**Тактическое планирование** эксперимента связано с определением эффективности и ресурсоёмкости каждого конкретного эксперимента, представляющего собой серию повторяющихся и однотипных испытаний (прогонов) ИМ в смысле задания исходных данных или комбинаций факторов, установленных в ходе стратегического планирования.

Тактическое планирование сводится к решению двух типов задач:

* определение начальных условий и их влияния на достижение установившегося результата при моделировании;
* снижение погрешности (дисперсии) получаемых при моделировании оценок реакции системы при одновременном сокращении объёма испытаний.

**Первая задача** возникает вследствие искусственного характера процесса функционирования ИМ*.* В отличие от реального объекта, который часто функционирует непрерывно, у модели всегда существует переходный период, связанный с тем, что случайные процессы, разыгрываемые в модели, требуют определенного времени для выхода в установившейся режим.

Таким образом, возникает задача снижения или исключения влияния начального периода работы при проведении каждого прогона модели. При этом используют три основных подхода:

1. Увеличение длительности каждого прогона так, чтобы влияние переходного периода было заведомо незначительным;

2. Исключение из рассмотрения начального периода, т.е. введение этапа специальной предварительной «раскрутки» процесса имитации случайных величин и процессов;

3. Искусственный подбор близких к режимным начальных условий для каждой реализации, например использование одной длительной реализации случайного процесса, разбиваемой для каждого прогона на отдельные фрагменты.

Следует отметить, что при решении первой задачи тактического планирования в рамках рассмотренных подходов используют в основном эвристические методы, опирающиеся на знание физики разыгрываемых в ИМ процессов.

В отличие от первой – **вторая задача** тактического планирования может быть решена строго математически. Данная задача сводится к определению гарантированного объема выборки для получения требуемой точности оценивания компонентов отклика системы, описывающих её эффективность. При этом будем разделять ситуацию оценки величины непрерывнозначного показателя эффективности системы и величины, характеризующей вероятность наступления тех или иных событий, описывающих «хорошие» и «плохие» исходы функционирования системы.

**СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ**

Стратегическое планирование вычислительного эксперимента – это организация вычислительного эксперимента, выбор метода сбора информации, который дает требуемый (для данной цели моделирования, для принятия решения) ее объем при наименьших затратах (с учетом ограничений на ресурсы).

**Основные цели стратегического планирования:**

1) Выбор конкретного метода сбора необходимой для получения обоснованных выводов информации, т.е. составление плана эксперимента – структурной основы процесса исследования.

2) Достижение цели исследования эффективным образом, т.е. уменьшение числа экспериментальных проверок (прогонов).

Уменьшение числа прогонов необходимо, т.к. в процессе имитационного исследования рассматривается большое число вариантов (для каждого варианта могут меняться параметры, переменные, структурные отношения), что приводит к увеличению числа прогонов, а, следовательно, растут и затраты машинного времени. Проблема выбора ограниченного числа прогонов может быть решена с помощью статистических методов планирования эксперимента.

**ПЛАН ОДНОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Наиболее простой эксперимент в ИМ – однофакторный эксперимент. Изменяется один фактор. (Уровни исследуемого фактора могут быть качественными или количественными, фиксированными или случайными). Число наблюдений или прогонов для каждого уровня режима или фактора определяется допустимыми затратами, желаемой мощностью проверки или статистической значимостью результатов.

Математическая модель такого эксперимента: Х𝑖𝑗 = μ +𝑇𝑗 +ε𝑖𝑗, где 𝑋𝑖𝑗 обозначает 𝑖-e наблюдение (𝑖 = 1,2,…,𝑛) на -м уровне (𝑗 = 1,2,…,𝑘 уровней). Например, Х42 обозначает четвертое наблюдение или прогон на втором уровне фактора; μ – общее влияние всего эксперимента; 𝑇𝑗 – влияние -го уровня, εij – случайная ошибка 𝑖-го наблюдения на 𝑗-м уровне. (В большинстве рассматриваемых в литературе экспериментальных моделей предполагается нормально распределенной случайной величиной с нулевым средним и дисперсией, одинаковой для всех 𝑗).



