотеза, которая предполагает, что статистически значимые различия между группами существуют. В контексте дисперсионного анализа альтернативная гипотеза утверждает, что хотя бы одно из средних значений групп отличается от среднего значения других групп.

Важно отметить, что нулевая гипотеза всегда предполагается исходной (default hypothesis), и ее опровержение ставит вопрос об альтернативной гипотезе. Поэтому при проведении дисперсионного анализа рассматриваемые гипотезы обычно выглядят так: «Нулевая гипотеза: средние значения всех групп равны между собой» и «Альтернативная гипотеза: хотя бы одно из средних значений групп отличается от среднего значения других групп».

Нулевая и альтернативная гипотезы используются для оценки различий между группами и определения статистической значимости этих различий. Результаты теста могут помочь исследователям выявить факторы, влияющие на исходы исследования. Если нулевая гипотеза была отвергнута, то это означает, что между группами есть статистически значимые различия, и изучение этих различий может помочь исследователям понять, какой фактор оказывает наибольшее влияние на исходы.

В дисперсионном анализе используются три типа дисперсии: межгрупповая дисперсия, внутригрупповая дисперсия и общая дисперсия. Межгрупповая дисперсия представляет различия между средними значениями групп, внутригрупповая дисперсия представляет изменчивость внутри каждой группы, а общая дисперсия – это сумма межгрупповой и внутригрупповой дисперсий.

Для проведения дисперсионного анализа существует несколько типов тестов, каждый из которых может быть использован в зависимости от типа данных и количества групп. Например, однофакторный дисперсионный анализ используется для сравнения средних значений при одном факторе, а двухфакторный дисперсионный анализ используется для сравнения средних значений при двух или более факторах.

Типы дисперсионного анализа

Однофакторный дисперсионный анализ – это метод статистического анализа данных, который используется для определения наличия статистически значимых различий между двумя или более группами по одной независимой переменной.

Данный метод широко используется в научных исследованиях, маркетинговых исследованиях и других областях, где необходимо определить различия между двумя или более группами объектов или явлений.

Входными данными для однофакторного анализа являются значения зависимой переменной и групповой фактор, на основе которых проводится анализ. Фактор может быть любой номинальной или порядковой переменной, которая разделяет выборку на группы (в простом случае это может быть пол, возраст, уровень образования и так далее). Зависимая переменная – это та переменная, которую мы хотим сравнить в различных группах.

Однофакторный дисперсионный анализ проверяет нулевую гипотезу о том, что среднее значение зависимой переменной одинаково во всех группах. Если p -значение меньше заданного уровня значимости (обычно 0,05), тогда мы можем сделать вывод о том, что средние значения по группам различаются статистически значимо друг от друга. Кроме того, однофакторный анализ дает множество других статистических показателей, включая среднее значение, стандартное отклонение, диапазон, размах, медиану, аномальные значения и так далее.

В качестве дополнительного анализа для определения различий между группами могут быть использованы такие методы, как Т-тест, АНКОВА и другие.

Однофакторный дисперсионный анализ является базовым методом анализа для исследования факторов, которые влияют на зависимые переменные в

различных группах. Использование этого метода помогает объективно оценивать результаты и достоверно определять, какие факторы играют ключевую роль в исследуемом явлении или процессе.

Двухфакторный дисперсионный анализ – это метод статистического анализа данных, который позволяет определить наличие статистически значимых различий между группами по двум независимым переменным (факторам). Такой подход позволяет оценить влияние каждой независимой переменной на зависимую переменную, а также выявить возможное взаимодействие между факторами. В случае значимых различий производится дополнительный анализ, чтобы установить, между какими группами существуют различия.

Многовариантный дисперсионный анализ (analysis of variance) – это статистический метод, который используется для анализа различий между группами (факторами) и влияния различных переменных (факторов) на исследуемую зависимую переменную. Он позволяет выявить, есть ли статистически значимое влияние одного или нескольких факторов на зависимую переменную, и определить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние.

Многовариантный дисперсионный анализ может использоваться для анализа различных типов данных, включая непрерывные, дискретные и категориальные переменные. Он также может рассчитываться для различных уровней взаимодействия между факторами, что позволяет учитывать сложные взаимодействия между переменными.

Основная идея многовариантного анализа заключается в том, что общее количество изменений в зависимой переменной разделяется на две части: изменения, связанные с факторами, и изменения, которые не могут быть объяснены факторами (остаток). Факторы могут быть любого типа, но обычно они бывают двух типов: факторы, которые могут быть контролируемыми или экспериментальными (например, воздействие на здоровье человека разных типов диет), и факторы, которые являются неконтролируемыми или наблюдаемыми (например, пол, возраст, образование).

Метод многовариантного дисперсионного анализа может быть выполнен в несколько шагов. Сначала нужно провести анализ на уровне каждого фактора (унимодальный анализ – one-way ANOVA). Затем производится многовариантный анализ, который позволяет оценить влияние всех факторов на зависимую переменную одновременно. Для этого используется многовариантный тестовый показатель F-статистики.

Многовариантный дисперсионный анализ также может использоваться для оценки взаимодействия между факторами, например могут ли переменные влиять друг на друга или быть нелинейными. Для этого используется двухфакторный или трехфакторный дисперсионный анализ, в котором изучается влияние нескольких факторов на зависимую переменную.

Многовариантный дисперсионный анализ является полезным инструментом для исследования дисперсии и определения значимости факторов в зависимой переменной. Он также может использоваться в более сложных исследованиях, таких как оценка взаимодействия между группами и изучения различных факторов, влияющих на зависимую переменную.

Шаги проведения дисперсионного анализа

Определение гипотезы – это основной шаг, который необходимо проделать перед проведением дисперсионного анализа. Гипотеза должна содержать утверждение о том, что средние значения переменной одинаковы в нескольких группах.

Например, предположим, что мы хотим узнать, есть ли статистически значимые различия в среднем росте людей в трех группах: мужчины, женщины и дети. Тогда нулевая гипотеза будет состоять в том, что средний рост одинаков во всех трех группах. Альтернативная гипотеза будет заключаться в том, что средний рост отличается в двух или более группах.

Нулевая гипотеза всегда формулируется таким образом, что она может быть отвергнута на основе статистических данных. Например, если p -value меньше выбранного уровня значимости, то можно отбросить нулевую гипотезу и предположить, что существуют различия между группами.

Важно, чтобы гипотеза была четкой и такой, которую можно проверить с помощью статистических данных. В противном случае проведение дисперсионного анализа становится бессмысленным.

Сбор данных – это следующий шаг после определения гипотезы, который необходимо выполнить перед проведением дисперсионного анализа. Для сбора данных нужно определить, какие переменные изучаются, какие группы данных будут сравниваться и какой размер выборки необходим.

Выбор уровня значимости – это важный шаг дисперсионного анализа, который определяет вероятность того, что различия между группами являются случайными. Обычно уровень значимости принимается равным 0,05 (5 %), что означает, что различия между группами, имеющие вероятность меньше 5 %, считаются статистически значимыми.

Выбор правильного уровня значимости очень важен, так как неправильно выбранный уровень значимости может привести к неверным выводам. Если уровень значимости выбран слишком высоким, то могут быть найдены статистически значимые различия, которых на самом деле нет. Если уровень значимости слишком низкий, то могут быть пропущены настоящие статистически значимые различия.

Правильный выбор уровня значимости зависит от цели исследования, характеристик групп и размеров выборки. Этот выбор должен быть продуманным и основываться на знаниях и опыте в данной области.

Определение степеней свободы и критических значений: степени свободы – это количество наблюдений, которые могут быть свободно изменены в каждой группе данных. Критическое значение – это значение, при котором различия между группами становятся статистически значимыми.

После сбора данных и выбора уровня значимости необходимо рассчитать статистические показатели для проведения дисперсионного анализа. Статистические показатели, которые используются в дисперсионном анализе, – это F -статистика и p -value.

F -статистика (F -значение) измеряет различия между группами, то есть отношение между средними значениями в группах и дисперсией внутри групп.

