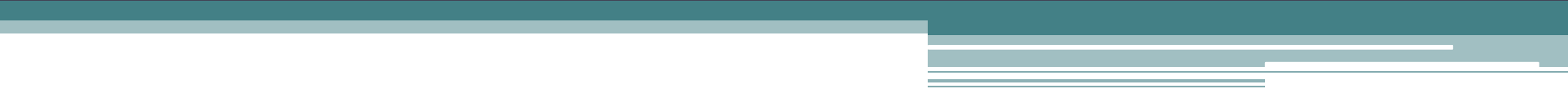


Методы планирования экспериментов



План

- Машинный эксперимент.
- Стратегическое планирование экспериментов
- Тактическое планирование экспериментов

- Имитационное моделирование является по своей сути машинным экспериментом с моделью исследуемой или проектируемой системы. Основная цель экспериментальных исследований с помощью имитационных моделей состоит в наиболее глубоком изучении поведения моделируемой системы. Для этого необходимо планировать и проектировать не только саму модель, но и процесс ее использования, т. е. проведение с ней экспериментов на ЭВМ. Весь комплекс вопросов планирования экспериментов с имитационными моделями для их успешного решения рационально разбить на стратегическое и тактическое планирование.

Машинный эксперимент.

- Машинный эксперимент с моделью системы S при ее исследовании и проектировании проводится с целью получения информации о характеристиках процесса функционирования рассматриваемого объекта. Эта информация может быть получена как для анализа характеристик, так и для их оптимизации при заданных ограничениях, т. е. для синтеза структуры, алгоритмов и параметров системы S . В зависимости от поставленных целей моделирования системы S на ЭВМ имеются различные подходы к организации имитационного эксперимента с машинной моделью M_m .

- Основная задача планирования машинных экспериментов — получение необходимой информации об исследуемой системе S при ограничениях на ресурсы (затраты машинного времени, памяти и т. п.). К числу частных задач, решаемых при планировании машинных экспериментов, относятся задачи уменьшения затрат машинного времени на моделирование, увеличения точности и достоверности результатов моделирования, проверки адекватности модели и т. д.
- Эффективность машинных экспериментов с моделями M_m существенно зависит от выбора плана эксперимента, так как именно план определяет объем и порядок проведения вычислений на ЭВМ, приемы накопления и статистической обработки результатов моделирования системы S .
- Поэтому основная задача планирования машинных экспериментов с моделью M_m формулируется следующим образом: необходимо получить информацию об объекте моделирования, заданном в виде моделирующего алгоритма (программы), при минимальных или ограниченных затратах машинных ресурсов на реализацию процесса моделирования.
- Таким образом, при машинном моделировании рационально планировать и проектировать не только саму модель M_m системы S , но и процесс ее использования, т. е. проведение с ней экспериментов с использованием инструментальной ЭВМ.
- К настоящему времени в различных областях знаний сложилась теория планирования экспериментов, в которой разработаны достаточно мощные математические методы, позволяющие повысить эффективность таких экспериментов.

- Несмотря на то что цели экспериментального моделирования на ЭВМ и проведения натуральных экспериментов совпадают, между видами экспериментов существуют различия, поэтому для планирования эксперимента наиболее важное значение имеет следующее:
- 1) простота повторения условий эксперимента на ЭВМ с моделью M_m системы S ;
- 2) возможность управления экспериментом с моделью M_m , включая его прерывание и возобновление;
- 3) легкость варьирования условий проведения эксперимента (воздействий внешней среды E);
- 4) наличие корреляции между последовательностью точек в процессе моделирования;
- 5) трудности, связанные с определением интервала моделирования $(0, T)$.
- Преимуществом машинных экспериментов перед натурным является возможность полного воспроизведения условий эксперимента с моделью исследуемой системы S . Сравнить две альтернативы возможно при одинаковых условиях, что достигается, например, выбором одной и той же последовательности случайных чисел для каждой из альтернатив. Существенным достоинством перед натурными является простота прерывания и возобновления машинных экспериментов, что позволяет применять последовательные и эвристические приемы планирования, которые могут оказаться нереализуемыми в экспериментах с реальными объектами. При работе с машинной моделью M_m всегда возможно прерывание эксперимента на время, необходимое для анализа результатов и принятия решений об его дальнейшем ходе (например, о необходимости изменения значений параметров модели M_m).