***Полный факторный эксперимент***

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется *полным факторным экспериментом* (ПФЭ). Если выбранная модель планирования включает в себя только линейные члены полинома и их произведения, то для оценки коэффициентов модели используется план эксперимента с варьированием всех *k* факторов на двух уровнях, т.е. *q=*2. *Полный факторный план* при двух уровнях называют ещё планом *D* и планом – 2*k*, где *N* = 2*k* – число всех возможных испытаний.

Начальный этап планирования эксперимента для получения коэффициентов линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях: нижнем *хi*н и верхнем *хi*в – симметрично расположенных относительно основного уровня *хi*0*,* . Геометрическая интерпретация показана на рис. 2, *а.* Так как каждый фактор принимает лишь два значения *хi*н = *хi*0–*xi* и *хi*в = *хi*0 *+* *xi*, то для стандартизации и упрощения записи условий каждого испытания и обработки выборочных данных эксперимента масштабы по осям факторов выбираются так, чтобы нижний уровень соответствовал -1, верхний – +1, а основной – нулю. Это легко достигается с помощью преобразования вида

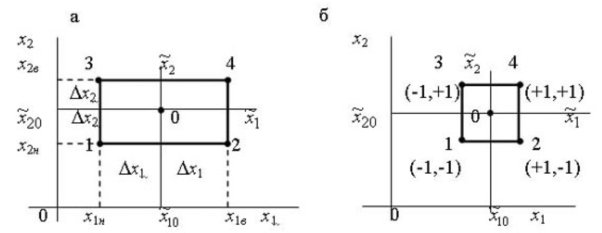
,

где  –кодированное значение *i*-го фактора;

*xi* – натуральное значение фактора;

*xi*0– нулевой уровень;

*xi* = (*xi*в – *xi*н)/2 – интервал варьирования фактора.



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  испытания | *x*0 | ПФЭ | | *x*1*x*2(*x*3) | Реакция *y* |
| *x*1 | *x*2 |
| 1 | 1 | -1 | -1 | +1 | *y1* |
| 2 | 1 | -1 | +1 | -1 | *y2* |
| 3 | 1 | +1 | -1 | -1 | *y3* |
| 4 | 1 | +1 | +1 | +1 | *y4* |

для k=2

Уравнение регрессии будет: *у = b*0*+b*1*x*1*+ b*2*x*2+ *b*12*x*1*x*2.

для k=3

Уравнение регрессии при этом будет иметь вид:

*у = b*0*+b*1*x*1*+ b*2*x*2+ *b*3*x*3+ *b*12*x*1*x*2+ *b*13*x*1*x*3+ *b*23*x*2*x*3+ *b1*23*x*1*x*2*x*3.

и куб на графике/восемь испытаний на рисунке

Главным недостатком ПФЭ является быстрый рост числа экспериментов с увеличением числа *k* факторов. При этом, как следует из рассмотренных планов экспериментов типов 22 и 23, количество испытаний в ПФЭ значительно превосходит число определяемых коэффициентов линейной модели регрессии, т. е. ПФЭ обладает большой избыточностью и поэтому возникает проблема сокращения их количества. В ряде случаев можно реализовать матрицу планирования, содержащую часть полного факторного плана, т.е. провести *дробный факторный эксперимент*.

***Правило проведения дробного факторного эксперимента***формулируется так: для сокращения числа испытаний новому фактору присваивается значение вектор-столбца матрицы, принадлежащего взаимодействию, которым можно пренебречь.

Формирование дробного эксперимента из четырех испытаний для оценки влияния трех факторов осуществляется на основе половины ПФЭ типа 23. Эта половина называется *полурепликой*. Их может быть две. Первая получается, если приравнять *x*3 и *x*1*x*2, при этом получается *x*1*x*2*x*3 = 1 (рис. 5). Вторая полуреплика получается, если приравнять – *x*1*x*2 и *x*3, тогда *x*1*x*2*x*3 = -1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  испытания | *x*3 = *x*1*x*2 | | | |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*1*x*2*x*3 |
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 |
| 2 | -1 | -1 | +1 | +1 |
| 3 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 4 | -1 | +1 | -1 | +1 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  испытания | *x*3 = –*x*1*x*2 | | | |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*1*x*2*x*3 |
| 1 | +1 | +1 | -1 | -1 |
| 2 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | -1 | +1 | +1 | -1 |