Если F-значение большое, то это указывает на статистически значимые различия между группами.

p-value (вероятность) – это вероятность того, что различия между группами были случайными и не связаны с фактором, который изучается. Если p-value меньше выбранного уровня значимости, то можно отбросить нулевую гипотезу и утверждать, что между группами есть статистически значимые различия.

Важно знать, что F-статистика и p-value не являются самостоятельными критериями для определения статистической значимости. Они должны использоваться вместе с другими статистическими методами для получения более точных результатов.

Оценка результатов и интерпретация полученных данных: после проведения дисперсионного анализа необходимо проанализировать полученные результаты. Если значение p-value меньше уровня значимости, то можно отбросить нулевую гипотезу и утверждать, что между группами есть статистически значимые различия. Интерпретируя эти различия, можно выйти на конкретный вывод, касающийся фактора, который изучается.

Пример применения дисперсионного анализа

Представим, что у нашего интернет-магазина есть три различных дизайна для главной страницы сайта, и мы хотим определить, какой из них наиболее эффективен в увеличении количества продаж. В этом случае мы можем провести эксперимент, в котором будут участвовать три группы покупателей, каждой группе будет показан только один из дизайнов главной страницы.

Для начала мы должны определить, сколько покупателей нужно включить в каждую группу. Чтобы определить размер каждой группы, мы можем использовать статистические методы для расчета минимального размера выборки. Допустим, мы решили, что каждая группа должна состоять из 1000 покупателей.

Для этого эксперимента мы должны также определить, какие метрики будут измеряться. Для нашего примера мы будем измерять среднее количество продаж на каждого покупателя в каждой группе.

Когда эксперимент будет завершен, мы будем иметь данные о количестве продаж для каждой группы. Мы можем использовать дисперсионный анализ для анализа данных и определения, есть ли значимые различия между группами.

Перед проведением анализа необходимо проверить данные на нормальность распределения и выполнить другие необходимые условия для проведения анализа.

После проведения дисперсионного анализа мы получаем статистические показатели, такие как F-значение и p-значение. F-значение показывает различия между средними значениями групп, а p-значение показывает статистическую значимость различий между группами. Если p-значение меньше заданного уровня значимости (обычно 0,05), то мы можем сделать вывод о наличии значимых различий между группами.

Например, если мы получили F-значение 3,5 и p-значение 0,02, то мы можем сделать вывод о наличии статистически значимых различий между группами.

пами. Это означает, что один дизайн главной страницы сильнее влияет на увеличение продаж, чем другие.

Дополнительно, если у нас есть статистически значимые различия между группами, мы можем провести дополнительный анализ, например сравнение каждой группы с другой с помощью теста Тюрки или Холма, чтобы определить, где именно находятся различия. Также мы можем рассмотреть другие важные метрики, такие как время проведения эксперимента и влияние внешних факторов на продажи.

Дисперсионный анализ – это только инструмент, который помогает нам делать выводы на основе данных. Поэтому проведение эксперимента должно быть тщательно спланировано и осуществлено в соответствии с научными методами для того, чтобы результаты были надежными и полезными для бизнеса.

Дисперсионный анализ очень важен для статистического анализа данных и исследований. Этот метод позволяет определить, какие факторы влияют на изменения в группах и имеет множество применений.

Вопросы для самоконтроля:

1. На каких допущениях относительно случайных величин, определяющих остаточные эффекты, основан дисперсионный анализ?
2. Для решения каких задач используется дисперсионный анализ?
3. К какому виду исследований относится дисперсионный анализ в модели с фиксированными эффектами?
4. Что представляет собой межгрупповая (факториальная) дисперсия?
5. Что представляет собой внутригрупповая дисперсия?
6. Запишите основное тождество дисперсионного анализа.
7. Какой критерий используется в однофакторном дисперсионном анализе с фиксированными эффектами для проверки гипотезы о влиянии фактора на исследуемую величину?
8. Что отражается в таблице дисперсионного анализа?
9. Предположим, что в результате проведенного дисперсионного анализа проверяемая гипотеза о равенстве математических ожиданий при различных уровнях фактора отклонена. Каким образом можно выяснить, какие из математических ожиданий различны?
10. В чем отличие модели дисперсионного анализа со случайными эффектами от модели с фиксированными эффектами? Какая гипотеза проверяется в модели со случайными эффектами?
11. Какие способы взаимодействия факторов можно выделить в двухфакторном дисперсионном анализе?
12. Какие гипотезы проверяются в двухфакторном дисперсионном анализе?
13. В чём особенность проведения двухфакторного дисперсионного анализа с пересечением уровней при неповторяющем эксперименте?
14. С помощью каких критериев можно проверить гипотезу об однородности дисперсий нескольких выборок?
15. Какая статистика используется в ранговом однофакторном анализе?
16. Какая статистика используется в ранговом двухфакторном анализе?

6 Прогнозирование рядов динамики

Ключевые вопросы темы:

1. Понятие о временных рядах.
2. Задачи анализа временных рядов.
3. Уровни ряда.
4. Ряды динамики абсолютных, относительных и средних показателей уровня ряда.
5. Средние показатели уровней ряда. Расчёт среднего уровня ряда для интервального и моментного временного ряда.
6. Абсолютные приросты, цепные и базисные. Средний абсолютный прирост. Темпы роста (относительный прирост), цепные и базисные темпы роста и связь между ними. Средний темп роста, абсолютный и относительный. Темпы прироста (снижения). Коэффициент опережения. Средний темп прироста.
7. Структура изменчивости рядов динамики. Тренд. Систематические колебания и их причины. Случайные колебания. Показатели изменчивости уровней ряда. Колебания относительно среднего уровня ряда, колебания относительно тренда. Понятие о «сезонной волне». Индекс сезонности. Среднеквадратичное отклонение индексов сезонности. Разложение дисперсии уровней ряда на сезонные и трендовые.
8. Корреляция рядов динамики. Методы исключения автокорреляции из временных рядов: коррелирование отклонений от выравненных уровней; коррелирование последовательных разностей. Корреляция временных рядов с лагом. Скользящие коэффициенты корреляции.
9. Типы моделей динамики: горизонтальная модель, трендовая, сезонная, циклическая модель.
10. Методы выявления тренда временных рядов. Выравнивание рядов динамики. Метод укрупнения интервалов. Метод скользящей средней, простая и взвешенная скользящая средняя. Аналитическое выравнивание. Выравнивание рядов динамики с использованием периодических функций. Период и частота колебаний. Методы спектрального анализа колебаний. Устранение тренда (фильтр низкочастотных колебаний). Скользящее усреднение (высокочастотная фильтрация). Преобразование Фурье, гармоники. Вейвлет-анализ, вейвлет преобразование.
11. Основные этапы прогнозирования рядов динамики. Методы прогнозирования: наивная модель, метод простого среднего, метод скользящего среднего (МА-модель), метод двойного скользящего среднего, простое экспоненциальное сглаживание, экстраполяционные методы.

Ключевые понятия: временной ряд, уровень ряда, корреляция, динамика, тренд, прогнозирование.

Методические рекомендации

В процессе изучения данной темы требуется сформировать представление о временных рядах, их видах и задачах, решаемых с использованием анализа динамических рядов. Следует изучить способы выражения средних и скоростных характеристик изменения уровней временных рядов. Важно ознакомиться с принципиальными различиями между интервальными и моментными рядами и связанными с ними особенностями расчёта основных показателей временных рядов.

Особое внимание надлежит уделить вопросам подготовки данных о динамике изучаемых явлений, включая сведение рядов динамики, фильтрацию данных, устранение автокорреляции. Также необходимо рассмотреть структуру временного ряда и способы выявления трендовой составляющей, сезонной компоненты и случайных колебаний уровня ряда. Важным этапом обучения является прогнозирования временных рядов, в связи с чем требуется изучить общие принципы и современные методы прогнозирования динамических показателей.