- Если цель эксперимента — изучение влияния переменной x на переменную y , то x — фактор, а y — реакция. В экспериментах с машинными моделями M_m системы S фактор является независимой или управляемой (входной) переменной, а реакция — зависимой (выходной) переменной.
- Каждый фактор x_i , $i=1, k$ может принимать в эксперименте одно из нескольких значений, называемых *уровнями*. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний рассматриваемой системы. Одновременно этот набор представляет собой условия проведения одного из возможных экспериментов.
- Каждому фиксированному набору уровней факторов соответствует определенная точка в многомерном пространстве, называемом *факторным пространством*. Эксперименты не могут быть реализованы во всех точках факторного пространства, а лишь в принадлежащих допустимой области.
- Существует вполне определенная связь между уровнями факторов и реакцией (откликом) системы.
- Функцию, связывающую реакцию с факторами, называют *функцией реакции*, а геометрический образ, соответствующий функции реакции, — *поверхностью реакции*.
- При планировании экспериментов необходимо определить основные свойства факторов. Факторы при проведении экспериментов могут быть управляемыми и неуправляемыми, наблюдаемыми и ненаблюдаемыми, изучаемыми и неизучаемыми, количественными и качественными, фиксированными и случайными.
- *Фактор* называется *управляемым*, если его уровни целенаправленно выбираются исследователем в процессе эксперимента.
- *Фактор* называется *наблюдаемым*, если его значения наблюдаются и регистрируются.
- Но неуправляемый фактор также можно наблюдать. *Наблюдаемые неуправляемые факторы* получили название *сопутствующих*.
- *Фактор* относится к *изучаемым*, если он включен в модель M_m для изучения свойств системы S , а не для вспомогательных целей, например для увеличения точности эксперимента.

- *Фактор* будет *количественным*, если его значения — числовые величины, влияющие на реакцию, а в противном случае *фактор* называется *качественным*.
- *Фактор* называется *фиксированным*, если в эксперименте исследуются все интересующие экспериментатора значения фактора, а если экспериментатор исследует только некоторую случайную выборку из совокупности интересующих значений факторов, то *фактор* называется *случайным*.
- Каждый фактор может принимать в испытании одно или несколько значений, называемых *уровнями*, причем фактор будет управляемым, если его уровни целенаправленно выбираются экспериментатором. Для полного определения фактора необходимо указать последовательность операций, с помощью которых устанавливаются его конкретные уровни. Такое определение фактора называется *операциональным* и обеспечивает однозначность понимания фактора.
- Основными требованиями, предъявляемыми к факторам, являются требование управляемости фактора и требование непосредственного воздействия на объект.
- Под управляемостью фактора понимается возможность установки и поддержания выбранного нужного уровня фактора постоянным в течение всего испытания или изменяющимся в соответствии с заданной программой.
- Требование непосредственного воздействия на объект имеет большое значение в связи с тем, что трудно управлять фактором, если он является функцией других факторов.
- При планировании эксперимента обычно одновременно изменяются несколько факторов. Основные требования к факторам — совместимость и независимость.
- Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы, а независимость соответствует возможности установления фактора на любом уровне независимо от уровней других.

