



Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры



Международный
центр компетенций
в горнотехническом образовании
под эгидой ЮНЕСКО

**Международная специальная краткосрочная программа
Международного центра компетенций в горнотехническом
образовании под эгидой ЮНЕСКО**

**РАЗРАБОТАНА В РАМКАХ СОДЕЙСТВИЯ ЭКСПОРТА
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ**

**«МЕТОДЫ И МОДЕЛИ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

Уровень программы: общий

Форма обучения: очная

Объем программы: 68 часов

**Руководитель
программы:**

к.т.н., доц. Афанасьева О.В.

**Составитель
программы:**

к.т.н., доц. Афанасьева О.В.



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

1 Общие положения

1.1 Цель программы:

Цель программы – изучение методов системного анализа и возможностей их применения при решении задач управления организационно-техническими системами; овладение в комплексе научно-методическим аппаратом прогнозирования и моделирования, основываясь на статистических данных, а также научного обоснования и качества разрабатываемых рекомендаций и управленческих решений в организационно-технических системах на основе использования современных информационных технологий.

1.2 Основные задачи программы

Получение дополнительных знаний в области:

- применения информационных технологий обоснования решений по управлению организационно-техническими системами;
- формирования систем исходных данных для поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах;
- постановки и решения задач оценивания эффективности функционирования организационно-технических систем методами системного анализа;
- прогнозирования динамики развития организационно-технических систем с применением моделирующих систем;
- организации экспертизы организационно-технических систем, а также экспертной оценки управленческих решений в организационно-технических системах.

1.3 Категория слушателей:

Студенты и аспиранты, обучающиеся по направлениям подготовки, связанным с моделированием и анализом сложных процессов в технических, экономических и социальных системах.

1.4 Планируемые результаты обучения

Перечень дополнительных профессиональных компетенций, качественное изменение которых осуществляется в результате реализации программы обучения:

- способность проводить оценивание эффективности функционирования организационно-технических систем на основе методов системного анализа;
- способность проводить обоснование и принимать научно-обоснованные решения с использованием методов системного анализа, экспертного оценивания, осуществлять оценку их корректности и эффективности;
- способность применять критерии принятия решений при исследовании организационно-технических систем;
- способность использовать модели сетевого планирования и управления, вероятностные модели, модели управления запасами при исследовании организационно-технических систем;
- способность разрабатывать и применять модели массового обслуживания для исследования процессов в организационно-технических системах;
- способность осуществлять моделирование организационно-технических систем в программной среде GPSS;
- способность применять фактографические методы экстраполяции тенденций при решении задач прогнозирования развития организационно-технических систем;
- способность осуществлять верификацию прогнозов с использованием информационно-статистических методов;
- способность использовать программную среду Statgraphics для решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем;

- способность использовать методы имитационного моделирования для оценки функционирования организационно-технических систем;
- способность проводить планирование вычислительного эксперимента и осуществлять статистический анализ его результатов;
- способность осуществлять имитационное моделирование функционирования организационно-технических систем в программной среде MatLab Simulink.

1.5 Требования к результатам освоения программы:

С целью достижения указанных в п. 1.4 дополнительных профессиональных компетенций, слушатели в процессе освоения Краткосрочной программы должны:

Получить знания по вопросам:

- оценивания эффективности функционирования организационно-технических систем на основе методов системного анализа.
- обоснования и принятия научно-обоснованные решения с использованием методов системного анализа,
- обоснования и принятия научно-обоснованные решения с экспертного оценивания с оценкой их корректности и эффективности.
- применения критериев принятия решений при исследовании организационно-технических систем.
- использования модели сетевого планирования и управления, вероятностных моделей;
- использования моделей управления запасами моделей массового обслуживания при исследовании процессов в организационно-технических системах.
- применения фактографических методов экстраполяции тенденций при решении задач прогнозирования развития организационно-технических систем.
- использования современных прикладных программ для моделирования параметров организационно-технических систем и
- использования современных прикладных программ для исследования параметров организационно-технических систем.
- использования методов имитационного моделирования для оценки функционирования организационно-технических систем.
- планирования вычислительного эксперимента
- осуществление статистического анализа результатов вычислительного эксперимента.

Развить умения:

- обосновывать научно-обоснованные решения на основе методов системного анализа, экспертного оценивания.
- принимать научно-обоснованные решения на основе методов системного анализа, экспертного оценивания.
- по использованию критериев принятия решений при исследовании организационно-технических систем.
- по использованию модели сетевого планирования и управления при исследовании организационно-технических систем;
- по использованию вероятностных моделей при исследовании организационно-технических систем;
- по использованию моделей управления запасами при исследовании организационно-технических систем.

- по разработке и применению модели массового обслуживания для исследования процессов в организационно-технических системах.
- по применению фактографических методов экстраполяции тенденций при решении задач прогнозирования развития организационно-технических систем.
- по использованию методов имитационного моделирования для оценки функционирования организационно-технических систем.
- по проведению планирования вычислительного эксперимента и осуществления статистического анализа его результатов.
- использовать модели управления, вероятностных моделей, модели управления запасами при исследовании организационно-технических систем.
- применять научно-обоснованные решения с использованием методов системного анализа,

Приобрести навыки:

- оценивания эффективности функционирования организационно-технических систем на основе методов системного анализа.
- применения научно-обоснованные решения с использованием методов системного анализа,
- экспертного оценивания, осуществлять оценку их корректности и эффективности.
- применения критериев принятия решений при исследовании организационно-технических систем.
- использования модели сетевого планирования и управления, вероятностных моделей, модели управления запасами при исследовании организационно-технических систем;
- применения модели массового обслуживания для исследования процессов в организационно-технических системах.
- моделирования организационно-технических систем в программной среде GPSS.
- применения фактографических методов экстраполяции тенденций при решении задач прогнозирования развития организационно-технических систем.
- использования программной среды Statgraphics для решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем.
- использования методов имитационного моделирования для оценки функционирования организационно-технических систем.
- планирования вычислительного эксперимента и осуществления статистического анализа его результатов.
- имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем в программной среде MatLab Simulink.

1.6 Календарный учебный график

Условные обозначения:

Теоретическое обучение	час
Итоговая аттестация	ИА

Форма обучения	Дни недели/ауд. час												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
очная	-	2	8	8	8	8	-	-	6	8	8	6	2 ИА

1.7 Учебный план:

№	Наименование дисциплин (модуля)	Всего часов	В том числе					
			Лекции	Практические занятия (семинары)	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Выездные мастер-классы	Итоговая аттестация
1	Введение. Применение методов системного анализа для исследования организационно-технических систем и процессов.	2	2	-	-	-	-	-
2	Модуль 1. Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах.	12	4	8	-	-	-	-
3	Модуль 2. Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах.	18	8	10	-	-	-	-
4	Модуль 3. Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно -корреляционного анализа.	16	6	10	-	-	-	-
5	Модуль 4. Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем.	14	4	10	-	-	-	-
6	Итоговая аттестация	6	-	-	-	4	-	2
	Всего	68	24	38	-	4	-	2

1.8 Объем программы и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Часы
Лекционные занятия	24
Практические занятия	38
Лабораторные занятия	-
Выездные мастер-классы	-
Итоговая аттестация	2
Всего очных занятий	64
Самостоятельная работа, включая подготовку к итоговой аттестации	4
Общий объем программы	68

2 Содержание обучения:

2.1 Содержание обучения по программе:

№	Наименование разделов профессионального модуля, тем	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Введение. Применение методов системного анализа для исследования организационно-технических систем и процессов.	<ul style="list-style-type: none">• Понятие системы, классификация систем.• Управление системой. Принципы управления системой. Способы управления различными системами.• Принятие решения. Проблема и условия принятия решения для сложных систем.• Методология исследования систем. Понятие исследования. Объект и предмет исследования. Виды исследований. Основные составляющие исследования	2
2	Модуль 1. Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах.	<ul style="list-style-type: none">• Эффективность системы. Критерии и методы оценки эффективности системы.• Выявление и измерение предпочтений методами экспертного оценивания.• Методы обработки экспертных оценок.• Статистические методы обоснования решений. Критерии принятия решений.• Моделирование систем и процессов в среде Anylogic.	12
3	Модуль 2. Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах.	<ul style="list-style-type: none">• Методы и модели сетевого планирования и управления.• Вероятностные модели систем.• Модели массового обслуживания.• Модели управления запасами.• Игровые задачи системного исследования.• Методы проведения исследования с использованием GPSS.	18
4	Модуль 3. Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно - корреляционного анализа.	<ul style="list-style-type: none">• Общая характеристика методов прогнозирования• Прогнозная экстраполяция методом наименьших квадратов.• Применение линеаризующих преобразований.• Прогнозирование процессов с периодическими колебаниями.• Метод многомерной линейной экстраполяции.• Метод экспоненциального сглаживания.• Верификация прогнозов.• Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Статистические методы анализа по одной и множеству переменных, процедуры подбора распределений.• Методы проведения исследования с	16

№	Наименование разделов профессионального модуля, тем	Содержание учебного материала	Объем часов
		использованием Statgraphics. Методы сравнения выборок данных. Одно- и многофакторный дисперсионный анализ. • Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Простой, полиномиальный и множественный регрессионный анализ	
5	Модуль 4. Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем.	<ul style="list-style-type: none"> • Основные принципы, подходы и процедуры системного моделирования. • Численные методы системного моделирования. • Оценка качества моделей. Планирование вычислительного эксперимента. • Статистический анализ результатов моделирования. Принятие решений по результатам моделирования. • Методы проведения исследования с Statgraphics. Кластерный анализ. • Методы проведения исследования с применением MatLab Simulink. 	14
6	Итоговая аттестация		6
	Всего		68

2.2 Рабочие программы дисциплин (модулей) – представлены в Приложении 1.

2.3 Формы аттестаций по программе:

Для оценки качества усвоения знаний, умений и опыта деятельности предусмотрены текущий и итоговый виды контроля.

Текущий контроль успеваемости осуществляется на основе тестов, которые содержат контрольные вопросы по каждому изучаемому модулю и должны быть сданы обучающимися в ходе учебного периода.

Форма итоговой аттестации по программе – зачет.

К зачету допускаются только те слушатели, которые успешно сдали все тесты по изученным модулям.

2.4 Оценочные материалы:

Примерный перечень вопросов для подготовки к тестам и зачету/экзамену:

Модуль 1. «Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах»

1. Что понимается под системой?
2. Что такое эмерджентность?
3. Какие системы относятся к сложным?
4. В чем отличие сложных систем от простых?
5. Что обусловило привлечение методологических средств системного анализа для решения крупных научно-технических проблем?
6. Какие моменты включает понятие операция?
7. Дайте определение цели?
8. Что такое управляемая подсистема?

9. Что называется состоянием системы?
10. Что называется эффективностью операции?
11. Что понимается под потенциальной эффективностью?
12. Что понимается под фактором?
13. Какие факторы, определяющие эффективность операций в технике, вы знаете?
14. Какие качества сложной системы вы знаете?
15. Какие показатели эффективности вы знаете?
16. Какие критерии эффективности вы знаете?
17. Что понимается под предпочтением?
18. Какая система обладает свойством полноты?
19. Что необходимо уметь ЛПР при исследовании возможных способов выявления системы предпочтений?
20. Какие способы выражения предпочтений вы знаете?
21. Что такое матрицы попарных сравнений?
22. Что понимается под сортировкой?
23. Для чего применяется ранжирование?
24. В чем отличие способа попарного сравнения от способа попарного выражения предпочтения как доли суммарной эффективности?
25. На чем основан способ выражения предпочтений лингвистическими переменными?
26. Что такое отношение?
27. Какие свойства бинарных отношений вы знаете?
28. Какое отношение называется толерантностью?
29. Какая операция называется транзитивным замыканием отношения?
30. Какое соответствие называется функцией выбора?
31. Какую функцию называют функцией эффективности?
32. Что понимают под методом экспертного оценивания?
33. Какие методы индивидуального экспертного оценивания вы знаете?
34. Какие этапы экспертного оценивания вы знаете?
35. Что позволяет оценить статистическая оценка полученных результатов?
36. Какие методы определения коэффициентов относительной важности вы знаете?
37. При помощи каких критериев можно производить выбор оптимального варианта?
38. Как строится матрица решений?
39. Какие способы построения оценочных функций вы знаете?
40. Какими свойствами обладает отношение частичного порядка?
41. Какая поверхность называется поверхностью уровня?
42. Какая функция называется функцией предпочтения?
43. Какую оценочную функцию использует минимаксный критерий?
44. Какой критерий чаще всего применяется при выборе решения для максимального исключения риска?
45. В чем отличие в применении минимаксного критерия от критерия Байеса – Лапласа?
46. В каких случаях возможно применение критерия Ходжа – Лемана?
47. При каких условиях применим критерий Гермейера?
48. Что вызвало создание составных критериев?
49. Приведите пример составного критерия.
50. Какие условия должны быть выполнены для применения составных критериев?

Модуль 2. «Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах»

1. Дайте определение сетевой модели.
2. Что называется сетевым графиком?
3. Что означает понятие «действительная работа»?