При изучении данной темы следует привести примеры прикладного применения методов анализа временных рядов в рыбохозяйственных исследованиях, например в анализе промысловой статистики, при изучении динамики численности популяции, темпов роста, динамики биологических показателей в экспериментальных исследованиях.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что представляет собой временной ряд?
2. Чем является независимая переменная в рядах динамики?
3. В какой форме могут быть представлены относительные уровни ряда динамики?
4. Как рассчитываются темпы роста?
5. Что представляет собой показатель темпа прироста (снижения)?
6. Что характеризует коэффициент опережения?
7. Как рассчитывается средний уровень интервальных временных рядов?
8. Как рассчитывается средний уровень моментных временных рядов с равными моментами?
9. Как рассчитывается средний темп роста?
10. Какие компоненты динамики можно выделить при анализе временных рядов?
 11. С какой целью проводят сглаживание рядов динамики?
 12. Какие существуют методы сглаживания рядов динамики?
 13. Какими способами можно выразить изменчивость уровней ряда?
 14. Что представляет собой тренд колебаний уровня?
 15. В чём отличие циклических колебаний от сезонных?
 16. Какие существуют методы выявления «сезонной волны» изменения уровней временных рядов?
 17. Что показывает индекс сезонности и какое значение он имеет для прогнозирования рядов динамики?

7 Имитационные модели

Ключевые вопросы темы:

1. Понятие имитационной модели.
2. Свойства имитационных моделей.
3. Подходы к имитационному моделированию.
4. Основные этапы построения имитационных моделей.

Ключевые понятия: имитация, система, свойства.

Методические рекомендации

Имитационное моделирование – метод компьютерного моделирования, предполагающий симуляцию реальных процессов или систем во времени с учётом наличия случайных компонент, действующих на основные показатели рассматриваемых процессов.

Понятие и свойства имитационных моделей

Имитационные модели являются динамическими (многопериодными), а также принимают во внимание наличие случайных факторов.

С одной стороны, имитационное моделирование представляет собой своеобразную замену экспериментальных методов, с другой – расширение сценарного подхода к прогнозированию. При имитационном моделировании разрабатывается логико-математическая модель функционирования некоторой сложной системы, позволяющая использовать некие исходные параметры и спрогнозировать состояние данной системы через определённый промежуток времени. Соответственно, имитационное моделирование отчасти заменяет экспериментальные исследования (в том случае, если математическая модель с достаточной достоверностью описывает реально происходящие процессы).

Симуляция выступает в качестве аналога эксперимента, проведённого над моделью. Одна симуляция включает в себя множество периодов существования системы: при применении имитационного моделирования исследователь создаёт искусственную историю состояния системы на протяжении интересующего его отрезка времени. На практике чаще всего выполняется множество симуляций, после чего происходит статистическая обработка результатов. В этом отношении одна симуляция может рассматриваться как один возможный сценарий развития системы. Под сценарием понимается совокупность совместимых исходных данных модели и соответствующее данным параметрам конечное состояние системы.

Имитационное моделирование – это метод, позволяющий строить, модели описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов.

С помощью имитационного моделирования можно решать следующие задачи:

1. Задачи в различных областях естественных наук (математика, физика, химия):
 - а) вычисление площадей фигур, ограниченных кривыми, вычисление кратных интегралов;
 - б) вычисление констант (например, числа π);
 - в) обращение матриц;
 - г) изучение диффузных процессов.
2. Практические задачи:
 - а) производственно-технологические задачи, возникающие в процессе создания систем массового обслуживания, систем связи, в сфере управления запасами, при анализе химических процессов;
 - б) экономические и коммерческие задачи, включая оценки поведения потребителя, определение цен, экономическое прогнозирование деятельности фирм;
 - в) социальные и социально-психометрические задачи, например проблемы динамики народонаселения, влияния экологии на здоровье, эпидемиологических исследований, а также прогнозирование группового поведения;
 - г) задачи биомедицинских систем, например баланса жидкости в организме человека, размножения клеток крови, деятельности мозга;
 - д) задачи анализа той или иной военной стратегии и тактики.

Вычисление результатов имитации базируется на случайной выборке, т. е. любой результат, полученный путём имитационного моделирования, подвержен экспериментальным ошибкам, поэтому, как и в любом статистическом эксперименте, должен основываться на результатах статистических проверок.

Подходы к имитационному моделированию

Существует три подхода к имитационному моделированию.

Дискретно-событийный: предполагает представление сложной системы в виде процесса, понимаемого как совокупность событий. Таким образом, состояние системы меняется только при наступлении события, т. е. основной параметр, влияющий на состояние системы, – время между событиями. Данный подход широко применяется в решении задач теории очередей и систем массового обслуживания. Примером использования данного подхода является анализ времени стоянок судов в порту. В данном случае событиями считаются прибытие судна, начало и конец разгрузки судна, а факторы, влияющие на конечный результат (количество судов в порту, время их стоянки и ожидаемые расходы), включают интервал между прибытиями и длительность процесса разгрузки.

Системно-динамический: в отличие от дискретно-событийного, такое моделирование не предполагает анализа единичных событий или действий субъектов, а даёт общее представление о системе, фокусируясь на общих тенденциях и зависимостях между различными переменными. Таким образом, системно-динамическое моделирование представляет собой наиболее абстрактный подход к моделированию. Основными понятиями в этом моделировании являются накопители (объекты) и потоки (процессы). Накопители и потоки описываются

различными показателями, находящимися во взаимосвязи. При этом потоки соединяют различные накопители. В качестве примеров накопителей могут выступать запасы сырья, незавершённого производства и готовой продукции на предприятии, а потоков – материальное снабжение, производство и сбыт продукции.

Агентный: в отличие от системно-динамического, предполагает движение от частного к общему. В первую очередь моделируется поведение отдельных агентов системы, на основе чего выявляется состояние системы в целом. Примеры данного подхода включают моделирование конкурентных отношений, состояния клиентской базы на основе поведения каждого из клиентов и аналогичные системы. При этом поведение каждого агента описывается через диаграмму состояний, в которых может находиться агент.

Основные этапы построения имитационных моделей.

Имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения сложных проблем. На предварительном этапе построения имитационной модели необходимо:

1. Исследовать границы и структуру рассматриваемой системы с целью решения конкретных проблем. На этом этапе используются методы системного анализа, например строится граф целей и задач, который имеет иерархическую структуру. На каждом уровне расположены некоторые задачи, которые необходимо решить для достижения целей более высокого уровня. Построение такого графа начинается с верхнего уровня – формулировки конечных целей. Далее формируется уровень задач, которые необходимо решить для достижения этих целей. Постепенно формулируется проблема, для решения которой строится имитационная модель.

Этот этап завершается построением концептуальной модели исследуемой системы или процесса. Степень формализации концептуальной модели зависит от сложности системы.

2. На этом этапе определяются и анализируются критические элементы, компоненты, точки в исследуемой системе или процессе, а также определяются оценки предполагаемых решений.

При имитационном моделировании кроме основной модели строится блок упрощённых моделей, предназначенных для предварительного грубого анализа проблемы в целом. Методы упрощения моделей основаны на теории агрегирования, которая позволяет уменьшить число переменных и соотношений. Большую роль при этом играют асимптотические методы, которые позволяют выделить переменные, влияющие на общий ход процесса.

3. На этом этапе осуществляется прогнозирование и планирование будущего развития исследуемой системы или процесса.

Принятие решений в имитационном моделировании основано на последовательном сжатии множества рассматриваемых вариантов путём отбрасывания неконкурентоспособных или неосуществимых альтернатив.

Таким образом, для оценки и прогноза развития исследуемой системы предполагается: построить концептуальную модель; построить математиче-

скую модель; разработать математическое обеспечение для расчётов на ЭВМ; провести эксперименты на ЭВМ и определить применимость модели.

Известно, модель – это некоторое описание системы или процесса.

В фундаментальных науках модели разрабатываются на основе теоретических законов:

- иконические модели – это масштабированные объекты;
- абстрактные (математические) модели представляются совокупностью математических соотношений;
- визуальные модели представляют системы графическим материалом.

Разработка модели существенно упрощается, если:

- известны законы, описывающие функционирование системы;
- может быть разработано графическое представление системы;
- можно управлять входами и выходами системы.

Процесс построения модели можно разбить на этапы:

Этап 1

На этом этапе предполагается осуществление таких шагов:

- определение цели построения модели;
- определение границ системы;
- определение необходимого уровня детализации процессов, этот уровень должен позволять абстрагироваться от неточно определённых аспектов функционирования реальной системы.