Стратегическое планирование экспериментов

- Применяя системный подход к проблеме планирования машинных экспериментов с моделями систем, можно выделить две составляющие планирования: стратегическое и тактическое планирование.
- *Стратегическое планирование* ставит своей целью решение задачи получения необходимой информации о системе S с помощью модели M_m реализованной на ЭВМ, с учетом ограничений на ресурсы. По своей сути стратегическое планирование аналогично внешнему проектированию при создании системы S , только здесь в качестве объекта выступает процесс моделирования системы.
- При стратегическом планировании машинных экспериментов с моделями систем возникает целый ряд проблем, взаимно связанных как с особенностями функционирования моделируемого объекта (системы S), так и с особенностями машинной реализации модели M_m и обработки результатов эксперимента. В первую очередь к таким относятся проблемы построения плана машинного эксперимента; наличия большого количества факторов; многокомпонентной функции реакции; стохастической сходимости результатов машинного эксперимента; ограниченности машинных ресурсов на проведение эксперимента.

- Существенное место при планировании экспериментов с имитационными моделями, реализуемыми методом статистического моделирования на ЭВМ, занимает проблема стохастической сходимости результатов машинного эксперимента. Эта проблема возникает вследствие того, что целью проведения конкретного машинного эксперимента при исследовании и проектировании системы S является получение на ЭВМ количественных характеристик процесса функционирования системы S с помощью машинной модели M_m . В качестве таких характеристик наиболее часто выступают средние некоторых распределений, для оценки которых применяют выборочные средние, найденные путем многократных прогонов модели на ЭВМ, причем чем больше выборка, тем больше вероятность того, что выборочные средние приближаются к средним распределений. Сходимость выборочных средних с ростом объема выборки называется *стохастической сходимостью*.

- Применяя системный подход к проблеме стратегического планирования машинных экспериментов, можно выделить следующие этапы:
- 1) построение структурной модели;
- 2) построение функциональной модели.
- При этом структурная модель выбирается исходя из того, что должно быть сделано, а функциональная — из того, что может быть сделано.
- Структурная модель плана эксперимента характеризуется числом факторов и числом уровней для каждого фактора. Число элементов эксперимента где k — число факторов эксперимента; q — число уровней i -го фактора, $i=1, k$. При этом под элементом понимается структурный блок эксперимента, определяемый как простейший эксперимент в случае одного фактора и одного уровня.

Тактическое планирование экспериментов

- *Тактическое планирование* представляет собой определение способа проведения каждой серии испытаний машинной модели M_m , предусмотренных планом эксперимента. Для тактического планирования также имеется аналогия с внутренним проектированием системы S , но опять в качестве объекта рассматривается процесс работы с моделью M_m .
- Тактическое планирование эксперимента с машинной моделью M_m системы S связано с вопросами эффективного использования выделенных для эксперимента машинных ресурсов и определением конкретных способов проведения испытаний модели M_m , намеченных планом эксперимента, построенным при стратегическом планировании.
- Тактическое планирование машинного эксперимента связано прежде всего с решением следующих проблем:
 - 1) определения начальных условий и их влияния на достижение установившегося результата при моделировании;
 - 2) обеспечения точности и достоверности результатов моделирования;
 - 3) уменьшения дисперсии оценок характеристик процесса функционирования моделируемых систем;
 - 4) выбора правил автоматической остановки имитационного эксперимента с моделями систем.

- Правила автоматической остановки могут быть включены в машинную модель такими способами:
- 1) путем двухэтапного проведения прогона, когда сначала делается пробный прогон из N^* реализаций, позволяющий оценить необходимое количество реализаций N (причем если $N^* \geq N$, то прогон можно закончить, в противном случае необходимо набрать еще $N - N^*$ реализаций);
- 2) путем использования последовательного анализа для определения минимально необходимого количества реализаций N , которое рассматривается при этом как случайная величина, зависящая от результатов $N - 1$ предыдущих реализаций (наблюдений, испытаний) машинного эксперимента.
- Таким образом, чем сложнее машинная модель M_m , тем важнее этап тактического планирования машинного эксперимента, выполняемый непосредственно перед моделированием на ЭВМ системы S . Процесс планирования машинных экспериментов с моделью M_m итерационен, т. е. при уточнении некоторых свойств моделируемой системы S этапы стратегического и тактического планирования экспериментов могут чередоваться.