4. Чему равна продолжительность фиктивной работы?
5. Какое событие называется завершающим?
6. Что называется путем в сетевой модели?
7. Что понимается под полным путем?
8. Какой ранг присваивается исходному событию в методе разделения событий на ранги?
9. В чем суть метода последовательного вычеркивания дуг?
10. Какие модели являются оптимизационными?
11. С помощью каких моделей можно найти минимальное время, в течение которого может быть выполнен весь комплекс, и определить календарные сроки начала и окончания каждой работы комплекса, обеспечивающие выполнение всего комплекса в найденное минимальное время?
12. Какие оценки продолжительности выполнения отдельных работ вы знаете?
13. Какая сетевая модель называется детерминированной?
14. Какая сетевая модель называется вероятностной?
15. В каких случаях используют для оценки продолжительности работы бета-распределение?
16. Какие вероятностные оценки используют в системах сетевого планирования и управления?
17. Что представляют собой первичные сетевые модели?
18. Что представляют собой частные сетевые модели?
19. Что представляют собой комплексные сетевые модели?
20. Какие правила должны соблюдаться при укрупнении людьми?
21. Какие параметры сетевой модели с учетом временных характеристик вы знаете?
22. Какие работы называются критическими?
23. Дайте определение резерву времени события и работ.
24. Какие работы называются подкритическими?
25. Какие методы расчета параметров сетевой модели вы знаете?
26. В чем суть матричного метода?
27. Для исследования каких систем используются вероятностные (стохастические модели)?
28. Что такое поток событий?
29. Какие свойства потоков вы знаете?
30. Какой поток называется простейшим (или стационарным пуассоновским потоком).
31. Какой граф называется размеченным?
32. Какие особенности марковского процесса вы знаете?
33. Какие признаки реальной системы позволяют рассматривать ее как своеобразную систему массового обслуживания (СМО)?
34. Приведите примеры СМО.
35. Какие показатели необходимы для задания СМО?
36. Что называется обслуживающим прибором (каналом) в СМО?
37. Какой параметр обслуживающего прибора (канала) является основным?
38. Как вычисляется производительность прибора (канала)?
39. Что понимается под временем обслуживания заявки?
40. Какие системы называются многофазными?
41. Что относится к основным правилам обслуживания?
42. Каким образом может осуществляться выбор свободного прибора (канала)?
43. Что лежит в основе правил назначения очередной заявки на обслуживание?
44. Какие виды СМО вы знаете?
45. В чем главная задача исследования СМО?
46. Как выглядит математическая модель однофазной СМО?
47. Как выглядит граф состояний, соответствующий однофазной СМО?

48. Что характеризует эффективность СМО?
49. Какие показатели эффективности СМО вы знаете?
50. Что такое абсолютная пропускная способность СМО?
51. Что такое средняя длина очереди?
52. Как вычисляется среднее время пребывания заявки в системе?
53. Как можно вычислить экономическую эффективность СМО?
54. Чем характеризуется СМО с конечной очередью?
55. Чем характеризуется СМО с ожиданием?
56. Чем характеризуются смешанные СМО?
57. Какие особенности применения моделей массового обслуживания вы знаете?
58. Какие модели СМО относятся к классу разомкнутых систем?
59. Какие модели СМО относятся к классу замкнутых систем?
60. Что изучает теория управления запасами?
61. Что такое система управления запасами?
62. В чем отличие между однокаскадными и эшелонированными системами?
63. В чем отличие между линейной и пирамидальной структурами системы?
64. Какие характеристики предметов запаса вы знаете?
65. Чем характеризуется спрос?
66. Какие системы называются системами с неограниченным запасом?
67. Какие типы стратегий вы знаете?
68. Что является показателем экономической эффективности системы управления запасами?
69. Какие существуют ограничения при решении задач оптимального управления запасами?
70. Как происходит управление запасами при детерминированном стационарном спросе?
71. Какие особенности управления запасами при вероятностном спросе вы знаете?
72. Что такое игра в терминах теории игр?
73. Какая игра называется конечной?
74. В чем заключается решение игры в теории игр?
75. Как определяется верхняя цена игры?
76. Как определяется минимаксная стратегия игры?
77. Какие границы имеет выигрыш системы?
78. В каких пределах лежит фактический результат игры (цена игры)?
79. Что такое платежная матрица?
80. Как называется седловая точка платежной функции?
81. По каким правилам происходит переход от исходной задачи к симметричной двойственной?
82. Являются ли симметричные двойственные задачи взаимно двойственными?
83. Что такое взаимная двойственность?
84. Что называется теорией статистических решений?
85. Как строится матрица рисков?
86. Что такое риск в теории игр?
87. Какие критерии для определения предпочтительной стратегии вы знаете?
88. Какой критерий позволяет получить нижнюю цену парной игры?
89. Дайте определение оптимальных стратегий.
90. В чем суть метода Брауна?
91. Сформулируйте критерий Вальда.
92. Сформулируйте критерий Сэвиджа.
93. Сформулируйте критерий Гурвица.

Модуль 3. «Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно -корреляционного анализа»

1. Что характеризует детерминированная компонента в уравнении тренда?
2. Что отражает стохастическая компонента в уравнении тренда?
3. В чем состоит задача прогноза?
4. Что является первым этапом экстраполяции тренда?
5. В чем состоит сущность метода наименьших квадратов?
6. Какие функции чаще всего используются в качестве модели тренда в практических исследованиях?
7. Что характеризует начальный (свободный) коэффициент в уравнении линейного тренда?
8. Что понимают под точностью прогноза?
9. Что понимают под достоверностью прогноза?
10. Какие источники погрешности при построении тренда вы знаете?
11. Что такое доверительный интервал?
12. Зачем в формулу вычисления доверительных границ интервала вводят коэффициент-значение t -статистики Стьюдента?
13. Какие источники неопределенности необходимо учитывать при определении средней квадратической ошибки прогноза, основанного на линейной модели?
14. Что чаще всего принимается в качестве меры рассеяния наблюдений вокруг линии регрессии?
15. Как происходит оценка дисперсии прогноза?
16. Как ведет себя доверительный интервал при увеличении продолжительности наблюдения?
17. Как меняется доверительный интервал при увеличении периода упреждения прогноза?
18. Какие линеаризующие преобразования вы знаете?
19. Какой вид имеет общее уравнение линейной прогнозной модели?
20. Какой вид имеет общее уравнение экспоненциальной прогнозной модели?
21. Какой вид имеет общее уравнение гиперболической прогнозной модели 1-го типа?
22. Какой вид имеет общее уравнение гиперболической прогнозной модели 2-го типа?
23. Какой вид имеет общее уравнение логарифмической прогнозной модели?
24. Какой вид имеет общее уравнение обратного логарифмической прогнозной модели?
25. Какой вид имеет общее уравнение s -образной прогнозной модели?
26. Какие кривые обладают точкой перегиба и наиболее точно описывают процессы полного цикла?
27. Каким способом можно получить из модифицированной экспоненты кривые Гомперца и логистические кривые?
28. Сколькими параметрами задана модифицированная экспонента?
29. С помощью какого критерия можно оценить качество выбранной прогнозной модели?
30. Что характеризует коэффициент детерминации?
31. Какой критерий используется для проверки значимости уравнения регрессии?
32. Что понимается под автокорреляцией ошибок?
33. Как осуществляется проверка прогнозной модели на автокорреляцию ошибок?
34. С помощью какого критерия проверяется наличие корреляции в последовательном ряду значений?
35. В чем суть статистической экстраполяции?
36. Что такое метод многомерной линейной экстраполяции?
37. Какой метод используется для восстановления неизвестного обобщенного показателя прогнозируемой альтернативы объекта в условиях малого числа наблюдений?

38. Как найти оптимальную выходную характеристику системы для новой ситуации x_4 , если известны ретроспективные ситуации x_1, x_2, x_3 , для которых определены выходные характеристики системы?
39. Как происходит минимизация функции близости?
40. В чем суть метода экстраполяции сглаживания?
41. Что такое интервал сглаживания?
42. Как происходит расчет скользящей средней при большом числе уровней?
43. Как выглядит общая запись в рекуррентной форме экспоненциальной средней порядка k ?
44. Как определяются параметры прогнозной модели методом экспоненциального сглаживания?
45. Какова последовательность вычисления прогнозных значений?
46. Как выбирается начальное значение сглаживаемой функции?
47. Что такое матрица прецедентов?
48. От чего зависит точность прогноза?
49. Каким образом строится модель, характеризующая зависимость средней ошибки прогноза от двух параметров (периода предыстории и прогнозируемого периода)?
50. Как осуществляется ретроспективный прогноз?
51. Что такое период упреждения?
52. Как оценивается точность прогноза?
53. Что чаще всего принимается в качестве меры рассеяния наблюдений вокруг линии регрессии?
54. Как учитывается в прогнозной модели погрешность в оценке ее параметров?
55. Что такое период упреждения, как он рассчитывается?
56. Что такое ошибка прогноза?
57. В чем суть прогнозной математической модели динамики замещения?
58. Какие методы экспертного оценивания вы знаете?

Модуль 4. «Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем»

1. Что означает системный подход?
2. Что такое системный анализ?
3. Что понимается под термином «элемент»?
4. Какие отличительные признаки больших систем вы знаете?
5. Что такое подсистема?
6. Для чего предназначена управляющая подсистема?
7. В чем заключается главная особенность системного подхода?
8. Что понимается под эффективностью системы?
9. В чем заключается сущность управления большой системой?
10. Какие причины, обуславливающие неполноту информации, вы знаете?
11. Из каких функций состоит процесс управления организационными системами?
12. В чем заключается функция постановки задачи?
13. Какие аспекты имеет выбор целей?
14. В чем заключается функция выработки и принятия решений?
15. Какие основные причины затрудняют постановку задачи, выработку и принятие решений?
16. В чем заключается функция планирования?
17. Какие основные источники неопределенности при стратегическом планировании, связанном с задачами научно-технического прогресса, вы знаете?
18. В чем заключается функция организации?
19. По каким признакам можно классифицировать структуры систем управления?
20. Какие наиболее характерные особенности иерархической структуры вы знаете?
21. Что такое дерево целей?

22. Что понимается под моделированием?
23. Что отражают модели геометрического подобия?
24. Что такое модели-аналоги?
25. Что понимают под математической моделью?
26. Какие модели, классифицированные по характеру их использования, вы знаете?
27. Что дает имитационное моделирование?
28. Что понимается под функцией «проверка и корректировка моделей»?
29. Какие существуют основные типы задач, решаемых с помощью моделирования?
30. Когда возникают задачи распределения?
31. Что понимается под задачами управления запасами?
32. При каких условиях возникают задачи массового обслуживания?
33. Какие задачи относятся к задачам массового обслуживания?
34. Что такое натурное моделирование?
35. Что такое идеальное воспроизведение?
36. В чем заключается принцип информационной достаточности?
37. В чем заключается принцип агрегатирования?
38. В чем заключается принцип последовательного наращивания моделей?
39. В чем заключается принцип параметризации?
40. В чем заключается принцип направленного эксперимента?
41. Какие требования предъявляются к математическим моделям?
42. В чем сущность метода статистических испытаний?
43. Что понимается под названием вычислительный эксперимент?
44. Что представляет собой статистическое моделирование?
45. Какие основные составные части метода статистических испытаний вы знаете?
46. Какие основные достоинства метода статистических испытаний вы знаете?
47. Каким образом возможно моделирование системы массового обслуживания?
48. Что такое однофазная система обслуживания?
49. Каким образом происходит оценка результатов наблюдений при моделировании?
50. В чем суть метода повторений?
51. В чем суть метода подынтервалов?
52. Какие прикладные задачи имитационного моделирования вы знаете?
53. В чем суть метода экспоненциального сглаживания?
54. Как происходит оценка качества модели?
55. Какие свойства модели вы знаете?
56. В чем цель методов стратегического планирования имитационных экспериментов?
57. Какие методы повышения качества оценок показателей эффективности вы знаете?
58. Какие основные этапы в общем случае можно выделить при выборе стратегии испытания?
59. Что такое полные факторные планы испытаний?
60. Что такое дробные факторные планы испытаний?
61. Что является целью проверки воспроизводимости?
62. Опишите общую процедуру принятия решений?
63. Что такое статистика критерия?
64. Как происходит проверка гипотезы о параметрах?
65. На чем основано принятие решений стабильности условий испытаний?
66. Как происходит подготовка исходных данных и проверка статистических гипотез?
67. За счет чего происходит сокращение размерности моделей больших систем?

2.4.1 Критерии оценивания

Критерии оценок промежуточной аттестации

Оценка	Описание
Зачтено	Посещение более 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение курса выполнил работу.
Не зачтено	Посещение менее 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

Критерии оценок итоговой аттестации: примерная шкала оценивания знаний по выполнению заданий зачета:

Оценка	
Не зачтено	Зачтено
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 50 % лекционных и практических занятий
Обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Обучающийся хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

2.5. Учебно-методические материалы (в том числе конспекты лекций) – представлены в Приложении 2.

2.6. Вид документа, подтверждающий прохождение обучения:

После успешного окончания обучения выдается сертификат о прохождении Международной специальной краткосрочной программы под эгидой Международного центра ЮНЕСКО: «Методы и модели поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах».

3 Организационно-педагогические условия реализации программы:

3.1 Материально-технические условия реализации программы:

Для реализации программы используются 2 аудитории кафедры Системного анализа и управления, оснащенные мультимедийными проекторами, компьютерами с возможностью доступа к сети «Интернет».

3.2. Кадровое обеспечение образовательного процесса по программе:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Образование (вуз, год окончания, специальность)	Должность, ученая степень, звание. Стаж работы в данной или аналогичной области	Перечень основных научных и учебно-методических публикаций
Руководитель программы				
1	Афанасьева Ольга Владимировна	Ленинградский государственный университет (ЛГУ), 1994, математико-механический факультет по специальности «Математика» с присвоением квалификации «Математик, преподаватель» (диплом ЭВ № 078040), ФГАОУ ВО «Северо - Кавказский федеральный университет», Инженерный факультет, магистр по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах», магистерская программа: «Системные исследования в задачах управления», канд. техн наук,	доцент кафедры системного анализа и управления, Санкт - Петербургский горный университет, канд. техн. наук, Почётный работник высшего профессионального образования, более 20 лет	Автор более 120 научных работ, в том числе 3 монографий, 20 патентов и свидетельств.
Профессорско-преподавательский состав программы				
1	Афанасьева Ольга Владимировна	Канд. техн наук (диплом КТ № 133742), 2004; доцент (аттестат ДЦ № 038383), 2005;	доцент кафедры системного анализа и управления, Санкт - Петербургский горный университет, канд. техн. наук, Почётный работник высшего профессионального образования, более 20 лет	Автор более 120 научных работ, в том числе 3 монографий, 20 патентов и свидетельств.
2	Первухин Дмитрий Анатольевич	Д-р техн наук, (диплом ДК № 003483), 2000; профессор (аттестат ПР № 013113), 2005;	профессор кафедры системного анализа и управления, Санкт-Петербургский горный университет, д-р техн. наук, более 18 лет	Автор более 200 научных работ, в том числе 40 патентов и свидетельств.