Этап 2

На этом этапе строится модель, в которую включаются критерии эффективности функционирования системы и оцениваемые альтернативные решения, которые рассматриваются как часть модели.

Этап 3

На этом этапе необходимо получить оценки для альтернативных решений. Обычно оценки альтернатив требуют внесения изменений в описание системы, а следовательно, перестройки модели. На практике процесс построения модели является итеративным.

Этап 4

Реализация построенной модели. После того как на основе полученных оценок альтернатив выработаны рекомендации, результаты моделирования можно внедрять в практику.

Изложенный общий подход к построению модели полностью можно перенести и на имитационное моделирование.

Процесс последовательной разработки имитационной модели начинается с создания простой модели, которая затем постепенно усложняется в соответствии с требованиями, предъявляемыми решаемой проблемой.

В процессе построения имитационной модели можно выделить такие этапы:

1. Формулирование проблемы: описание исследуемой проблемы и определение целей исследования.
2. Разработка модели: логико-математическое описание моделируемой системы.

3. Подготовка данных: идентификация, спецификация, сбор данных.
4. Трансляция модели: перевод модели на язык, приемлемый для ЭВМ.
5. Верификация модели: установление правильности программных продуктов для реализации модели на ЭВМ.
6. Валидация: оценка требуемой точности и соответствия имитационной модели реальной системе.
7. Стратегическое и тактическое планирование: определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью.
8. Экспериментирование: прогон имитационной модели на ЭВМ для получения требуемой информации.
9. Анализ результатов: изучение результатов имитационного моделирования для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы.
10. Реализация и документирование: реализация рекомендаций, полученных на основе имитации, составление документации по модели и её использованию.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что собой представляют имитационные модели?
2. Каковы основные принципы имитационного моделирования?
3. Каковы основные этапы построения имитационной модели?
4. Какие типы имитационных моделей выделяют?

8 Прикладные модели в агрономии

Ключевые вопросы темы:

1. Использование моделей при разработке проектов технологий производства растительной продукции.
2. Моделирование агроэкосистем. Моделирование пространственного распределения урожайности, сорняков, вредителей болезней по полю, участку, делянке.
3. Использование математических моделей для экологически безопасного применения пестицидов в севооборотах.
4. Моделирование плодородия почв.
5. Модели оптимизации структуры землепользования.
6. Проектирование элементов системы земледелия
7. Моделирование системы удобрений.
8. Моделирование севооборотов.

Ключевые понятия: оптимационные модели, проектирование, системы земледелия, агроэкосистемы, севооборот.

Методические рекомендации

При изучении темы нужно обратить внимание на использование оптимизационных и многофакторных моделей.

Математические модели используются при разработке проектов технологий производства растительной продукции для оптимизации агрокультуры и тепличного хозяйства.

Области применения моделей

Выбор стратегии проведения сельскохозяйственных мероприятий. Модели помогают определить оптимальную стратегию орошения, полива, внесения удобрений, выбрать сроки посева или посадки растений для получения максимального урожая.

Управление культурой в тепличном хозяйстве. Можно построить модель, которая опишет весь цикл процессов при заданных условиях. С её помощью можно задать оптимальный «рецепт» управления культурой на всё время вегетации.

Моделирование посева в открытом грунте. Если на посев влияют непредсказуемые погодные условия, используются динамические модели. Они позволяют оперативно менять параметры и структуру модели в соответствии с изменениями погодных условий.

Выбор технологии возделывания культур. Для этого используют экономико-математические модели и методы анализа и оценки экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Для такого моделирования используют различные математические модели, например: вероятностные, оптимизационные, многофакторные, модели типа «хищник-жертва», модели с нулевой суммой и другие.

Некоторые методы, которые применяют для моделирования

Методы многомерного статистического анализа. Используются для количественного описания сложных взаимодействий популяций вредителей, возбудителей болезней и растений-хозяев в изменяющихся условиях окружающей среды.

Имитационное моделирование. Позволяет воспроизводить на ЭВМ ход биометеорологических процессов и оценивать реально наблюдаемые величины.

Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. Предполагает моделирование объёмов будущего урожая с учётом полученных экспериментальных данных по использованию удобрений, особенностей технологии возделывания, орошения, сорта, защиты растений от болезней, вредителей, сорняков и полегания.

Моделирование агроэкосистем помогает выбирать оптимальную стратегию проведения сельскохозяйственных мероприятий: орошения, полива, внесения удобрений, выбора сроков посева или посадки растений и др.

Математические модели для экологически безопасного применения пестицидов в севооборотах позволяют:

- описывать поведение пестицидов в компонентах агроценоза (миграция, деградация, взаимодействие с растениями и почвой);
- оценивать экологическую опасность пестицидов на основе моделей, учитывающих их взаимодействие с компонентами агроценоза;
- разрабатывать оптимальные регламенты применения пестицидов и классифицировать их по степени экологической опасности.

Виды моделей

Для прогнозирования экологически безопасного применения пестицидов в севооборотах применяют, например:

Имитационные модели поведения пестицидов в почве и в наземной части агроценоза. Учитывают процессы конвективно-дисперсионного переноса, распределение пестицидов между функциональными компартментами почвы, деградацию пестицидов.

Динамические модели компонентов агроценоза: модели выращиваемой сельскохозяйственной культуры, объектов-мишеней для препаратов, компонентов агроценоза, наиболее существенных для развития фитосанитарной ситуации на поле.

Токсикологические модели – описывают воздействие препаратов на компоненты агроценоза.

Методика построения моделей

Некоторые этапы построения математических моделей для прогнозирования экологически безопасного применения пестицидов в севооборотах:

Определение параметров модели, характеризующих поведение пестицидов (миграцию, разложение, сорбцию). Для этого проводят лабораторные, лизиметрические и полевые эксперименты.

Проверка адекватности модели – сравнение прогнозных значений, полученных при граничных условиях, близких к натурным, с экспериментальными данными.

Настройка моделей – например, экспериментальное определение параметров, способных физически обоснованно учесть явление преимущественного транспорта пестицидов (шаг смешения).

Использование метода Монте-Карло – замены натурных экспериментов их имитацией – компьютерным экспериментом с имитационной моделью на множестве рандомизированных параметров. Это позволяет генерировать такое число модельных сценариев, чтобы по результатам прогонов модели определять вероятностные характеристики распределения пестицида по почвенному профилю.

Некоторые примеры применения математических моделей для прогнозирования экологически безопасного применения пестицидов в севооборотах:

- определяется распределение пестицидов по почвенному профилю, содержание пестицидов в почвенном растворе, динамика сорбции пестицидов почвой и потери за счёт деградации;

- оценивается эффективность применения фунгицидов против бурой ржавчины пшеницы с использованием интегрированной имитационной модели;

- прогнозируются концентрации пестицидов в поверхностных водах с помощью математических моделей, учитывающих влияние сельскохозяйственной культуры, типа водоёма, топографии, почвы и климатических особенностей условий регионов.

Программное обеспечение

Для реализации математических моделей, прогнозирующих экологически безопасное применение пестицидов в севооборотах, используют, например:

стемы компьютерной имитации поведения пестицидов в почве (PESTINS, PESTINL); интегрированные имитационные модели динамики пестицидов и развития бурых ржавчины пшеницы (PATWHEAT).

При рассмотрении темы «Моделирование плодородия почв» следует отразить применение оптимизационных моделей при планировании структуры землепользования и изучить многофакторные модели плодородия почвы.

Моделирование плодородия почв – это процесс, при котором создаются модели, отражающие совокупность агрономически значимых свойств и режимов почвы, отвечающих определённому уровню урожайности культур.

Цель моделирования – глубже понять и количественно отразить функционирование почвы как открытой многокомпонентной динамической системы, исходя из сведений о её составляющих.

Модели плодородия отличаются для разных типов почв, групп почв по гранулометрическому составу, гумусированности, эродированности и т. д., для отдельных групп растений, для различных регионов (в первую очередь, отличающихся по климатическим условиям) и определённого уровня ведения сельскохозяйственного производства.

Некоторые виды моделей плодородия почв:

Модели состояния. Отражают в параметрической форме совокупность структурно-функциональных свойств почвы, соотнесённую с фактическим или заданным уровнем её плодородия. Могут выражать прошлое, текущее или будущее (желаемое, ожидаемое или планируемое) состояние почв.

Модели прогноза. Учитывают возможные будущие состояния системы, здесь изначально отсутствует заданная цель (планируемое состояние почвы).

Модели управления плодородием. Подразделяются на модели окультуривания, коренных мелиораций, рекультивации, оперативного управления на поле, оптимизации размещения культур.

Региональные модели. Территориальный эталон почвы или группы близких по свойствам почв, характеризуется региональными почвенно-климатическими особенностями и состоит из взаимосвязанных блоков.

Для создания моделей плодородия почв используются следующие методы:

Математическое моделирование. Учитывает все свойства почвы и возможное антропогенное воздействие на неё.

Информационно-логические модели. Позволяют установить связь каждого почвенного фактора с урожайностью культур и построить логическую модель.

Учёт экологических ограничений. При разработке моделей необходимо рассматривать экологические ограничения, например создавать такие почвы, которые не ухудшают состояние окружающей среды.

Некоторые примеры моделей плодородия почв: Модель плодородия чернозёмов Алтайского Приобья в системе агроценоза (Бурлакова, 1975, 1984); Агрофизическая модель плодородия алтайских чернозёмов создана Л. М. Татаринцевым (1993); Модель плодородия солонцов для многонатриевых солонцов,

которая учитывает недостаточные запасы влаги и гумуса, высокое содержание обменного натрия и близкое залегание карбонатов.

Модели оптимизации структуры землепользования рассматриваются как инструменты, которые помогают определить оптимальную структуру использования земельных ресурсов с учётом экономических, экологических и социальных аспектов.

Цель – повысить экономическую эффективность и экологическую устойчивость сельского хозяйства, например за счёт рационального использования сельскохозяйственных угодий.

Виды моделей оптимизации структуры землепользования:

Экономико-математические модели. Например, модели оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий, которые учитывают данные о наличии и качестве угодий, урожайности культур, нормах удельных затрат и объёмах ресурсов. Цель – определить оптимальную структуру, при которой за счёт рационального использования всех ресурсов обеспечивается получение максимума чистого дохода.

Модели формирования структуры землепользования для участков городской территории. Например, модель дележа городских территорий, в которой каждый землепользователь стремится занять наиболее выгодное для него место. В модели рассматривается вероятность размещения видов землепользования на участке, при этом чем больше свойства территории отвечают её эффективному использованию каким-либо видом, тем выше предпочтение, с которым данный вид землепользования готов разместиться на участке.

Модели оптимизации использования продуктивных земель. Например, экономико-математическая модель по оптимизации структуры пашни, которая обеспечивает поиск компромиссной целевой функции. Учитываются критерии оптимальности: максимизация суммы чистого и валового дохода, минимизация уровня интенсивности воздействия на почву, эрозионной и дефляционной опасности.

Для разработки моделей оптимизации структуры землепользования используются методы:

Геоинформационный анализ. Позволяет анализировать данные о землепользовании, оценивать состояние почв и рельефа местности, разрабатывать карту землепользования.

Математическое моделирование. Например, модели, которые рассчитывают оптимальное количественное распределение территорий, обеспечивающее максимальную среднюю урожайность при минимальном среднем риске.

Статистическая обработка данных. Учитываются данные о почвах, климате, рельефе местности, структуре посевных площадей, технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

При оптимизации структуры землепользования учитываются:

Экономические показатели – валовая и товарная продукция, чистый доход, валовый доход, прибыль.

Экологические критерии – сохранение почвенного плодородия, снижение эрозии, предотвращение загрязнения водных ресурсов и сохранение биоразнообразия.

Правовые критерии – использование по целевому назначению, использование без причинения вреда окружающей среде.

Критерии могут дифференцироваться в зависимости от целей землепользования.

Модели оптимизации структуры землепользования используются в разных контекстах, например:

Разработка региональных программ развития сельского хозяйства. Модели помогают оптимизировать структуру землепользования в выбранном регионе с учётом его природных и экономических особенностей.

Прогнозирование пространственной структуры землепользования. Например, модель FLUS используется для моделирования и прогнозирования оптимальной планировки структур землепользования при различных сценариях.

Оптимизация низкоуглеродного землепользования. Модели помогают прогнозировать пространственную структуру землепользования в соответствии с различными сценариями, например для устойчивого развития региона с низким уровнем выбросов углерода.

Рассматривая проектирование элементов системы земледелия, математические модели необходимо представлять как процесс разработки взаимосвязанных звеньев системы, направленных на эффективное использование земли и других ресурсов, сохранение и повышение плодородия почвы с целью получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

К элементам системы земледелия относятся: организация территории землепользования хозяйства и севооборотов, система обработки почвы, система удобрений, система защиты растений, технологии возделывания сельскохозяйственных культур, система семеноводства, мелиоративные мероприятия и другие.

При проектировании системы земледелия учитывают следующие принципы:

Принцип целостности – учёт взаимосвязанности и взаимообусловленности всех элементов системы.

Принцип дифференциации – учёт всех факторов (природных, климатических, экономических, социальных и т. п.), способных существенно повлиять на функционирование системы.

Принцип адаптивности – соответствие каждого звена системы данному агроландшафту, биологии культур, уровню технической оснащённости и т. п.

Принцип экологической обусловленности – система не должна нарушать экологическое равновесие в природной среде и агроландшафте.

Принцип оптимизации – элементы системы земледелия должны соответствовать факторам хозяйства (природным, экономическим, производственным, например набору культур, наличию техники, кадров).

Принцип нормативности – соблюдение научно обоснованных норм регулируемых в земледелии факторов (внесение удобрений в установленных нормах, нормы высеява, агротехнические требования и пр.).

Принцип агротехнической и экономической эффективности – элементы системы земледелия должны обеспечивать не только сохранность и повышение плодородия почвы, но и высокий экономический эффект от применения системы.

Некоторые этапы проектирования системы земледелия:

Анализ агроландшафтных, климатических и организационно-экономических условий хозяйства – проведение агроэкологической группировки земель.

Уточнение специализации хозяйства.

Разработка природоохранной организации территории землепользования – проведение землеустроительных работ (выделение сенокосов, пастбищ, пашни, экологических рекреаций).

Обоснование структуры посевной площади и организация системы севооборотов.

Проектирование системы удобрений, химической мелиорации и воспроизводства органического вещества почвы.

Разработка системы почвозащитной ресурсосберегающей обработки почвы.

Обоснование и составление системы защиты растений от вредных организмов.

Определение основных параметров системы семеноводства.

Обоснование экологически безопасных технологий производства продукции растениеводства.

Разработка системы обустройства природных (естественных) кормовых угодий – определение способов их использования, обоснование технологий поверхностного и коренного улучшения, графиков эксплуатации сенокосов и пастбищ и мероприятий по их уходу.

Составление плана освоения системы земледелия.

Для проектирования системы земледелия используют методы:

Экспериментальный метод – многолетние стационарные опыты, которые помогают получить сведения о месте и сроках возврата культур, а также их доле в севооборотах.

Экспертный анализ – результаты обследования агроландшафта, которые служат базисом для выделения пахотных земель в структуре землепользования.

Математическое моделирование – по данным многофакторных полевых экспериментов изучают взаимодействие элементов земледелия между собой и экологическими факторами, на основе оценки этого взаимодействия формируют севообороты, системы обработки почвы, удобрения и защиты растений.

Для проектирования системы земледелия разработаны нормативные документы:

Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтных систем земледелия – научное издание, разработанное Всероссийским научно-исследовательским институтом земледелия и защиты почв от эрозии (2010).

Научно обоснованные рекомендации – для различных регионов страны разработаны рекомендации, включающие различные комбинации систем обработки почвы, в разной степени адаптированные к местным условиям.

Моделирование системы удобрений в сельском хозяйстве рассматривается как процесс построения модели, которая описывает процесс рационального применения удобрений с учётом различных факторов и условий.