Приложение 1
к образовательной программе –
«Международная специальная краткосрочная
Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО
«Методы и модели поддержки принятия управленческих решений в
организационно-технических системах»

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Введение. Применение методов системного анализа для исследования
организационно-технических систем и процессов»

1. Содержание дисциплин (модулей)

Модуль включает 2 часа лекции

Содержание лекции.

Структуризация (декомпозиция), структура организационно-технических системы. Принципы и способы управления различными системами. Принятие решения. Проблема и условия принятия решения для сложных систем. Методология исследования систем. Понятие исследования. Объект и предмет исследования. Виды исследований. Основные составляющие исследования

2. Структура дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля)/наименование тем дисциплины (модуля)	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			лекц.	практич	самост	
1	<i>Введение. Применение методов системного анализа для исследования организационно-технических систем и процессов.</i>	2	2	–	–	–
1.1.	<i>Установочная лекция</i>	2	2	–	–	–

3. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 450 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/E7D370B9-3C64-4A0F-AF1B-F6BD0EEEBCD0#page/1>

2. Моделирование систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2006. — 295 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3511/#1>

3. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 890 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=515227>

4. Теория систем и системный анализ : учебник и практикум для академического бакалавриата / М. Б. Алексеева, П. П. Ветренко. — М. : Издательство Юрайт, 2017. - 304 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/B791EB3D-7CD9-48A7-B7DD-BEB4670DB29E#page/1>

5. Экономико-математические методы и прикладные модели : учебник для бакалавриата и магистратуры / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 328 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/>

6. Волкова В.Н. Искусство формализации. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1999. – 200 с.

7. Волкова В.Н.. Основы теории систем и системного анализа: Учебник для студентов вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов.– Изд. 3-е. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003. – 520 с.

8. Денисов А.А. Иерархические системы / А.А.Денисов, В.Н. Волкова. – Л.: ЛПИ, 1989. – 88 с.

9. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа.М.: Наука, 1981.– 48 с.

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно- технических системах»

1. Содержание дисциплин (модулей)

Модуль включает 4 часа лекций и 8 часов практических занятий:

- лекции «Эффективность системы. Критерии и методы оценки эффективности системы», «Выявление и измерение предпочтений методами экспертного оценивания», «Методы обработки экспертных оценок», «Статистические методы обоснования решений. Критерии принятия решений»;

– практические занятия «Моделирование систем и процессов в среде Anylogic».

Содержание лекций и практических занятий.

Методологические основы оценивания эффективности сложной системы и обоснования решений. Эффективность системы. Критерии оценивания системы.

Методы оценивания эффективности системы. Выявление и измерение предпочтений методами экспертного оценивания. Способы выражения предпочтений. Оценивание предпочтений. Отношения предпочтения и их свойства. Функция эффективности. Методика выявления и измерения предпочтений.

Методы обработки экспертных оценок. Коэффициенты ранговой корреляции Кендалла и Спирмена. Обработка и анализ балльных и точечных оценок. Обработка и анализ попарных сравнений. Определение коэффициентов относительной важности.

Статистические методы обоснования решений. Матрица решений. Оценочная функция.

Классические критерии принятия решений. Минимаксный критерий. Критерий Байеса – Лапласа. Критерий Сэвиджа. Производные критерии принятия решений. Критерий Гурвица. Критерий Ходжа – Лемана. Критерий Гермейера.

Моделирование систем и процессов при помощи современных прикладных программ.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

№ п/п	Наименование тем дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Профессиональные компетенции
1	Модуль 1. Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах.	12	<p>1) Способность проводить оценивание эффективности функционирования организационно-технических систем на основе методов системного анализа.</p> <p>2) Способность проводить обоснование и принимать научно-обоснованные решения с использованием методов системного анализа, экспертного оценивания, осуществлять оценку их корректности и эффективности.</p> <p>3) Способность применять критерии принятия решений при исследовании организационно-технических систем.</p>

3. Структура дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля)/наименование тем дисциплины (модуля)	Всего час.	в том числе			Форма контроля
			лк.	пр.	см.	
1	<i>Модуль 1. Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах.</i>	12	4	8	-	текущий
1.1.	Эффективность системы. Критерии и методы оценки эффективности системы. Выявление и измерение предпочтений методами экспертного оценивания.	2	2	-	-	-
1.2.	Методы обработки экспертных оценок. Статистические методы обоснования решений. Критерии принятия решений.	2	2	-	-	-
1.3.	Моделирование систем и процессов в среде Anylogic.	8	-	8	-	-

4. Перечень занятий семинарского типа

№ темы	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
1.	Моделирование систем и процессов в среде Anylogic.	практическое занятие	8

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Методы распознавания сложных систем. Байесовская процедура - оптимальная процедура распознавания / В. М. Гупал. - М.: Компания Спутник+, 2005. - 78 с.
Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=358812>
2. Моделирование в среде Anylogic : учебное пособие для СПО / В. Д. Боев. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 298 с
Режим доступа: [https://www.biblio-online.ru/viewer/898C544A-17EC-4E91-ABCF-6FB0FBCFAA59#/#/](https://www.biblio-online.ru/viewer/898C544A-17EC-4E91-ABCF-6FB0FBCFAA59#/)
3. Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 450 с.
Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/E7D370B9-3C64-4A0F-AF1B-F6BD0EEEEBCD0#page/1>
4. Моделирование систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: Горная книга, 2006. — 295 с.
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3511/#1>
5. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 890 с.
Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=515227>
6. Теория систем и системный анализ : учебник и практикум для академического бакалавриата / М. Б. Алексеева, П. П. Ветренко. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 304 с.
Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/B791EB3D-7CD9-48A7-B7DD-VEB4670DB29E#page/1>
7. Экономико-математические методы и прикладные модели : учебник для бакалавриата и магистратуры / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 328 с.
Режим доступа: [https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/#/](https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/)
8. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А.Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
9. Афанасьева О.В., Колесниченко С.В. Философские проблемы науки и техники: учеб. пособие / О.В. Афанасьева, С.В. Колесниченко. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. – 106 с.
10. Голик Е.С. Математические методы системного анализа и теории принятия решений: учеб. пособие: Ч. 1. /Е.С. Голик [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗПИ, 2004. – 54 с.
11. Голик Е.С. Математические методы системного анализа и теории принятия решений: учеб. пособие: Ч. 2. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. – 100 с.
12. Голик Е.С. Теория и методы прогнозирования: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 148 с.
13. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций. – М: Высшая школа, 1996. – 335 с.
14. Завлин П.Н. Оценка экономической эффективности инновационных проектов (современные подходы) / П.Н. Завлин, А.В. Васильев, А.И. Кноль. – СПб.: Наука, 1995. – 422 с.
15. Игнатьева А.В. Исследование систем управления / А.В. Игнатьева, М.М. Максимцов. – М.: ЮНИТИ, 2006. – 156 с.
16. Кукушкин А.А. Теоретические основы автоматизированного управления: Ч. 1. Основы анализа и оценки сложных систем. – Орел: Изд-во ВИПС, 1998. – 258 с.

17. Лагоша Б.А. Основы системного анализа / Б.А. Лагоша, А.А. Емельянов. – М.: Изд-во МЭСИ, 1998. – 106 с.
18. Мухин В.И. Исследование систем управления / В.И. Мухин, А.Н. Малин. – М.: Экзамен, 2006. – 382 с.
19. Растригин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Радио и связь, 1980. – 228 с.
20. Рогожин С.В., Рогожина Т.В. Исследование систем управления: учебник / С.В. Рогожин, Т.В. Рогожина. – М.: Экзамен, 2005. – 286 с.
21. Романенко И.В. Экономика предприятия. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 264 с.
22. Управление в условиях неопределенности / Под ред. проф. А.Е. Гордецкого. – СПб.: СПбГТУ, 2002. – 398 с.
23. Управление исследованиями, разработками и инновационными проектами / Под ред. С.В. Валдайцева. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1995. – 207 с.
24. Фатхутдинов Р.А. Управленческие решения. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 312 с.
25. Филлюстин А.Е. Многокритериальный выбор вариантов. СПб.: МОРФ, 1994. – 44с.
26. Филлюстин А.Е. Структуры систем управления. – СПб.: МО РФ, 1995. – 120 с.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

«Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах»

1. Содержание дисциплин (модулей)

Модуль включает 8 часов лекций и 10 часов практических занятий:

- лекции «Методы и модели сетевого планирования и управления», «Вероятностные модели систем», «Модели массового обслуживания», «Модели управления запасами», «Игровые задачи системного исследования».

- практические занятия «Принятие решений с использованием моделей систем массового обслуживания, работа с программой для ЭВМ «Имитационная модель системы массового обслуживания переменным числом каналов и с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания», предназначенной для имитационного моделирования и определения эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок и общего времени работы системы (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет)», «Особенности применения моделей массового обслуживания», работа с программой для ЭВМ «Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов», предназначенной для имитационного моделирования и определения эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок и общего времени работы системы (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет)», «Прикладные задачи системного моделирования, работа с программой для ЭВМ «Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов», предназначенной для моделирования и анализа показателей эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок, общего времени работы системы и закона распределения времени обслуживания (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет)», «Методы проведения исследования с использованием GPSS».

Содержание лекций и практических занятий.

Математические методы и модели исследования сложных систем. Методы и модели сетевого планирования и управления. Формы представления сетевой модели. Параметры сетевой модели. Методы расчета временных характеристик. Матричный, табличный и графический методы. Сетевое моделирование в условиях неопределенности.

Сглаживание потребности в ресурсах. Граф Ганта. Транспортные сети. Оптимизация потоков в транспортных сетях.

Вероятностные модели систем. Марковская задача принятия решений. Вероятностная модель на основе ориентированного графа состояний системы. Уравнения Колмогорова для вероятностей состояния. Предельные переходы системы из состояния в состояние.

Системы массового обслуживания. Основные компоненты моделей массового обслуживания. Общая характеристика СМО. Роль пуассоновского и экспоненциального распределений в теории СМО. Математическая модель одноканальной однофазной СМО.

Показатели ее эффективности. Показатели эффективности. СМО с конечной очередью. СМО с отказами. Чистые СМО с ожиданием. Смешанная система массового обслуживания. Особенности применения.

Системы управления запасами. Постановка задачи управления запасами. Классификация СУЗ. Алгоритм решения задач. Системы управления запасами при детерминированном стационарном спросе.

Игровые задачи системного исследования. Задачи теории игр. Деревья решений. Постановка, формализация и решение игровой задачи. Элементы теории статистических решений.

Принятие решений с использованием моделей систем массового обслуживания и с применением современных прикладных программ. Исследование при помощи программ для ЭВМ: «Имитационная модель системы массового обслуживания переменным числом каналов и с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания», предназначенной для имитационного моделирования и определения эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок и общего времени работы системы (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет); «Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов», предназначенной для имитационного моделирования и определения эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок и общего времени работы системы (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет); «Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов», предназначенной для моделирования и анализа показателей эффективности многоканальной системы массового обслуживания с конечной очередью в зависимости от интенсивности потока заявок, общего времени работы системы и закона распределения времени обслуживания (Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет).

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

№ п/п	Наименование тем дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Профессиональные компетенции
1	Модуль 2. Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах.	18	1) Способность использовать модели сетевого планирования и управления, вероятностные модели, модели управления запасами при исследовании организационно-технических систем. 2) Способность разрабатывать и применять модели массового обслуживания для исследования процессов в организационно-технических системах. 3) Способность осуществлять моделирование организационно-технических систем в программной среде GPSS.

3. Структура дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля)/наименование тем дисциплины (модуля)	Всего час.	в том числе			Форма контроля
			лк.	пр.	см.	
1	<i>Модуль 2. Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах.</i>	18	8	10	-	текущий
1.1.	Методы и модели сетевого планирования и управления.	2	2	-	-	-
1.2.	Вероятностные модели систем.	2	2	-	-	-
1.3.	Модели массового обслуживания.	2	2	-	-	-
1.4.	Модели управления запасами.	2	2	-	-	-
1.5.	Методы проведения исследования с использованием GPSS.	4	-	4	-	-
1.6.	Принятие решений с использованием моделей систем массового обслуживания, работа с программой для ЭВМ № 2015610495 «Имитационная модель системы массового обслуживания переменным числом каналов и с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания», правообладатель Санкт-Петербургской горный университет.	2	-	2	-	-
1.7.	Особенности применения моделей массового обслуживания», работа с программой для ЭВМ № 2014662876 «Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов», правообладатель Санкт-Петербургской горный университет.	2	-	2	-	-
1.8.	Прикладные задачи системного моделирования, работа с программой для ЭВМ №2016617578 «Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов», Правообладатель Санкт- Петербургской горный университет.	2	-	2	-	-

4. Перечень занятий семинарского типа

№ темы	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
2.	Методы проведения исследования с использованием GPSS.	практическое занятие	4
3.	Принятие решений с использованием моделей систем массового обслуживания, работа с программой для ЭВМ № 2015610495 «Имитационная модель системы массового обслуживания переменным числом каналов и с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания», правообладатель Санкт-Петербургской горный университет.	практическое занятие	2
4.	Особенности применения моделей массового обслуживания», работа с программой для ЭВМ № 2014662876 «Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов», правообладатель Санкт-Петербургской горный университет.	практическое занятие	2
1.	Прикладные задачи системного моделирования, работа с программой для ЭВМ №2016617578 «Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов», Правообладатель Санкт-Петербургской горный университет.	практическое занятие	2

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для прикладного бакалавриата / В. Д. Боев. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 253 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/588F8066-F842-4C2C-9389-70DE883386EB#/>

2. Методы распознавания сложных систем. Байесовская процедура - оптимальная процедура распознавания / В. М. Гупал. - М.: Компания Спутник+, 2005. - 78 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=358812>

3. Моделирование в среде Anylogic : учебное пособие для СПО / В. Д. Боев. - М. : Издательство Юрайт, 2017. — 298 с

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/898C544A-17EC-4E91-ABCF-6FB0FBCFAA59#/>

4. Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 450 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/E7D370B9-3C64-4A0F-AF1B-F6BD0EEEEBCD0#page/1>

5. Моделирование систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2006. — 295 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3511/#1>

6. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 890 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=515227>

7. Теория систем и системный анализ : учебник и практикум для академического бакалавриата / М. Б. Алексеева, П. П. Ветренко. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 304 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/B791EB3D-7CD9-48A7-B7DD-BEB4670DB29E#page/1>

8. Экономико-математические методы и прикладные модели : учебник для бакалавриата и магистратуры / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 328 с.

Режим доступа: [https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/#/](https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/)

9. Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 246 с.

10. Высшая математика для экономистов: учебник для вузов / Под ред. Н.Ш. Кремера. — 2-е изд. — М.: ЮНИТИ, 2006. — 471 с.

11. Голик Е.С. Математические методы системного анализа и теории принятия решений: учеб. пособие: Ч. 1. /Е.С. Голик [и др.]. — СПб.: Изд-во СЗПИ, 2004. — 54 с.

12. Голик Е.С. Математические методы системного анализа и теории принятия решений: учеб. пособие: Ч. 2. — СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. — 100 с.

13. Замков О.О. Математические методы в экономике: учебник / О.О. Замков, А.В. Толстопятенко, Ю.Н. Черемных. — 2-е изд. — М.: МГУ им. М. В. Ломоносова: Дело и Сервис, 1999. — 108 с.

14. Логистика: учебник / Под ред. Б.А. Аникина. — Изд. 2-е, перераб. и доп.— М.: ИНФА — М., 2006. — 137 с.

15. Макарова Н.В. Статистика в Excel: учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец.— М.: Финансы и статистика, 2006. — 368 с.

16. Малыхин В.И. Математика в экономике: учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 356 с.

17. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. — М.: МИР, 1990. — 368 с.

18. Надежность и эффективность в технике: справочник: Т.3. Эффективность технических систем / Под. общ. ред. В.Ф. Уткина. — М.: Машиностроение, 1988. — 328 с.

19. Салманов О.Н. Математическая экономика с применением Mathcad и Excel. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 112 с.

20. Фомин Г.П. Математические методы и модели коммерческой деятельности: учебник. — М.: Финансы и статистика, 2007. — 209 с.

21. Экономико-математические методы и прикладные модели: учеб. пособие для вузов / Под ред. В. В. Федосеева. — М.: ЮНИТИ, 2006. — 56 с.

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016617578. Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов / Т.В. Угарова, Д.А.Первухин, О.В. Афанасьева, С.В. Колесниченко, М.А. Вилинская, Е.В. Тронина.- Дата регистрации 07.07.2016.

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610495. Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов и экспоненциальным законом распределения времени обслуживания / Д.А.Первухин, О.В. Афанасьева, М.П.Афанасьев, И.А. Клавдиев, М.А.Сикстус. - Регистрация 13.01.2015.

24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662876. Имитационная модель системы массового обслуживания с переменным числом каналов/ Д.А.Первухин, О.В. Афанасьева, М.П.Афанасьев, И.И. Гурова. - Регистрация 10.12.2014.

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно -корреляционного анализа»

1. Содержание дисциплин (модулей)

Модуль включает 6 часов лекций и 10 часов практических занятий:

- лекции «Общая характеристика методов прогнозирования», «Прогнозная экстраполяция методом наименьших квадратов», «Применение линеаризующих преобразований», «Прогнозирование процессов с периодическими колебаниями», «Метод многомерной линейной экстраполяции», «Метод экспоненциального сглаживания», «Верификация прогнозов».

– практические занятия «Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Статистические методы анализа по одной и множеству переменных, процедуры подбора распределений», «Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Методы сравнения выборок данных. Одно- и многофакторный дисперсионный анализ», «Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Простой, полиномиальный и множественный регрессионный анализ».

Содержание лекций и практических занятий.

Общая характеристика методов прогнозирования. Прогнозная экстраполяция методом наименьших квадратов. Точность и достоверность прогноза. Применение линеаризующих преобразований. Парные регрессии, сводящиеся к линейному тренду. Парные регрессии, сводящиеся к модифицированной экспоненте. Выбор оптимального вида прогнозной модели. Проверка прогнозной модели на автокорреляцию ошибок.

Прогнозирование процессов с периодическими колебаниями. Выравнивание рядом Фурье. Измерение колеблемости в рядах динамики. Выявление и измерение сезонных колебаний. Расчет индексов сезонности за ряд лет. Прогнозирование с учетом индекса сезонности. Метод многомерной линейной экстраполяции. Метод экспоненциального сглаживания. Верификация прогнозов. Обоснование периода упреждения.

Математическое моделирование процессов развития техники. Прогнозная математическая модель динамики замещения. Морфологический анализ. Прогнозирование технического облика перспективного образца. Другие методы экспертного прогнозирования.

Методы проведения исследования с использованием параметров организационно-технических систем с применением современных прикладных программ.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

№ п/п	Наименование тем дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Профессиональные компетенции
3	Модуль 3. Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно -корреляционного анализа.	16	1) Способность применять фактографические методы экстраполяции тенденций при решении задач прогнозирования развития организационно-технических систем. 2) Способность осуществлять верификацию прогнозов с использованием информационно-статистических методов. 3) Способность использовать программную среду Statgraphics для решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем.

3. Структура дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля)/наименование тем дисциплины (модуля)	Всего час	в том числе			Форма контроля
			лк.	пр.	см.	
1	<i>Модуль 3. Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно-корреляционного анализа.</i>	16	6	10	–	текущий
1.1.	Общая характеристика методов прогнозирования. Прогнозная экстраполяция методом наименьших квадратов. Применение линейаризующих преобразований.	2	2	–	–	–
1.2.	Прогнозирование процессов с периодическими колебаниями. Метод многомерной линейной экстраполяции.	2	2	–	–	–
1.3.	Метод экспоненциального сглаживания. Верификация прогнозов.	2	2	–	–	–
1.4.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Статистические методы анализа по одной и множеству переменных, процедуры подбора распределений.	2	–	2	–	–
1.5.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Методы сравнения выборок данных. Одно- и многофакторный дисперсионный анализ.	4	–	4	–	–
1.6.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Простой, полиномиальный и множественный регрессионный анализ.	4	–	4	–	–

4. Перечень занятий семинарского типа

№ темы	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
5.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Статистические методы анализа по одной и множеству переменных, процедуры подбора распределений.	практическое занятие	2
6.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Методы сравнения выборок данных. Одно- и многофакторный дисперсионный анализ.	практическое занятие	4
7.	Методы проведения исследования с использованием Statgraphics. Простой, полиномиальный и множественный регрессионный анализ.	практическое занятие	4

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 450 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/E7D370B9-3C64-4A0F-AF1B-F6BD0EEEEBCD0#page/1>

2. Моделирование систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2006. — 295 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3511/#1>

3. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 890 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=515227>

4. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавриата и магистратуры / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 328 с.

Режим доступа: [https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/#/](https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/)

5. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. – М., 2003. – 283 с.

6. Владимирова Л.П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: учеб. пособие. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Дашков и К°, 2005. – 398 с.

7. Вучков И., Бояджиева Л., Салаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ / И. Вучков, Л. Бояджиева, Е. Салаков. – М., 1987. – 456 с.

8. Голик Е.С. Теория и методы статистического прогнозирования: учеб. пособие / Е.С. Голик, О.В. Афанасьева. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 182 с.

9. Гусаров В.М. Статистика: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 463 с.

10. Макарова Н.В. Статистика в Excel: учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

11. Общая теория статистики: учебник /Под ред. И.И. Елисейвой. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.

12. Филюстин А.Е. Статистические методы отбраковки аномальных результатов / А.Е. Филюстин, К.А. Злотников. – СПб., 1993. – 348 с.

13. Эконометрика / И.И. Елисеева [и др.]. – М., 2010. – 254 с.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

«Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем»

1. Содержание дисциплин (модулей)

Модуль включает 4 часа лекций и 10 часов практических занятий:

- лекции «Основные принципы, подходы и процедуры системного моделирования», «Численные методы системного моделирования», «Оценка качества моделей. Планирование вычислительного эксперимента», «Статистический анализ результатов моделирования. Принятие решений по результатам моделирования».

– практические занятия «Методы проведения исследования с Statgraphics. Кластерный анализ», «Методы проведения исследования с применением MatLab Simulink».

Содержание лекций и практических занятий.

Понятия системного подхода и большой системы. Эффективность больших систем. Управление в больших системах. Структура систем управления. Основные понятия системного моделирования. Принципы построения математических моделей. Требования, предъявляемые к математическим моделям.

Численные методы системного моделирования Моделирование больших систем методом статистических испытаний. Сущность метода статистических испытаний. Точность метода. Моделирование системы массового обслуживания. Получение результатов наблюдений при моделировании. Метод повторения. Метод подынтервалов. Прикладные задачи имитационного моделирования. Ориентированный процесс случайного блуждания как метод прогнозирования. Модифицированный имитационным моделированием метод экспоненциального сглаживания.

Оценка качества моделей. Планирование вычислительного эксперимента. Планирование имитационных экспериментов. Общая схема испытаний. Полные факторные планы испытаний. робные факторные планы испытаний. Планирование испытаний. Анализ результатов испытаний. Оптимальные планы.

Принятие решений по результатам моделирования. Методы принятия решений по результатам испытаний. Общая процедура принятия решений. Проверка гипотез о параметрах.

Информационно-статистический анализ сложных систем с применением современных прикладных программ.

2. Структура дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля)/наименование тем дисциплины (модуля)	Всего час	в том числе			Форма контроля
			лк.	пр.	см.	
1	<i>Модуль 4. Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем.</i>	14	4	10	–	текущий
1.1.	Основные принципы, подходы и процедуры системного моделирования. Численные методы системного моделирования.	2	2	–	–	–
1.2.	Оценка качества моделей. Планирование вычислительного эксперимента.	2	2	–	–	–
1.3.	Статистический анализ результатов моделирования. Принятие решений по результатам моделирования.					
1.4.	Методы проведения исследования с Statgraphics. Кластерный анализ.	4	–	4	–	–
1.5.	Методы проведения исследования с применением MatLab Simulink.	6	–	6	–	–

3. Матрица формирования профессиональных компетенций

№ п/п	Наименование тем дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Профессиональные компетенции
1	Модуль 4. Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем.	14	1) Способность использовать методы имитационного моделирования для оценки функционирования организационно-технических систем. 2) Способность проводить планирование вычислительного эксперимента и осуществлять статистический анализ его результатов. 3) Способность осуществлять имитационное моделирование функционирования организационно-технических систем в программной среде MatLab Simulink.

4. Перечень занятий семинарского типа

№ темы	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
8.	Методы проведения исследования с Statgraphics. Кластерный анализ.	практическое занятие	6
9.	Методы проведения исследования с применением MatLab Simulink.	практическое занятие	4

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для прикладного бакалавриата / В. Д. Боев. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 253 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/588F8066-F842-4C2C-9389-70DE883386EB#/>

2. Методы распознавания сложных систем. Байесовская процедура - оптимальная процедура распознавания / В. М. Гупал. - М.: Компания Спутник+, 2005. - 78 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=358812>

3. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 450 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/E7D370B9-3C64-4A0F-AF1B-F6BD0EEEEBCD0#page/1>

4. Моделирование систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2006. — 295 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3511/#1>

5. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 890 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=515227>

6. Теория систем и системный анализ: учебник и практикум для академического бакалавриата / М. Б. Алексеева, П. П. Ветренко. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 304 с.

Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/B791EB3D-7CD9-48A7-B7DD-VEB4670DB29E#page/1>

7. Экономико-математические методы и прикладные модели учебник для бакалавриата и магистратуры / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 328 с.

Режим доступа: [https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/#/](https://www.biblio-online.ru/viewer/62CA472C-1C3E-48F7-B963-6762D5A89A50#/)

8. Голик Е.С. Системное моделирование. Ч.1. Имитационное моделирование. Факторный эксперимент: учеб.-метод. комплекс: учеб. пособие /Е.С.Голик, О.В.Афанасьева. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 211 с.

9. Голик Е.С. Теория и методы статистического прогнозирования: учеб. пособие /Е.С. Голик, О.В. Афанасьева. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 182 с.

10. Ильичев А.В. Эффективность проектируемой техники: основы анализа. – М.: Машиностроение, 1991. – 335 с.

11. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 390 с.

12. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 368 с.

13. Мартыщенко Л.А. Системное моделирование: учеб. пособие /Л.А. Мартыщенко, Е.С. Голик, О.В. Афанасьева. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 102 с.

14. Общая теория статистики: учебник /Под ред. И.И. Елисейвой. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 656 с.

15. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование: теория и технологии – СПб.: КОРОНА Принт; М.: Альтекс-А, 2014. – 380 с.

16. Филюстин А.Е. Статистические методы отбраковки аномальных результатов / А.Е. Филюстин / К.А. Злотников. – СПб, 1993. – 348 с.

17. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. - Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1997. – 200 с.

Приложение 2
к образовательной программе –
«Международная специальная краткосрочная
Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО
«Методы и модели поддержки принятия управленческих решений в
организационно-технических системах»

**Учебно-методические материалы (в том числе конспекты лекций)
Учебно-методические материалы (в том числе конспекты лекций)**

Дисциплина (модуль)

**«Введение. Применение методов системного анализа для исследования
организационно-технических систем и процессов»**

Системный подход означает стремление изучить явление или объект с учетом его внутренних связей и внешних факторов, определяющих функционирование объекта, то есть стремление изучить его во всей диалектической сложности, вскрыв все внутренние противоречия. Такой подход позволяет исследовать разные по своей природе и сложности объекты с единой системной точки зрения, дает основу для представления внутренних и внешних факторов в виде единого интегрированного целого и выделения наиболее существенных факторов.

Системный анализ – это методология исследования любых объектов посредством представления их в виде систем.

Особенно велико значение системного подхода и системного анализа при разработке и эксплуатации больших человеко-машинных систем. Системный подход и системный анализ основаны на ряде фундаментальных понятий и положений, среди которых основными являются понятия системы, среды, структуры, иерархии, управления, потоков информации.