Такие модели могут быть математическими, экономико-математическими или статистическими.

Моделирование системы удобрений в сельском хозяйстве направлено на повышение продуктивности культур и улучшение качества продукции за счёт рационального распределения удобрений.

Сохранение или повышение плодородия почвы. Учитываются почвенно-климатические условия, агротехнические факторы, сорта культур.

Оптимизацию использования удобрений – определение оптимальных доз, сроков и способов их внесения для разных культур и почвенно-климатических условий.

Прогнозирование урожайности – моделирование объёмов будущего урожая с учётом экспериментальных данных по использованию удобрений, особенностей технологии возделывания и других факторов.

Некоторые методы моделирования системы удобрений в сельском хозяйстве:

Математическое моделирование. Строятся производственные функции, которые выражают количественную связь урожая с факторами производства (технологические, агроклиматические и почвенные ресурсы).

Экономико-математическое моделирование. Учитываются ограничения по балансу выноса элементов питания продукцией и внесения их с удобрениями, по границе интервалов прибавки урожайности и другие.

Статистический анализ. Например, оценка статистической значимости различий между группами с разными методами внесения удобрений.

Экономическое моделирование. Учитываются затраты на удобрения, урожайность и прибыль от использования различных методов внесения удобрений.

Некоторые примеры моделей системы удобрений в сельском хозяйстве:

Модель оптимизации использования удобрений. Учитываются количество культур, количество видов удобрений, площадь культуры, на которой вносится вид удобрения, и другие параметры.

Модель распределения фондов минеральных удобрений. Учитываются ограничения по балансу ресурсов и потребления удобрений, по формированию годовых норм удобрений в ассортименте поставки и другим.

Модель дифференцированного внесения удобрений. Учитываются вариабельность почвенных и растительных характеристик в пределах одного поля, на основе данных разрабатывается индивидуальный план внесения удобрений для каждой зоны поля.

Программное обеспечение

Для решения задач по моделированию системы удобрений в сельском хозяйстве используются, например:

Программы для автоматизации агрономических расчётов. Например, «АГРОНОМ» = программа для расчёта питательного раствора, которая позволяет отобразить структуру хозяйства и вести складской учёт удобрений.

Платформы для цифрового сельского хозяйства. Например, Lab-Soil – платформа, которая рассчитывает дозы удобрений под планируемый уровень урожайности выбранной культуры, учитывает особенности поля и агрохимическую характеристику почвы.

Моделирование севооборотов рассматривается как процесс создания математических и компьютерных моделей для оптимизации чередования сельскохозяйственных культур на полях, целью которого является сохранение плодородия почвы, снижение рисков заболеваний растений и повышение урожайности.

Моделирование помогает фермерам и агрономам принимать обоснованные решения, способствуя устойчивому развитию сельского хозяйства.

Для моделирования севооборотов используют методы:

Алгоритмы оптимизации. Например, линейное программирование и генетические алгоритмы, которые помогают искать оптимальные схемы чередования культур.

Статистический анализ. Учитываются данные о почвах, климате, сельскохозяйственных культурах и применяемых технологиях.

Имитационное моделирование. Позволяет прогнозировать урожайность, минимизировать использование удобрений и пестицидов, а также снижать эрозию почв.

Алгоритмы машинного обучения. Используются для прогнозирования урожайности и оценки эффективности различных севооборотов.

При моделировании севооборотов учитывают следующие факторы:

Особенности культур. Разные растения имеют свои требования к почве и питательным веществам. Например: зерновые (пшеница, ячмень) истощают почву, поэтому за ними рекомендуется высаживать бобовые; корнеплоды (морковь, картофель) требуют рыхлой почвы, которую можно подготовить после злаковых культур.

Климатические условия. Выбор культур и их очередности зависят от климата региона. В засушливых районах акцент делают на влаголюбивые и устойчивые к засухе культуры.

Риски возникновения болезней и вредителей. Если на поле ежегодно высаживать одну и ту же культуру, увеличивается риск накопления вредителей – севооборот помогает разорвать этот цикл.

Для моделирования севооборотов используют программное обеспечение:

- Системы для мониторинга и моделирования роста сельскохозяйственных культур. Например, «КартаУрожая», которая использует технологии анализа данных и искусственного интеллекта для оптимизации севооборота.

- Платформы для оптимизации многолетних севооборотов. Например, Assolia, которая интегрирует агрономические и экономические данные, генерирует индивидуальные планы севооборота.

Результаты моделирования севооборотов помогают:

Оптимизировать использование земельных ресурсов. Модели позволяют найти наилучшие варианты севооборотов для заданных условий.

Прогнозировать изменения в состоянии почвы и урожайности различных культур при различных схемах севооборота.

Формировать рекомендации по изменению стратегии выращивания для повышения урожайности и снижения затрат.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие факторы следует учитывать при оптимизации структуры землеустройства?

2. Какие модели следует использовать при проектировании технологий производства растениеводческой продукции?

3. Какие виды моделей используются при планировании мероприятий по защите растений?

4. От каких факторов зависит урожайность сельскохозяйственных культур?

5. В каких случаях в сельском хозяйстве применяют модели с нулевой суммой?

6. Какие параметры следует использовать при моделировании систем удобрения?

7. Как следует использовать оптимационные модели при проектировании севооборотов?

8. Какие направления формализации моделей плодородия следует считать более перспективными?

9. Корректно ли сведение многофакторный моделей к более простым, использующим небольшое количество параметров?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и лабораторные работы.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к лабораторной работе рекомендуется повторить материал теоретической части, изложенной в лекционном курсе. В процессе выполнения задания студенты зарисовывают предложенные материалы, осуществляют подписи к ним.

В каждой лабораторной работе приводится краткое содержание каждой темы лабораторных работ, перечень ключевых вопросов для подготовки к текущей аттестации и организации самостоятельной работы студентов.

На лабораторных работах используются материалы, эффективные в методическом отношении.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач обучающимися проводится на лабораторных занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачета с оценкой и экзамена, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и имеющие положительные оценки по текущим лабораторным занятиям.

Тестирование и текущий контроль по темам лабораторных работ обучающихся проводится после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перечень примерных лабораторных и тестовых работ представлен в электронно-информационной образовательной среде в разделе «Методические и оценочные материалы» по данной дисциплине.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»		«зачтено»	
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые, релевантные задачи	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленные задачи, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом индивидуальных психофизических особенностей.

ТЕЗАУРУС

Аддитивное взаимодействие факторов – вид совместного влияния факторов, при котором взаимодействие представляет собой простую алгебраическую сумму эффектов каждого из факторов при независимом действии.

Адекватная модель – модель, соответствующая данным, полученным в реальных экспериментах с объектом (системой, процессом).

Альтернативная гипотеза – утверждение, противоположное нулевой гипотезе.

Альтернативная гипотеза H_A , H_1 – утверждение относительно множества или подмножества возможных допустимых распределений, которое не относится к нулевой гипотезе.

Аналитическая модель – математическая модель в виде уравнения (системы уравнений), если решение можно получить в явном виде.

Антагонистическое взаимодействие факторов – вид взаимодействия факторов, при котором один фактор способствует увеличению значения результирующего признака, а другой фактор способствует его снижению.

Верификация модели – проверка адекватности математической модели на основе экспериментальных данных, не использованных для ее идентификации и настройки.

Выборка – подмножество генеральной совокупности, состоящее из одной или более выборочной единицы.

Выборочная единица – одна из конкретных единиц, из которых состоит генеральная совокупность.

Выборочная ковариация, S_{xy} – сумма произведений отклонений пар случайных величин случайной выборки от их выборочных средних, деленная на число слагаемых минус единица.

Выборочная медиана – это $(n+1)/2$ -я случайная величина в случае нечетного объема выборки. При четном объеме выборки n выборочная медиана равна среднему арифметическому $(n/2)$ -й и $[(n/2)+1]$ -й случайных величин.

Выборочное среднее, среднее арифметическое – сумма случайных величин случайной выборки, деленная на число слагаемых в этой сумме. Рассматриваемое как статистика выборочное среднее часто используют как оценку математического ожидания генеральной совокупности. Часто используемым синонимом является арифметическое среднее.