Первичным понятием является понятие *системы*. В общем случае под системой понимается множество элементов вместе со связями между ними и их свойствами, объединенных общностью цели. Таким образом, система функционирует как единое целое, и каждый элемент системы действует в интересах единой цели, стоящей перед системой в целом.

Рассмотрим термины, входящие в определение системы. Элементы – это части системы, отражающие в каждом конкретном случае последний этап ее деления.

Связи объединяют элементы системы в единое целое. По существу, только наличие многих видов связи (причинных, логических, случайных и т.д.) делает понятие системы полезным. Связи, подлежащие рассмотрению в данном множестве элементов, зависят от стоящей перед системой задачи: важные связи включаются в рассмотрение, несущественные исключаются.

Свойства элементов дают возможность описывать элементы количественно, выражая их в единицах, имеющих определенную размерность, либо качественно, если они не поддаются измерению.

В зависимости от природы элементов различают системы физические и абстрактные. Физическими называют системы, состоящие из естественных или искусственных элементов. В абстрактных системах элементы представлены символами. Для изучения физической системы ее описывают с помощью математических зависимостей, выражающих соотношения между элементами такой системы. Система математических зависимостей представляет собой абстрактную систему. Абстрактные системы могут также описывать соотношения между понятиями, не имеющими физического содержания.

Системы существуют в окружающей их среде. Для данной системы *среда* есть множество всех элементов вне системы, изменение свойств которых влияет на систему, и сами свойства которых изменяются вследствие поведения системы. Важно отметить, что физические системы не просто существуют в окружении среды – они существуют благодаря окружению среды.

Какую совокупность элементов принять за систему и какую отнести к среде в конечном счете определяется характером решаемой задачи, целями исследования. Например, производственное объединение можно рассматривать как систему, тогда производственные и административные организации, с которыми объединение связано, будут для него представлять среду. Чтобы указать среду полностью, необходимо знать все факторы, воздействующие на систему или испытывающие воздействие с ее стороны. В систему и среду включают элементы и связи, являющиеся наиболее важными с точки зрения решаемой задачи, пренебрегая теми, которые не играют существенной роли.

Из определения системы, ее элементов и среды следует, что всякая система допускает дальнейшее разбиение на подсистемы. Элементы, принадлежащие одной подсистеме, можно рассматривать как элементы среды другой подсистемы. Переход к подсистеме, естественно, ведет к возникновению новых связей. Заметим здесь, что разбиение системы на подсистемы выражает свойства иерархической упорядоченности систем. Можно сказать, что подсистемы – это системы низшего порядка по отношению к системе, в которую они входят.

В результате поступательного развития возникли качественно новые сложные производственно-экономические, технические, научные, военные и прочие комплексы. Понятие «большая система» введено как выражение системного подхода к постановке и решению задач управления такими сложными комплексами. Отдельные отрасли и звенья экономики, промышленные предприятия и технические объекты, программы разработки и осуществления крупных проектов, виды техники, системы снабжения мегаполисов и т.д., короче говоря, бесчисленное многообразие комплексов можно рассматривать как большие системы.

В настоящее время еще не сложилось общепринятое формальное и строгое определение большой системы. В ряде работ сформулированы характерные отличительные признаки больших систем, которые позволяют на научно-техническом уровне воспринимать понятие большой системы достаточно однообразно. Наиболее важными отличительными признаками являются:

- целенаправленность и управляемость системы, то есть наличие у всей системы общей цели и общего назначения, задаваемых и корректируемых в системах более высокого уровня или в самой системе;

- многоплановый характер задач, в решении которых участвуют большие коллективы специалистов разных областей.

Чтобы обеспечить целенаправленные действия этих коллективов, организуется процесс управления системой;

- сложная иерархическая структура организации системы, то есть определенная соподчиненность подсистем различных уровней, предусматривающая сочетание централизованного управления с автономностью отдельных частей;

- наличие функциональных подсистем. Формально любая совокупность элементов данной системы вместе со связями между этими элементами может рассматриваться как ее подсистема. Однако выделение подсистемы целесообразно в тех случаях, когда она представляет собой более или менее самостоятельно функционирующую часть системы с определенной целью функционирования, причем можно оценивать эффективность ее функционирования;

- наличие сложных информационных связей внутри системы (между подсистемами и внутри каждой подсистемы), материальных и энергетических связей, а также связей с другими системами (внешней средой);

- свойства адаптации и самоорганизации, способность выбора наиболее

целесообразного поведения в условиях случайных и конфликтных ситуаций и воздействия внешних и внутренних возмущающих факторов;

- многомерность. Огромный объем перерабатываемой информации формально описывается математическими зависимостями, содержащими большое число переменных;
- высокая степень автоматизации, широкое применение вычислительной техники, резко расширившей возможности реализации сложных систем управления.

Таким образом, большие системы выступают, как правило, в виде целостных человеко-машинных систем с централизованным управлением, целенаправленно функционирующих и совершенствующихся в условиях возмущающих внешних и внутренних воздействий и конфликтных ситуаций.

В современных условиях большие системы могут эффективно функционировать только при использовании автоматизированных систем управления.

В структуре большой системы, как и всякой управляемой системы, выделяют две основные подсистемы: управляемую подсистему (объект управления) и управляющую подсистему (орган управления). Обе подсистемы тесно связаны между собой каналами прямой и обратной связи.

Управляемая подсистема является, по существу, исполнительной частью всей системы, принимающей на свои входы-выходы управляющей подсистемы и воздействия среды. Именно она реализует цели, поставленные перед всей системой. Таким образом, основное назначение управляемой подсистемы – реализация целей, введенных в систему извне, либо сформированных внутри нее.

Управляющая подсистема предназначена для выбора целей и для формирования процесса, задающего желаемое (с точки зрения выбранных целей) поведение управляемой подсистеме. Входами, влияющими на процессы в управляющей системе, являются выходы управляемой подсистемы и воздействие окружающей среды.

Необходимо отметить, что вследствие иерархичности структуры каждая из рассмотренных подсистем может в свою очередь состоять из двух подсистем – управляемой и управляющей более низкого уровня.

Главная особенность системного подхода заключается в том, чтобы учесть:

- сложность управляемой системы, наличие выделяемых частей, связанных друг с другом сложными взаимодействиями;
- неопределенность поведения этих частей, являющуюся результатом участия людей в функционировании системы или действия случайных возмущений, которые не могут быть идеально скомпенсированы управляющими воздействиями;
- связи рассматриваемой системы с другими системами (с окружающей средой).

Классификация больших систем может производиться на различной основе и по различным признакам. Однако вследствие сложности и многообразия больших систем разделение их на классы не является строгим и подчеркивает лишь различия в основных признаках, положенных в основу классификации.

В зависимости от характера управляемых объектов различают управление техническими системами (например, технологическими линиями) и управление организационными системами.

Под организационными понимают системы, включающие наряду с техникой и материальными средствами большие человеческие коллективы.

К организационным относятся административные системы, социально-экономические, производственные и др. Несмотря на сходство процессов управления техническими и организационными системами, заключающееся в общности основных принципов управления, имеется и существенное различие.

При управлении техническими системами известны условия протекания процессов в системе и предусмотрены способы нормализации поведения системы в зависимости от возмущений. Поэтому процесс управления может быть, алгоритмизирован и, следовательно, автоматизирован до конца.

При управлении организационными системами может отсутствовать часть необходимой информации и возникает сложная теоретическая и практическая проблема – принятие решения в условиях неполноты информации, или, как говорят, в условиях неопределенности; не исключена противоречивость целей всей системы и локальных целей ее подсистем и элементов; возможны различные варианты достижения цели, причем выбор наиболее предпочтительного варианта нельзя обосновать математическими, формализованными методами. Вследствие этого процесс управления организационными системами не может быть формализован, алгоритмизирован и автоматизирован до высших уровней иерархии, на которых происходит выработка и принятие решения.

Можно указать следующие основные причины, обуславливающие неполноту информации:

- 1) исходная статистическая информация недостаточно полна и достоверна;
- 2) существует большая группа явлений и факторов, информация о которых может быть оценена лишь с помощью вероятностных показателей;
- 3) часть информации имеет качественный характер и либо не поддается количественным измерениям, либо может быть выражена количественно сугубо приближенно;
- 4) могут возникнуть ситуации, когда информация в принципе может быть достаточно точно определена и измерена, но в момент выработки и принятия решения ее просто нет.

Далее рассматриваем вопросы управления организационными системами.

В общем случае процесс управления состоит из выполнения следующих основных функций:

- постановка задачи;
- выработка и принятие решения;
- планирование действий;
- организация действий;
- контроль выполнения принятого решения.

К выполнению функций обычно приступают в приведенной последовательности, в дальнейшем отдельные этапы процесса управления, соответствующие перечисленным функциям, необязательно могут совпадать во времени и необязательно заканчиваться в том же порядке.

Постановка задачи. Для отыскания решения любой задачи необходимо сначала ее поставить и сформулировать, причем сделать это нужно так, чтобы принятие решения основывалось на научных методах.

Для того же, чтобы правильно поставить и сформулировать задачу, необходимо знать, в чем она заключается.

Понятие задачи имеет очень широкий диапазон применения.

Термин «задача» широко используется как синоним термина «проблема», и в этом случае под постановкой задачи в системотехнике понимают формулировку проблемы.

Постановка задачи заключается в том, чтобы определить:

- цели (результаты), которые должны быть достигнуты, и их относительную значимость;
- условия среды, в которой функционирует система или, другими словами, какие имеются факторы, которые должны быть учтены, но на которые влиять нельзя (неуправляемые параметры);
- возможные способы действия и факторы, на которые можно влиять (управляемые параметры);
- критерий выбора наиболее предпочтительного способа действия (критерий оптимальности).

Постановку задачи можно разделить на две части: уяснение задачи и выбор целей.

Уяснение задачи есть выделение и связывание друг с другом факторов, характеризующих систему и окружающую ее среду. Уяснение задачи можно определить

как сбор, анализ и обобщение данных, описывающих условия функционирования системы, требования вышестоящей инстанции, экономические соображения, возможные случайные воздействия и т.д.

Уяснение задач – процесс не менее творческий, чем их решение и умение схватить суть задачи, отделить главное от второстепенного, существенное от несущественного, представляет характерную черту творческих личностей.

Выбор целей есть логическое завершение уяснения задачи. Выбранные цели направляют поиски альтернативных решений и дают критерии для выбора оптимального решения.

Выбор целей имеет два аспекта. Один аспект связан с определением и оценкой целей, которые должны быть достигнуты. Такое определение сопряжено с оценочными суждениями, и это объясняет второй аспект функции выбора целей. Дело в том, что оценочные суждения, описывающие качество целей, предполагают существование системы разнородных ценностей, разнородных показателей. Возникает трудная и важная проблема установления иерархии ценностей, шкалы приоритетов. Как соизмерить, например, качество и стоимость, сложность и надежность? Это – труднейшая проблема измерения и сравнения многих разнородных переменных.

Рассмотрим пример. Пусть разрабатывается технический комплекс. Эффективность комплекса определяется набором технических, экономических и эксплуатационных свойств. Эти свойства в свою очередь можно выразить рядом показателей: стоимость разработки, изготовления и эксплуатации, использование недефицитных материалов, возможность модернизации, надежность, помехозащищенность, точность, дальность действия и т. д.

Очевидно, что многие показатели взаимно противоречивы в том смысле, что улучшение одного показателя вызывает ухудшение других. Точно сформулировать, каким комплекс должен быть, выбрать показатели, установить их значимость, определить доминирующие, согласовать выбранные показатели между собой и с реальными возможностями и найти разумный компромисс – в этом по существу и заключается выбор целей. Отсюда видно значение этой части постановки задачи: неправильно выбрать цель – значит неправильно решить задачу.

Отправным пунктом при выборе целей является выбранный критерий эффективности. Именно критерий дает исходные посылки для оценки неопределенности, установления значимости отдельных показателей, их согласования между собой, поиска наиболее целесообразного решения и вообще постановки задачи оптимизации. Рассмотренный пример показывает, какой высокий уровень знаний, творческих способностей и опыт требуется от руководителя при выборе критерия.

Выработка и принятие решения. При постановке задачи формулируется, в чем состоит задача и чему она служит, какие цели должны быть достигнуты в результате ее решения. На этапе выработки и принятия решения определяется, как решить задачу наилучшим, оптимальным образом.

Выработка и принятие решения заключается в описании возможных решений, прогнозе и оценке результатов каждого из решений, в сравнении этих результатов с поставленными целями и выборе наиболее предпочтительного решения. Предпочтительность определяется с помощью некоторого критерия. В соответствии с этим выработка и принятие решения включают три последовательные операции, соответствующие общему ходу решения задач в любой области:

- синтез альтернативных решений;
- анализ сформулированных альтернативных решений;
- выбор и принятие оптимального решения.

Общая цель синтеза – составить обширный (в идеальном случае исчерпывающий) перечень решений, способных осуществить цели, поставленные при постановке задачи. Каждая альтернатива должна разрабатываться достаточно подробно, чтобы ее можно было оценить также с точки зрения реальных возможностей ее реализации.

Методы синтеза колеблются от чисто логических, математически формализуемых до чисто психологических, творческих, неформализуемых. Существует много задач, которые можно полностью формализовать и решить с помощью ПЭВМ. Такие задачи решаются методами исследования операций, а синтез возможных решений сводится к построению математической модели и производится, как правило, путем выбора известной математической модели, пригодной для данной задачи, или построением новой модели.

При управлении большими техническими, специально-техническими, экономическими и организационными системами возникают проблемы, особенно на верхних уровнях иерархии управления, которые нельзя описать формализованным математическим языком. В этих случаях синтезировать альтернативные решения позволяют только неформализуемые методы мышления – опыт, творческие способности, интуиция.

В общем случае синтез альтернативных решений основывается на объединении формализуемых (математических) и неформализуемых методов.

Анализ альтернативных решений состоит в выведении всех существенных следствий, вытекающих из решений. Эти следствия сравниваются с целями, которые нужно достичь.

Нельзя принять не только оптимальное, но просто разумное решение, не учитывая элемента неопределенности или недостоверности в некоторых следствиях. Эти неопределенности во многих случаях учитываются с помощью вероятностных суждений об исходах. Вероятности для таких суждений иногда получают объективно – путем сбора и обработки опытных данных, иногда же субъективно – путем интуитивной оценки. Субъективно полученная вероятность есть просто степень уверенности.

Принятие решения является кульминационной точкой всего процесса управления. От принятого решения в конечном итоге зависит эффективность всей системы, будет ли достигнута поставленная цель и какой ценой.

Принятие решения заключается в выборе наиболее предпочтительной альтернативы. Предпочтительность определяется, как уже говорилось, с помощью установленного критерия.

Когда все следствия всех альтернативных решений достоверны, независимы и измеримы по одной шкале ценностей и значения критерия оптимальности выражаются в единицах той же шкалы, процедура принятия решения проста: сопоставляются следствия всех решений и выбирают то, которому отвечает экстремальное значение критерия.

Когда следствия недостоверны, взаимозависимы и требуют нескольких различных шкал ценностей (возможно также, что некоторые следствия носят субъективный характер и трудно измеримы или вообще неизмеримы), ситуация становится неопределенной и слишком сложной, чтобы можно было указать общую процедуру принятия решения, существуют лишь отдельные приемы для отдельных классов задач. Акт принятия решения в таких случаях состоит просто в прямом суждении, опирающемся на опыт, интуицию, творческие способности и количественные рекомендации, полученные с помощью методов исследования операций.

Основными причинами, затрудняющими постановку задачи, выработку и принятие решения, являются:

- неполнота исходной информации;
- наличие факторов, которые не поддаются контролю;
- невозможность точного предсказания последствий синтезируемых и принимаемых решений;
- неповторяемость и невозможность экспериментальной проверки результатов принимаемых решений.

Из всего изложенного видно, что процесс постановки задачи и выработки принятия решений имеет несколько четко различимых элементов:

- 1) перечень целей;
- 2) перечень альтернативных решений;

- 3) методы для предсказания следствий решений и определения вероятности (если они существуют) наступления этих следствий;
- 4) систему ценностей для определения значимости следствий;
- 5) критерий решения, указывающий, как по перечисленным элементам определить наилучшую альтернативу.

Планирование. По определению план есть намеченный образ действия, следовательно, планирование означает установление того, что надо делать для выполнения принятого решения, для достижения поставленной цели.

Перечислим некоторые из важнейших свойств планирования:

- планирование обеспечивает организованные и целенаправленные действия системы;
- планирование предусматривает трудности и предупреждает задержки в функционировании элементов системы и системы в целом;
- планирование дает логическую основу для координации и контроля действий отдельных подсистем и элементов системы.

В зависимости от характера решаемых задач – стратегические или тактические – различают два вида планирования: стратегическое, или перспективное, и тактическое, или текущее.

Стратегические задачи можно характеризовать тремя особенностями: большим временным диапазоном, большими масштабами и необходимостью определять конечные и промежуточные цели и подцели (в тактических задачах они, как правило, известны или задаются извне).

Примером стратегической задачи является разработка новых комплексов или образцов вооружения.

Стратегические задачи связаны с перспективным (долговременным) планированием.

Основными источниками неопределенности при стратегическом планировании, связанном с задачами научно-технического прогресса вообще и прогресса в развитии исследуемой системы в частности, являются:

- стратегическая неопределенность, возникающая вследствие невозможности предсказания всех факторов, которые могут оказать в будущем влияние на развитие науки и техники;
- техническая неопределенность, возникающая из-за невозможности точной оценки характеристик техники будущего, сроков и затрат на ее создание;
- статистическая неопределенность, являющаяся следствием вероятностной природы многих процессов.

Стратегическую задачу можно расчленить на множество взаимосвязанных тактических задач. Соответственно, стратегический план можно разбить на тактические планы. Тактическое планирование ориентировано на достижение промежуточных целей (подцелей), при этом средства, ресурсы, последовательность, сроки и способы решения задачи определяются детально, и чем ниже уровень тактической задачи в иерархии системы, тем более детально она планируется.

По признаку регулярности действия планы делят на разовые и постоянные. Разовые определяют образ действий для некоторой частной ситуации и исчерпываются, когда цели достигнуты. К разовым можно отнести планы отдельных операций, разработки новых образцов техники и др. Постоянные планы, будучи однажды разработаны, применяются повторно с небольшими изменениями или вовсе без них. К постоянным можно отнести планы, связанные с оперативными расчетами МЧС, планы проведения полигонных испытаний образцов вооружения и техники по определенным показателям (нормалам). Разумеется, существует множество таких планов, среди которых разовые и постоянные представляют лишь крайние случаи.

Организация. Организация заключается в объединении материальных и людских ресурсов во взаимосвязанную систему, в распределении функций, прав и обязанностей

между частями системы таким образом, чтобы обеспечить эффективное управление и достижение поставленных целей.

За время, необходимое для реализации решения, состояние системы и внешней среды может существенно измениться. Эти изменения могут быть такого рода, что повлияют на характер задачи, следовательно, и на эффективность ее решения. К ним относятся:

- изменение полезности получаемых результатов, влияющее на выбор критерия;
- изменение набора управляемых переменных. Так, например, в системе обеспечения мегаполисом могут выйти из строя отдельные пункты отправления, назначения, коммуникации;
- изменение ограничений, наложенных на управляемые переменные. Например, могут изменяться сроки доставки продукции, готовности, транспорт;
- изменение состава неуправляемых переменных (появление новых факторов внешней среды);
- изменение различных параметров системы;
- изменения в структуре системы.

Вследствие таких изменений методы и планы реализации, разработанные даже самым тщательным и оптимальным образом, неизбежно теряют свою эффективность. Поэтому должны быть предусмотрены специальные предупредительные и корректировочные меры. Нет необходимости подчеркивать, насколько это важно в экстремальных ситуациях, когда ситуация меняется очень быстро, а времени для принятия корректировочных мер очень мало.

Контроль выполнения принятого решения обеспечивает функционирование системы в соответствии с принятым решением и намеченным планом. Контроль заключается в периодическом или непрерывном сравнении фактически полученных результатов с запланированными и в последующей корректировке действий.

Дисциплина (модуль 1)

«Методы и критерии обоснования и принятия решений в организационно-технических системах»

Эффективность системы.

Критерии и методы оценки эффективности системы

Эффективность системы – это в общем случае совокупность свойств, характеризующих качество функционирования системы, оцениваемое как соответствие требуемого и достигаемого результата.

Требуемый и реально достигаемый системой результаты могут различаться. Это зависит от условий функционирования системы и способов достижения требуемых результатов. Поэтому при оценке систем принято различать качество систем и эффективность реализуемых системами процессов. При этом эффективность относят не к самой системе, а к выполняемым ею функциям.

Для оценки эффективности системы разрабатывают совокупности критериев оценки.

В зависимости от типа системы и внешних воздействий предлагают детерминированные, вероятностные, качественные критерии; вводят понятия технической (с точки зрения технических характеристик), экономической, социально-экономической эффективности.

Критерии достаточно многообразны, разрабатывались для конкретных систем и проблемных ситуаций. В то же время существует ряд общих принципиальных положений, которыми целесообразно руководствоваться при формировании системы критериев эффективности решений. Поэтому разрабатывается теория эффективности систем.

Теория эффективности сложных систем формируется как раздел системного анализа, связанный с определением качества систем и процессов, их реализующих, предметом

изучения которого являются вопросы количественной оценки качества характеристик и эффективности функционирования сложных систем.

В общем случае оценка сложных систем может проводиться для разных целей.

Во-первых, для *оптимизации* – выбора наилучшего алгоритма из нескольких, реализующих один закон функционирования системы.

Во-вторых, для *идентификации* – определения системы, качество которой наиболее соответствует реальному объекту в заданных условиях.

В-третьих, для *принятия решений по управлению системой*.

Перечень частных целей и задач, требующих оценки систем, можно продолжить.

Общим во всех подобных задачах является подход, основанный на том, что понятия «оценка» и «оценивание» рассматриваются отдельно и оценивание проводится в несколько этапов.

Под «оценкой» понимают результат, получаемый в ходе процесса, который определен как «оценивание».

Принято считать, что с термином «оценка» сопоставляется понятие «истинность», а «оценивание» – «правильность». Другими словами, истинная оценка может быть получена только при правильном процессе оценивания. Это положение определяет место теории эффективности в задачах системного анализа.

Основные этапы оценивания эффективности сложных систем можно выделить следующим образом:

Этап 1. Определение цели оценивания.

Можно выделить два типа целей: *качественная* – цель, достижение которой выражается в номинальной шкале или в шкале порядка; *количественная* – цель, достижение которой выражается в количественных шкалах.

Определение цели должно осуществляться с позиции системы, в которой рассматриваемая система является элементом (подсистемой), т.е. с позиций надсистемы.

Этап 2. Измерение свойств систем, признанных существенными для целей оценивания.

Для этого выбираются соответствующие шкалы измерений свойств и всем исследуемым свойствам систем присваивается определенное значение на этих шкалах.

Этап 3. Обоснование предпочтений – критериев качества и критериев эффективности функционирования систем –на основе измеренных на выбранных шкалах свойств.

Этап 4. Собственно оценивание.

Все исследуемые системы, рассматриваемые как альтернативы, сравниваются по сформулированным критериям и в зависимости от целей оценивания ранжируются, выбираются, оптимизируются и т.д.

Критерии оценивания систем – правила или нормы, позволяющие оценить эффективность системы, соответствие требуемого и достигаемого результатов.

Если удастся ввести количественные характеристики и связать аналитическим выражением цель системы и средства ее достижения, то такие выражения называют критерием эффективности, критерием функционирования, целевой функцией и т.п.

Такой подход, обычно реализуемый для технических систем, первоначально пытались применить и для оценки сложных систем с активными элементами типа социально-экономических систем, человеко-машинных комплексов. Однако получить требуемые аналитические зависимости для таких систем крайне сложно, а часто и практически невозможно. Поэтому целесообразно рассмотреть различные подходы к трактовке и классификации критериев оценки эффективности систем.

При оценке систем различают качество систем и эффективность реализуемых системами процессов. Соответственно вводят критерии качества и показатели и критерии эффективности.

Виды критериев качества. Для пояснения принципа классификации критериев качества введем ряд понятий.

Каждое i -е качество j -й системы, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$, может быть описано с помощью некоторой выходной переменной y_i^j , отображающей определенное существенное свойство системы, значение которой характеризует меру (интенсивность) этого качества. Эту меру назовем показателем свойства или частным показателем качества системы.

Показатель y_i^j может принимать значения из множества (области) допустимых значений $\{y_i^{\text{don}}\}$.

Назовем обобщенным показателем качества j -й системы вектор $Y^j = \langle y_1^j, y_2^j, \dots, y_i^j, \dots, y_n^j \rangle$, компоненты которого суть показатели его отдельных свойств.

Размерность этого вектора определяется числом существенных свойств системы.

Обратим внимание на то, что показатель качества именно вектор, а не простое множество частных показателей, поскольку между отдельными свойствами могут существовать связи, которые в рамках теории множеств описать весьма сложно.

Частные показатели имеют различную физическую природу и в соответствии с этим – различную размерность. Поэтому при образовании обобщенного показателя качества следует оперировать не «натуральными» показателями, а их нормированными значениями, обеспечивающими приведение показателей к одному масштабу, что необходимо для их сопоставления.

Задача нормировки решается, как правило, введением относительных безразмерных показателей, представляющих собой отношение «натурального» частного показателя к некоторой нормирующей величине, измеряемой в тех же единицах, что и сам показатель.

Выбор нормирующего делителя для перевода частных показателей в безразмерную форму в значительной мере носит субъективный характер и должен обосновываться в каждом конкретном случае.

Возможны несколько подходов к выбору нормирующего делителя.

Во-первых, нормирующий делитель y_i^0 можно задавать с помощью ЛПР, и это предполагает, что значение y_i^0 является образцовым.

Во-вторых, можно принять, что нормирующий делитель $y_i^0 = \max y_i^j$.

В-третьих, в качестве нормирующего делителя может быть выбрана разность между максимальными и минимальными допустимыми значениями частного показателя.

Требуемое качество системы задается правилами (условиями), которым должны удовлетворять показатели существенных свойств, а проверка их выполнения называется оценением качества системы.

Таким образом, критерий качества – это показатель существенных свойств системы и правило его оценивания.

Назовем идеальной системой Y^* гипотетическую модель исследуемой системы, идеально соответствующую всем критериям качества, $Y^* = \langle y_1^*, y_2^*, \dots, y_i^*, \dots, y_n^* \rangle$ – вектор, являющийся показателем качества идеальной системы. Назовем областью адекватности некоторую окрестность значений показателей существенных свойств.

В общем виде область адекватности определяется как модуль нормированной разности между показателем качества $Y^{\text{don}} Y^*$.

На радиус области адекватности накладываются ограничения, зависящие от семантики предметной области. Как правило, определение этой величины является результатом фундаментальных научных исследований или экспертной оценки.

При таком рассмотрении критерии в общем случае могут принадлежать к одному из трех классов:

1. Критерий пригодности. Правило, согласно которому j -я система считается пригодной, если значения всех i -х частных показателей y_i^j этой системы принадлежат области адекватности δ , а радиус области адекватности соответствует допустимым значениям всех частных показателей

2. Критерий оптимальности. Правило, согласно которому j -я система считается оптимальной по i -му показателю качества, если существует хотя бы один частный показатель качества y_i^j , значение которого принадлежит области адекватности δ , а радиус области адекватности по этому показателю оптимален.

Оптимальность радиуса адекватности определяется из семантики предметной области, как правило, в виде $\delta^{onm}=0$, что подразумевает отсутствие отклонений показателей качества от идеальных значений

3. Критерий превосходства. Правило, согласно которому j -я система считается превосходной, если все значения частных показателей качества y_i^j принадлежат области адекватности δ , а радиус области адекватности оптимален по всем показателям

Иллюстрация приведенных формулировок приведена на рис. 2.1, где по свойствам y_1 и y_2 сравниваются характеристики пяти систем $\{Y^1, Y^2, Y^3, Y^4, Y^5\}$, имеющие допустимые области адекватности значений $\{y_i^1, y_i^2\}$ $i=1, 2$, для которых определены оптимальные значения y_1^{onm}, y_2^{onm} соответственно.