Выборочное стандартное отклонение (сигма, среднее квадратическое отклонение) – неотрицательное значение квадратного корня из выборочной дисперсии.

Выборочный коэффициент асимметрии – среднее арифметическое стандартизованных выборочных случайных величин случайной выборки в третьей степени.

Выборочный коэффициент вариации – выборочное стандартное отклонение, деленное на выборочное среднее.

Гипотеза Н – утверждение о свойствах генеральной совокупности.

Гистограмма – графическое представление распределения частот в виде прилегающих друг к другу прямоугольников, основаниями которых служат отрезки, равные ширине классов, а площади прямоугольника пропорциональны частотам в этих классах.

Градации факторов – степень действия факторов, или состояние объектов изучения.

Грубая погрешность измерения – погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей.

Дата – результат измерения определённого признака у конкретного объекта.

Дескриптивная модель – аналитическая модель для описания и прогнозирования поведения объекта.

Детерминистическая модель – модель, не учитывающая случайные неконтролируемые воздействия на моделируемый объект.

Динамическое программирование – математические методы оптимального планирования единой операции, состоящей из нескольких этапов, когда ситуации на очередных этапах зависят от управления объектом на предыдущих этапах операции.

Дискретная модель – модель, прогнозирующая процесс по «шагам», в дискретные моменты времени.

Дискретная шкала – шкала, состоящая только из набора или последовательности различных значений.

Дискретное распределение (вероятностей) – распределение, для которого пространство элементарных событий конечно или счётно.

Дисперсионный анализ – статистический метод выявления влияния отдельных факторов на результат эксперимента, наблюдения.

Дисперсионный комплекс – совокупность градаций факторов с привлеченными для исследования датами и средними из дат по каждой градации (частные средние) и по всему комплексу (общая средняя).

Идентификация модели – подбор структуры уравнения (системы уравнений) для аналитической модели.

Имитационная модель – модель функционирования сложной системы, которую невозможно описать одной аналитической моделью; представляется сложным алгоритмом, реализуемым на компьютере.

Индекс – математическая формула, объединяющая в одну несколько целевых функций многокритериальной задачи.

Интервальная шкала – непрерывная или дискретная, шкала с равномерной разметкой и условным положением нуля.

Исследование операций – применение математических моделей и методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности.

Класс (качественная характеристика) – подмножество элементов выборки.

Класс (количественная характеристика) – отрезок действительной прямой.

Класс (порядковая характеристика) – множество, состоящее из одной или нескольких смежных категорий на порядковой шкале.

Кластерный отбор – отбор выборки, при котором отбирают случайную выборку из кластеров, при этом все выборочные единицы, на которых основаны кластеры, содержатся в выборке.

Корреляционный анализ – раздел математической статистики, предназначенный для оценки корреляции между случайными величинами и проверки гипотез о значимости связи между ними.

Корреляция – зависимость между случайными величинами, не имеющая строго функционального характера.

Коэффициент вариации, CV – для положительной случайной величины стандартное отклонение, деленное на среднее.

Коэффициент оригинальности – средняя сумма весов по присутствию и отсутствию модальностей каждого объекта исследуемой совокупности.

Критическая область – совокупность значений критерия, при котором нулевую гипотезу отвергают.

Кумулятивная относительная частота – кумулятивная частота, деленная на число событий или наблюдаемых значений.

Кумулятивная частота – частота для классов с накоплением, включая их установленные границы.

Линейное программирование – метод оптимизации для ситуаций, в которых целевая функция и ограничения линейны по переменным управления.

Математическая модель – система упрощенных предположений об объекте (системе, процессе), допускающих математическую формализацию и применяемых, когда точные закономерности неизвестны или сложны.

Математическое программирование – группа математических методов, позволяющих выбрать из множества возможных оптимальный план воздействия на объект.

Медиана – состояние переменного, которое делит ранжированный ряд всех состояний на две одинаковые половины.

Методы оптимизации – математические методы, основанные на оптимизационных моделях.

Метрика – расстояние, определённое для любых двух элементов (объектов) некоторого множества.

Многокритериальная задача – оптимизационная задача с несколькими целевыми функциями.

Многомерная модель – модель для анализа объекта одновременно по нескольким переменным (признакам объекта).

Многоступенчатый кластерный отбор выборки – кластерный отбор выборки, выполняемый в два или более этапов, где каждая выборка поделена на кластеры, уже полученные по предыдущей выборке.

Многоступенчатый отбор выборки – отбор выборки, при котором выборку отбирают поэтапно, и выборочные единицы, отобранные на каждом этапе, отбирают из большого количества единиц, отобранных на предыдущем этапе.

Многофакторный дисперсионный анализ – дисперсионный анализ, в котором анализируется влияние двух и более факторов на результативный признак.

Мода – модальность, встречающаяся в выборке с наибольшей частотой.

Мода функции вероятности – значение, при котором функция вероятности достигает локального максимума.

Модальность – состояние качественного признака в номинальной шкале.

Моделирование – это процесс построения и изучения модели объекта (системы, процесса).

Модель – это материальный или мыслительный объект, который по ходу изучения замещает объект – оригинал, сохраняя некоторые свойства последнего, важные для конкретного исследования.

Мощность критерия – единица минус вероятность ошибки второго рода.

Мощность статистического критерия – вероятность того, что критерий отвергнет ложную нулевую гипотезу.

Мультиплективное взаимодействие факторов – вид совместного влияния факторов, при котором результативный показатель представляет собой произведение нескольких факторов, совместное влияние факторов больше, чем сумма эффектов каждого фактора в отдельности.

Настройка модели – подбор числовых значений (констант), используемых в модели.

Нелинейное программирование – метод оптимизации для ситуаций, в которых либо целевая функция, либо ограничения, либо и то и другое нелинейны по переменным управления.

Непараметрические методы статистики – методы, которые не налагают модельных ограничений (предположений) на форму распределения анализируемых случайных величин.

Непрерывная шкала – шкала, имеющая континуум значений.

Непрерывное распределение (вероятностей) – распределение, для которого функция распределения от x может быть представлена в виде интеграла от неотрицательной функции по интервалу от $-\infty$ до x .

Номинальная шкала – шкала, состоящая из неупорядоченных категорий или категорий, условно упорядоченных на основе соглашения.

Нулевая гипотеза – утверждение, которое исследователь обычно предполагает отклонить.

Нулевая гипотеза H_0 – гипотеза, проверяемая с помощью статистического критерия.

Операция – всякое мероприятие (система действий), объединенное единственным замыслом и направленное к достижению какой-то цели.

Оптимальное решение (план) – решение, по тем или другим критериям предпочтительное перед другими.

Оптимизационные модели – модели для подбора оптимального плана действий на объект.

Отклик – переменная, представляющая наблюдаемые результаты эксперимента.

Относительная частота – частота, деленная на общее число событий или наблюдаемых значений.

Оценка максимального правдоподобия – оценка, приписывающая параметру значение, при котором функция правдоподобия достигает максимального значения или является его приближением.

Ошибка второго рода – принятие нулевой гипотезы в том случае, когда она не верна.

Ошибка первого рода – отклонение нулевой гипотезы в том случае, когда она верна.

Переменные управления – часть параметров объекта (системы, процесса) которыми можно управлять непосредственно.

Погрешность измерения – разность между результатом измерения величины и действительным (опорным) значением величины.

Порядковая статистика – статистика, определяемая порядковым номером случайной величины в ряду случайных величин, расположенных в неубывающем порядке. Порядковая статистика представляет собой выборочное значение, соответствующее его позиции в последовательности данных после их ранжирования в неубывающем порядке.

Порядковая шкала – шкала, состоящая из упорядоченных маркированных значений.

Простая гипотеза – гипотеза, устанавливающая единственное распределение в семействе распределений.

Простой случайный отбор выборки – отбор выборки из n выборочных единиц, отобранных из генеральной совокупности таким образом, что все возможные комбинации n выборочных единиц имеют одинаковую вероятность быть отобранными.