Шкала уровней качества систем с управлением. При оценивании качества систем с управлением признают целесообразным введение нескольких уровней качества, проранжированных в порядке возрастания сложности рассматриваемых свойств.

Эмпирические уровни качества получили названия: устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, способность, самоорганизация.

Система, обладающая качеством данного порядка, имеет и все другие более простые качества, но не имеет качеств более высокого порядка.

Первичным качеством любой системы является ее устойчивость.

Для простых систем устойчивость объединяет такие свойства, как прочность, стойкость к внешним воздействиям, сбалансированность, стабильность, гомеостазис (способность системы возвращаться в равновесное состояние при выводе из него внешними воздействиями).

Для сложных систем характерны различные формы структурной устойчивости, такие как надежность, живучесть и т.д., устойчивость развивающихся систем с активными элементами.

Более сложным, чем устойчивость, является помехоустойчивость, понимаемая как способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки.

Помехоустойчивость объединяет ряд свойств, присущих в основном системам управления. К таким свойствам относятся надежность информационных систем и систем связи, их пропускная способность, возможность эффективного кодирования/декодирования информации, электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и т.д.

Следующим качеством системы является управляемость – способность системы переходить за конечное (заданное) время в требуемое состояние под влиянием управляющих воздействий.

Управляемость обеспечивается, прежде всего, наличием прямой и обратной связей, объединяет такие свойства системы, как гибкость управления, оперативность, точность, быстроедействие, инерционность, связность, наблюдаемость объекта управления и др. На этом уровне качества для сложных систем управляемость включает способность принятия решений по формированию управляющих воздействий.

Следующим уровнем на шкале качеств является уровень, называемый способностью. Это качество системы, определяющее ее возможности по достижению требуемого результата на основе имеющихся ресурсов за определенное время.

Данное качество определяется такими свойствами, как результативность (производительность, мощность и т.п.), ресурсоемкость и оперативность. Именно это качество определяется как потенциальная эффективность функционирования системы – способность получить требуемый результат при идеальном способе использования ресурсов и в отсутствии воздействий внешней среды.

Наиболее сложным качеством системы является самоорганизация.

Самоорганизующаяся система способна изменять свою структуру, параметры, алгоритмы функционирования, поведение для повышения эффективности.

Принципиально важными свойствами этого уровня являются свобода выбора решений, адаптивность, самообучаемость, способность к распознаванию ситуаций и др.

Принцип свободы выбора решений предусматривает возможность изменения критериев на любом этапе принятия решений в соответствии со складывающейся обстановкой,

Введение уровней качества позволяет ограничить исследования одним из перечисленных уровней. Для простых систем часто ограничиваются исследованием устойчивости.

Уровень качества выбирает исследователь в зависимости от сложности системы, целей исследования, наличия информации, условий применения системы.

Показатели и критерии оценивания эффективности систем. Существенные свойства в соответствии с представлением системы как семантической модели можно условно классифицировать не только по уровню сложности, но и по принадлежности к системообразующим (общесистемным), структурным или функциональным группам.

В общем случае оценка функциональных свойств системы проводится как оценка двух аспектов:

- а) исхода (результатов) функционирования;
- б) «алгоритма», обеспечивающего получение результатов.

Качество исхода и «алгоритм», обеспечивающий получение результатов, оцениваются по показателям качества.

Показатели качества вводятся с учетом конкретных особенностей системы и условий ее функционирования.

В области разработки оценок качества функционирования систем значительные результаты получены в теории исследования операций, в терминах которой искусственная система создается для выполнения операции.

Эти результаты полезно использовать и в теории систем и системного анализа. Поэтому приведем краткий обзор показателей качества, разработанных в теории исследования операций.

К основным укрупненным показателям качества операции относят результативность, ресурсоемкость, оперативность.

Результативность характеризуется получаемым в результате целевым эффектом – результатом, ради которого функционирует система.

Ресурсоемкость характеризуется ресурсами всех видов (людскими, материально-техническими, энергетическими, информационными, финансовыми и т.п.), используемыми для получения целевого эффекта.

Оперативность характеризуется расходом времени, потребного для достижения цели.

Первый аспект – оценка исхода операции – учитывает, что операция проводится для достижения определенной цели – исхода операции.

Под исходом операции понимается ситуация (состояние системы и внешней среды), возникающая на момент ее завершения.

Для количественной оценки исхода операции вводится понятие показателя исхода операции (ПИО), вектора $Y_{исх} = \langle Y_{\exists}, Y_R, Y_O \rangle$, компоненты которого суть показатели его отдельных свойств, отражающие результативность, ресурсоемкость и оперативность операции.

Второй аспект – оценка «алгоритма» функционирования – является ведущим при оценке эффективности. Такое утверждение основывается на теоретическом постулате, подтвержденном практикой: наличие хорошего «алгоритма» функционирования системы повышает уверенность в получении требуемых результатов.

В принципе, требуемые результаты могут быть получены и без хорошего «алгоритма», но вероятность этого невелика.

Это положение особенно важно для организационно-технических систем и систем, в которых результаты операции используются в режиме реального времени.

В совокупности результативность, ресурсоемкость и оперативность порождают комплексное свойство – эффективность процесса $Y_{эф}$, степень его приспособленности к достижению цели. Это свойство, присущее только операциям, проявляется при функционировании системы и зависит как от свойств самой системы, так и от внешней среды.

В литературе термин «эффективность» связывается и с системой, и с операцией, и с решением. Образованные при этом понятия можно считать эквивалентными. В конечном счете каждое из них отражает соответствие исхода операции, выполняемой системой для достижения поставленной цели. Обычно нужно иметь в виду, что одна или несколько операций реализуются системой.

Для большинства операций процедура оценки эффективности решений носит характер прогнозирования.

Выбор критерия эффективности – центральный, самый ответственный момент исследования системы.

Процесс выбора критерия эффективности, как и процесс определения цели, является в значительной мере субъективным, творческим, требующим в каждом отдельном случае индивидуального подхода.

Наибольшей сложностью отличается выбор критерия эффективности решений в операциях, реализуемых иерархическими системами.

Конкретный физический смысл показателей определяется характером и целями операции, а также качеством реализующей ее системы и внешними воздействиями.

В отдельных системах в качестве показателей результативности могут рассматриваться показатели ресурсоемкости или оперативности, однако качество системы в целом определяется, подобно ПИО, их совокупностью $Y_{эф} = \langle Y_{э}, Y_R, Y_O \rangle$.

Хотя конкретные операции достаточно многообразны, существует ряд общих принципиальных положений, которыми необходимо руководствоваться при формировании системы критериев эффективности решений.

В зависимости от типа систем и внешних воздействий операции могут быть детерминированными, вероятностными или неопределенными.

В соответствии с этим выделяют три группы показателей и критериев эффективности:

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в условиях определенности, если ПИО отражают один строго определенный исход детерминированной операции;

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в условиях риска, если ПИО являются дискретными или непрерывными случайными величинами с известными законами распределения в вероятностной операции;

- показатели и критерии эффективности функционирования систем в условиях неопределенности, если ПИО являются случайными величинами, законы распределения которых неизвестны.

Критерий пригодности, применяемый для оценки детерминированной операции, определяет правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели исхода операции принадлежат области адекватности.

Критерий оптимальности для оценки детерминированной операции определяет правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели исхода операции принадлежат области адекватности, а радиус области адекватности по этим показателям оптимален.

Критерий пригодности для оценки эффективности вероятностной операции определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по показателям эффективности $P_{оц}(Y_{эф})$ не меньше требуемой вероятности достижения цели по этим показателям $P_{оц}^{треб}(Y_{эф})$.

Критерий оптимальности для оценки эффективности вероятностной операции определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность

достижения цели по показателям эффективности $P_{\text{оц}}(Y_{\text{эф}})$ равна вероятности достижения цели с оптимальными значениями этих показателей $P_{\text{оц}}^{\text{треб}}(Y_{\text{опт}})$.

Основной проблемой оценки эффективности вероятностных операций является неясность способа определения требуемых вероятностей.

Это связано с отсутствием достаточной статистики.

Известно, что применение методов классической теории вероятности допустимо при повторяемости опытов и одинаковости условий. Эти требования в сложных системах выполняются не всегда.

Наибольшие трудности возникают при оценке эффективности систем в условиях неопределенности.

Для решения этой задачи разработано несколько подходов.

Порядок оценки эффективности систем в неопределенных операциях составляет один из разделов теории принятия решений.

Выбор показателей для конкретной системы связан с анализом большого объема плохо структурированной информации и поэтому в системном анализе сформулированы требования, следование которым позволяет обосновать применимость показателей к оценке систем.

Общими требованиями к показателям исхода операции являются: соответствие показателя оценки цели операции, полнота, измеримость, ясность физического смысла (это требование не всегда реализуемо), избыточность, чувствительность.

Набор показателей оценки эффективности функционирования системы может быть определен различными способами.

К настоящему времени еще не существует формальной теории, обеспечивающей объективное решение этой задачи. Выбор критериев оценки зависит от методов моделирования систем.

Выявление и измерение предпочтений методами экспертного оценивания

Под предпочтением понимают любую форму упорядочения элементов множества D , то есть устранения неопределенности в выборе некоторого элемента.

Поскольку термин «предпочтительный» означает «лучший среди других», то выбранный по этому признаку из множества D единственный элемент d^* называют наилучшим, а подмножество D^* элементов – множеством наилучших элементов в рассматриваемом множестве D .

В самом общем виде задача выбора формулируется следующим образом: задано множество D элементов (объектов), из которого необходимо выделить один лучший в определенном смысле элемент d^* или подмножество D^* лучших элементов. Природа множества D может быть различной.

Выделение требуемых элементов из множества D осуществляется индивидом (ЛПР, экспертом, исследователем) на основе некоторого правила выбора (решающего правила) K . Тогда задачу выбора в зависимости от ее конкретной постановки формально можно представить в виде $(D, K; d^*)$ или $(D, K; D^*)$, где d^* и D^* – решения этих задач.

Под выявлением предпочтений ЛПР понимают процесс получения информации о предпочтениях этого лица на множестве выбора и построения на ее основе модели, описывающей эти предпочтения. Существуют две постановки задачи выявления предпочтений и соответственно два подхода к ее решению.

В первой постановке задача состоит в том, чтобы на основании информации о ранее принятых решениях в реальных ситуациях выбора построить модель предпочтений, соответствующую этим решениям. Такая постановка задачи апостериорного выявления предпочтений может иметь место в тех случаях, когда ситуация выбора может повторяться многократно в неизменных (или почти неизменных) условиях, и есть возможность накопить достаточный объем информации о принятых решениях.

Во второй постановке задача состоит в том, чтобы построить модель предпочтений ЛПР до принятия им реального решения. Необходимую для этого информацию получают от него посредством специальной процедуры опроса. Модель предпочтений, построенная на основе этой информации, используется для решения задачи выбора. Такая постановка задачи априорного выявления предпочтений наиболее характерна для прикладных задач.

Измерение предпочтений есть отображение альтернативных вариантов решений на числовую ось. Это отображение осуществляется специальной функцией, которая описывает комплексную (интегральную) оценку положительных и отрицательных последствий решения и, следовательно, характеризует его эффективность. Для построения этой функции необходимо соотнести разнородные показатели степени достижения целей в общей оценке эффективности.

Получение функциональной зависимости эффективности вариантов решений (стратегий) от частных показателей эффективности в виде формулы возможно только в простейших случаях. Как правило, эта зависимость носит более сложный характер причинно-следственных связей и не описывается простыми формальными соотношениями.

В связи с этим существенная роль в установлении соотношений между частными показателями и общей оценкой предпочтений вариантов решений принадлежит ЛПР и экспертам.

В общем случае предпочтения экспертов могут не совпадать с предпочтениями ЛПР. Это помогает ему критически осмыслить различные точки зрения, еще раз взвесить возможные последствия решений, четко осознать свои предпочтения.

Выявление и измерение предпочтений ЛПР является наиболее сложным и ответственным этапом задачи исследования эффективности операции. От того, насколько построенная модель предпочтений ЛПР соответствует его реальным предпочтениям, во многом зависят успех всего исследования и ценность полученных результатов. Построение модели предпочтений P ЛПР, учет концепции его рационального поведения и принятие определенных допущений позволяют сформировать для конкретной задачи критерий эффективности K . Именно на этапе построения критерия эффективности проводится конкретизация понятия «предпочтение» и тем самым предопределяется упорядочение вариантов решений.

Если использование сформированного критерия эффективности K обеспечило выбор наилучшей стратегии u^* из множества U допустимых стратегий или сужение этого множества до требуемого подмножества U^* лучших стратегий, то задача выбора решена. Если этого не произошло, то необходима дополнительная информация о предпочтениях ЛПР.

Возможно, что дополнительную информацию о предпочтениях ЛПР в явной форме получить нельзя или ее получение нерационально вследствие ограниченности времени или больших затрат ресурсов. Тогда ЛПР проводит неформальный анализ выделенных стратегий и выбирает из них наилучшую в соответствии со своими предпочтениями, существующими в неявной форме. Если дополнительную информацию о предпочтениях ЛПР можно получить в явной форме, то осуществляется уточнение модели предпочтений P ЛПР и соответствующая коррекция критерия эффективности K .

Способы выражения предпочтений

Введенное понятие системы предпочтений основывается на том, что ЛПР может выразить свое отношение к тому или иному элементу путем попарного их сравнения с указанием более предпочтительного объекта в каждой паре или указанием на то, что объекты равноценны. Иногда допускается делать вывод по результатам контрольных предъявлений, что элементы несравнимы между собой. Этот способ выражения предпочтений называется попарным сравнением и относится к широкому классу способов, определенному как элементарные суждения.