Размах вариации – интервал между наибольшей и наименьшей датой вариационного ряда.

Ранг – порядковый номер состояния переменного в ранжированном ряду всех его состояний.

Распределение частот – эмпирическое соотношение между классами и количеством событий или наблюдаемых значений в классах.

Регрессионный анализ – раздел математической статистики, объединяющий практические методы исследования регрессионной зависимости между величинами по статистическим данным.

Регрессия – зависимость среднего значения какой-либо величины от другой величины или от нескольких величин.

Результативный признак – элементарное качество или свойство объектов, изучаемое как результат влияния факторов.

Репрезентативная выборка – случайная выборка, отобранная таким образом, что наблюдаемые значения в выборке имеют такое же распределение, что и в генеральной совокупности.

Р-значение – вероятность того, что наблюдаемое значение статистики критерия или наблюдаемое значение некоторого соответствующего параметра не благоприятствует принятию нулевой гипотезы.

Робастность – устойчивость математического метода к невыполнению модельных предположений.

Середина класса (количественная характеристика) – среднее арифметическое верхней и нижней границ класса.

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Систематический отбор выборки – отбор выборки в соответствии с систематическим планом.

Сложная гипотеза – гипотеза, задающая более одного распределения из семейства распределений.

Слой – одна из взаимно не пересекающихся и охватывающих всю генеральную совокупность подпопуляций, элементы которых имеют более однородные характеристики, чем элементы генеральной совокупности в целом.

Слой (страта) – одна из взаимно не пересекающихся и совместно охватывающих всю генеральную совокупность подсовокупностей, элементы которой имеют более однородные характеристики, чем элементы генеральной совокупности в целом.

Случайная выборка – выборка, отобранная методом случайного отбора

Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повтор-

ных измерениях одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Случайное влияние – действие множества факторов, которые не организованы в изучаемом дисперсионном комплексе и составляют общий фон, на котором действуют организованные факторы.

Случайный отбор – метод образования выборки из генеральной совокупности, при котором для каждого элемента генеральной совокупности существует предполагаемая вероятность попасть в выборку.

Случайный отбор выборки – выборка из n выборочных единиц отобрана из генеральной совокупности таким образом, что каждая из возможных комбинаций n выборочных единиц имеет конкретную вероятность быть отобранный.

Совокупность (генеральная) – множество всех рассматриваемых единиц. Совокупность может состоять из реальных объектов и быть конечной, может состоять из реальных объектов и быть бесконечной или может быть полностью гипотетической. Иногда используют термин «конечная совокупность», особенно в ситуациях, связанных с получением конечных выборок.

Стандартизованная выборочная случайная величина – разность случайной величины и ее выборочного среднего, деленная на выборочное стандартное отклонение.

Статистика – полностью определенная функция случайных величин.

Статистическая ошибка второго рода (β – типа) – случаи, когда принимают ложную нулевую гипотезу.

Статистическая ошибка первого рода (α – типа) – случаи, когда отклоняют верную нулевую гипотезу.

Статистический критерий, критерий значимости – процедура, пред назначенная для принятия решения о том, может ли быть отклонена нулевая гипотеза в пользу альтернативной гипотезы.

Степень свободы – это количество значений в итоговом вычислении статистики, способных варьироваться.

Столбиковая диаграмма – графическое представление распределения частот номинальной характеристики, состоящее из прямоугольников, имеющих одинаковую ширину и высоту, пропорциональную частоте.

Стохастическая модель – модель, учитывающая случайные неконтролируемые воздействия на моделируемый объект.

Стратификация – разделение генеральной совокупности на слои.

Стратифицированный отбор выборки – отбор выборки такой, что доли выборки отобраны из разных слоев, и из каждого слоя отобрана по крайней мере одна выборочная единица.

Стратифицированный простой случайный отбор выборки – простой случайный отбор для каждого слоя.

Унификация переменных – сведение оценок переменных к одной шкале.

Уровень значимости, α – для статистического критерия максимальная вероятность отклонения нулевой гипотезы в том случае, когда она верна.

Фактор – любое влияние, воздействие или состояние, разнообразие которых может так или иначе отражаться в разнообразии результативного признака.

Факториальное влияние – простое или комбинированное статистическое влияние изучаемых факторов.

Функция вероятности (для дискретного распределения) – функция, задающая вероятность того, что случайная величина равна заданному значению. Функция плотности распределения (вероятностей) $f(x)$ – плотность распределения – неотрицательная функция, при интегрировании которой по интервалу от $-\infty$ до x получают функцию распределения непрерывного распределения в точке x .

Функция правдоподобия – функция плотности распределения, вычисляемая на основе наблюдаемых значений и рассматриваемая как функция параметров семейства распределений.

Целевая функция – параметр моделируемого объекта, по которому оценивается эффективность плана воздействия на объект.

Частота – количество событий или наблюдаемых значений в заданном классе.

Число степеней свободы – число членов суммы минус число связей между членами суммы.

Шкала оценки – способ измерения состояния переменного.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Основная литература

1. Григулецкий, В. Г. Цифровые технологии в АПК. Цифровые модели роста и продуктивности сельскохозяйственных растений: учеб. пособие для вузов / В. Г. Григулецкий. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 316 с. - ISBN 978-5-507-53303-9. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/483044> (дата обращения: 21.05.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Ризниченко, Г. Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии: учебник для вузов / Г. Ю. Ризниченко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Изд-во Юрайт, 2025. - 181 с. - ISBN 978-5-534-07037-8.
3. Ганичев, А. В. Математические методы и модели кормопроизводства и составления рецептуры комбикормов: монография / А. В. Ганичев, А. В. Ганичева. - Тверь: ТвГТУ, 2024. - 164 с. - ISBN 978-5-7995-1358-0. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/461327> (дата обращения: 21.05.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Данилов, Н. Н. Математическое моделирование: учеб. пособие: [16+] / Н. Н. Данилов; Кемеровский государственный университет. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2014. - 98 с. - Режим доступа: по подписке. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278827> (дата обращения: 21.05.2025). - ISBN 978-5-8353-1633-5. - Текст: электронный.
2. Смиряев, А. В. Моделирование в биологии и сельском хозяйстве: учеб. пособие / А. В. Смиряев, А. В. Исачкин, Л. К. Панкина. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2015. - 153 с. - ISBN 978-5-9675-0824-0. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/157510> (дата обращения: 21.05.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Математическое моделирование. Практикум: учеб. пособие: [16+] / Л. А. Коробова, Ю. В. Бугаев, С. Н. Черняева, Ю. А. Сафонова; науч. ред. Л. А. Коробова. - Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. - 113 с.: табл., граф., ил. – Режим доступа: по подписке. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482006> (дата обращения: 21.05.2025). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-00032-247-5.
4. Ставцев, А. Н. Экономико-математическое моделирование технологических процессов в растениеводстве (Обоснование прогнозов и перспектив развития агропромышленного комплекса и сельского хозяйства): учеб. пособие / А. Н. Ставцев, А. С. Коломейченко, А. А. Полухин. - Орёл, Орёл ГАУ, 2018. - 146 с. - ISBN 978-5-16012-890-0.

5. Братусь, А.С. Динамические системы и модели биологии / А. С. Братусь, А. С. Новожилов, А. П. Платонов. - Москва: Физматлит, 2009. - 400 с. - ISBN 978-5-9221-1192-8.

6. Математическое моделирование. Практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л. А. Коробова, Ю. В. Бугаев, С. Н. Черняева, Ю.А. Сафонова; Министерство образования и науки РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий; науч. ред. Л. А. Коробова. - Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. - 113 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»). - ISBN: 978-5-00032-247-5.

7. Барцев, С. И. Эвристические нейросетевые модели в биофизике: приложение к проблеме структурно-функционального соответствия / С. И. Барцев, О. Д. Барцева. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010. – 115 с. -(ЭБС «Университетская библиотека онлайн»). - ISBN: 978-5-7638-2080-5.

Локальный электронный методический материал

Екатерина Андреевна Барановская

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АГРОНОМИИ

Редактор М. А. Дмитриева

Уч.-изд. л. 3,8. Печ. л. 3,1.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1