Результаты попарного сравнения часто представляют в виде матрицы попарных сравнений. В этом случае выбирается некоторая шкала (в общем случае множество символов), например со значениями: 1 – отражает факт предпочтительности; 0,5 – факт равноценности; 0 – факт неpreferentialности; * – факт несравнимости элементов; на пересечении соответствующих строк и столбцов матрицы, составленной из элементов, ставится тот или иной символ.

Сортировка. ЛПР предъявляется исходное множество элементов, которое оно должно разделить на некоторое количество классов.

В этом случае ЛПР осуществляет не просто попарное сравнение элементов безотносительно ко всем остальным, а выделяет классы, как бы охватывая всю совокупность элементов. Поэтому сортировка требует от ЛПР большей подготовленности, чем просто попарное сравнение.

Ранжирование. Это способ выражения предпочтения путем представления элементов в виде последовательности в соответствии с возрастанием или убыванием их предпочтительности. Различают строгое и нестрогое ранжирование. В первом случае не допускается указывать на равноценность некоторых рядом поставленных элементов. Ранжирование часто представляют как приписывание элементам оценок в ранговой шкале. При этом допускается как прямое ранжирование (когда более предпочтительному элементу приписывается меньшее значение оценки), так и обратное ранжирование (более предпочтительным является элемент с более высокой оценкой).

Промежуточную шкалу между качественной и количественной имеют элементарные суждения, выраженные в балльных оценках. Каждому элементу из множества предъявленных ЛПР ставит в соответствие число (балл), характеризующее его субъективное мнение о предпочтительности объектов.

Попарное выражение предпочтения как доли суммарной интенсивности. Этот способ сходен со способом попарного сравнения и отличается от него тем, что ЛПР должен указать, какой из двух элементов является более предпочтительным, а также как суммарная интенсивность предпочтения, приходящаяся на оба рассматриваемых элемента, распределяется между ними.

Попарное выражение предпочтения как доли относительной интенсивности. В отличие от предыдущего случая ЛПР должен указать, во сколько раз один элемент предпочтительнее другого.

Рассмотренные способы выражения предпочтений ЛПР относятся к случаю сравнения исходов операции G или значений показателей W . При выборе лучшей стратегии проведения операции (то есть установлении предпочтений на множестве U) необходимо дополнительно учитывать условия ее проведения, то есть ориентироваться на более «правдоподобную» ситуацию. В этом случае необходимо выявить предпочтения ЛПР относительно условий L . Для этого применяют два основных способа.

Способ выражения предпочтений лингвистическими переменными основан на той предпосылке, что «элементами мышления человека являются не числа, а элементы некоторых нечетких множеств или классов объектов, для которых переход от «принадлежности» к «непринадлежности» не скачкообразен, а непрерывен». Такой подход используют при принятии решений, когда определяющими являются не количественные, а качественные характеристики.

Отношения

Кроме рассмотренных выше элементарных суждений для математического описания предпочтений в моделях принятия решений используется универсальное их представление в виде отношений.

Отношение – это математическое понятие для обозначения подмножества прямого декартова произведения множеств.

Наиболее употребительными в практике принятия решений являются бинарные отношения, так как они хорошо связываются с традиционными способами выражения элементарных суждений.

Бинарным отношением R на множестве элементов D называется подмножество упорядоченных пар (a'', d'') множества $D \times D$ всех таких пар.

Символом $D \times D$ обозначают прямое декартово произведение. Элементами множества D могут быть, например, исходы операции (в этом случае $D = G$). Если декартово произведение состоит более чем из двух «сомножителей» ($D \times D \times D$, $D \times D \times D \times D$, ...), то его элементами являются упорядоченные тройки, четверки элементов и т.д. В этом случае принципиально можно рассматривать тернарные, тетрарные и другие отношения.

Бинарные отношения могут быть использованы для универсального описания связей между элементами различной природы: для описания связности электрических и информационных сетей, иерархических структур управления и т.п.

Бинарные отношения есть множества специального вида, поэтому их описание основывается на обычных способах задания множеств: перечисление элементов множества R , указание общих свойств этих элементов, граф, матрица смежности, подмножество точек в декартовой системе координат.

Это же отношение может быть представлено в виде графа, матрицы смежности и множеством точек в декартовой системе координат (соответственно случаи а-в на рис. 2.8); направление стрелок на рис. 2.8а соответствует направлениям рассматриваемого предпочтения между элементами, которые они связывают. Петли на графе обозначают тот факт, что элемент не менее предпочтителен самого себя.

Свойства бинарных отношений. Если для любого элемента $d \in D$ выполняется условие $(d, d) \in R$, то отношение R *рефлексивно* (рис. 2.9а).

Если для любой тройки элементов $d, d', d'' \in D$ удовлетворяется условие, что из $(d, d'') \in R$ и $(d', d'') \in R$ следует, что $(d, d') \in R$, то такое отношение называется *транзитивным* (рис. 2.9). Отношение R называется *симметричным* (рис. 2.9), если из $(d, d'') \in R$ всегда следует $(d'', d) \in R$.

Отношение R называется *связным* (линейным, полным), если для любых двух несовпадающих элементов $(d, d') \in D$ справедливо хотя бы одно из двух утверждений: $(d, d') \in R$ или $(d', d) \in R$.

Если отношение R справедливо только для несовпадающих элементов из D , то оно называется *антирефлексивным*, то есть из (d', d'') следует, что d' не есть d'' .

Если отношение R не является симметричным, то в зависимости от природы элементов $d \in D$ (числовые или нечисловые характеристики) вводятся свойства антисимметричности (для числовых) и асимметричности (для нечисловых).

Отношение R называется *антисимметричным*, если из $(d, d') \in R$ и $(d', d) \in R$ следует равенство $d = d'$.

Отношение R *асимметрично* (рис. 2.9в), если из $(d, d') \in R$ следует, что $(d', d) \notin R$.

Дадим характеристику свойств бинарного отношения на примере рис. 2.9. Введенное отношение рефлексивно. Признаком этого является наличие петель на графе, единиц на диагонали матрицы смежности. Отношение R несвязно (отсутствует стрелка между W_1 и W_4 на графе), транзитивно.

В теории принятия решений особое место занимают отношения, обладающие специальным набором указанных свойств. Это отношения эквивалентности, строго частичного порядка, квазипорядка и порядка.

Эквивалентностью называется симметричное, рефлексивное, транзитивное отношение. Это отношение имеет большое значение при формализации процессов и явлений (рис. 2.10а). В математике оно связано с понятием разбиения множеств на классы.

Если отношение R есть эквивалентность на множестве D_j , то элементы d и d' относятся к одному классу D_j разбиений тогда и только тогда, когда $(d, d') \in R$.

И наоборот, если дано разбиение D на классы $\{D_j\}$, то пара $(d, d') \in D_j$ эквивалентна.

Строгим частичным порядком называется антирефлексивное транзитивное отношение.

Квазипорядком называется рефлексивное и транзитивное отношение.

Порядком называется антисимметричное рефлексивное транзитивное отношение.

Каждое из рассмотренных элементарных суждений (как способ выражения предпочтений) может быть охарактеризовано с помощью свойств бинарных отношений.

Попарное сравнение в общем случае обладает только свойством рефлексивности. Поскольку сравнение элементов проводится только в парах без учета остальных элементов, свойство транзитивности выявленного отношения предпочтения, как правило, отсутствует, а так как допускается указывать на несравнимость элементов, то отсутствует и свойство связности.

Сортировка может задавать либо отношение эквивалентности, либо толерантности (рефлексивное, симметричное отношение) на предъявленном ЛПР множестве элементов. Так как среди предъявленных элементов ЛПР может уверенно отнести к тому или иному классу лишь элементы, субъективно «сильно» различающиеся между собой, а среди оставшихся есть «похожие», то транзитивность на границах между классами может нарушиться.

В результате этого отношение становится только рефлексивным и симметричным, что является определенным недостатком сортировки. Такое отношение называется *толерантностью*.

Ранжирование задает отношение квазипорядка. Если ранжирование строгое, то выявленное отношение является строгим частичным порядком.

Способы балльного оценивания субъективных вероятностей и выражения предпочтения коэффициентами важности устанавливают отношение порядка на предъявленном множестве элементов.

Наиболее серьезными недостатками части элементарных суждений является отсутствие связности и транзитивности, что не позволяет осуществить однозначный выбор. В этом случае необходимо либо привлечь дополнительную информацию, раскрывающую неопределенность и неоднозначность суждений ЛПР, либо использовать ряд непротиворечивых гипотез для устранения указанных недостатков.

В качестве определяющей гипотезы при выработке решения выдвигаются предположения о транзитивности и связности суждений ЛПР.

Исходя из этой гипотезы, некоторое нетранзитивное отношение R можно аппроксимировать «ближайшим» к нему наименьшим транзитивным отношением R , включающим в себя R .

Такая операция называется *транзитивным замыканием отношения R* .

Потеря транзитивности, как правило, возникает в том случае, когда ЛПР не может четко выразить суждение об отношении на множестве элементов, что, например, при сортировке приводит к толерантности.

В этом случае иногда применяют аппарат задания нечетких отношений предпочтений с использованием лингвистической переменной.

Нечеткие отношения

Переход от обычного (четкого) отношения к нечеткому в принципе тот же, что и переход от обычного множества к нечеткому. В практике чаще используют задание нечетких отношений на обычных множествах.

В этом случае нечетким отношением R на обычном множестве D называется нечеткое подмножество прямого декартова произведения $D \times D$, характеризующееся функцией принадлежности $f\%: D \times D \rightarrow [0, 1]$.

Значение $\mu_R(d, d')$ этой функции принимается как субъективная мера отношения $(d, d') \in R$.

Обычное отношение есть частный случай нечеткого отношения с релейной функцией принадлежности:

$$\mu_R = \begin{cases} 1, & \text{если } (d, d') \in R; \\ 0, & \text{если } (d, d') \notin R. \end{cases}$$

Оценивание предпочтений. Отношения предпочтения и их свойства

Бинарные отношения, являясь универсальным способом описания связей между элементами произвольной природы, широко используются в практике принятия решений. С их помощью формально задаются и описываются свойства всех отношений предпочтения.

Основными отношениями предпочтения являются следующие:

- отношение строгого предпочтения $>$;
- отношение безразличия \sim .

В этом случае запись $d' > d''$ означает, что элемент d' строго предпочтительнее элемента d'' , то есть при предъявлении ЛПР только двух указанных элементов оно всегда будет явно предпочитать элемент d' . Запись $d' \sim d''$ означает, что элементы одинаковы по предпочтительности, и если предъявление ограничить только этими двумя элементами, то ЛПР всегда безразлично, какой из них выбрать.

На основе отношений строгого предпочтения и безразличия вводят дополнительно: отношения нестрогого предпочтения \geq , несравнимости $<$ и неразличимости $\#$, а также различные градации указанных отношений.

Отношение нестрогого предпочтения $d' \geq d''$ означает, что элемент d' , по мнению ЛПР, не менее предпочтителен, чем d'' , то есть при их предъявлении ЛПР указывает либо, что $d' > d''$, либо, что $d' \sim d''$. Формально отношение \geq есть объединение $>$ и \sim ($> \cup \sim$).

Отношение несравнимости $d' \nlessgtr d''$ означает, что ЛПР непонятно, как выразить отношения между элементами d' , d'' , то есть оно не может однозначно утверждать, что $d' > d''$, или $d'' > d'$, или $d' \sim d''$.

Отношение неразличимости $d' \# d''$ означает, что либо ЛПР не может сравнить элементы d' , d'' ($d' \nlessgtr d''$), либо считает их эквивалентными ($d' \sim d''$).

Формально отношения несравнимости и неразличимости можно представить так:

$$d' \nlessgtr d'' \Leftrightarrow d' \nlessgtr d'' \wedge d'' \nlessgtr d'; d' \# d'' \Leftrightarrow d'' \nlessgtr d' \sim d''.$$

По смыслу введенные отношения предпочтения обладают следующими свойствами бинарных отношений:

- $>$ – антирефлексивно и асимметрично;
- \sim – рефлексивно и симметрично;
- \geq – рефлексивно.

В практике выявления и оценивания предпочтений обычно стремятся добиться непротиворечивости суждений ЛПР, поэтому везде в дальнейшем всегда будем считать, что отношения строгого предпочтения $>$, безразличия \sim и нестрогого предпочтения \geq транзитивны, так что $>$ – строгий частичный порядок, \sim – эквивалентность, а \geq – квазипорядок.

Функция эффективности

Рассмотренные способы выражения предпочтений ЛПР предполагают предъявление ему некоторого ограниченного контрольного множества элементов из D с целью прямого их оценивания по предпочтительности. Из этого следует, что выявленное отношение предпочтения R (четкое или нечеткое) относится только к предъявленным элементам. Если нужно установить предпочтения ЛПР на других элементах, входящих во множество D , то необходимо сформировать новое контрольное предъявление и вновь провести оценивание предпочтений.

Такая процедура должна повторяться до полного исчерпания множества D , что практически невозможно по двум причинам. Во-первых, множество D может иметь мощность континуума, а во-вторых, даже если множество D конечно, ЛПР не всегда может длительно консультироваться с исследователем.

Использование выборочного метода и выполнение ряда предпосылок позволяют преодолеть указанные трудности. Отношение ЛПР, выявленное по результатам контрольного предъявления множества элементов, аппроксимируют некоторой числовой функцией, которая каждому элементу $d \in D$ ставит в соответствие действительное число, величина которого согласуется с представлением ЛПР о степени предпочтительности данного элемента (по достижении цели операции, условиям ее проведения, затратам и т.п. характеристикам каждого элемента). Такую функцию называют функцией эффективности. С помощью этой функции уже без непосредственного привлечения ЛПР может решаться задача выбора.

В качестве функции эффективности можно рассматривать любое соответствие (функцию, функционал, оператор), для которого выполняется соотношение

$$d' R d'' \Leftrightarrow W_e(d') \geq W_e(d''), \quad ($$

где R – отношение нестрогого предпочтения D (четкое или нечеткое); $W_e(d)$ – значение функции эффективности.

Численное представление функции эффективности, возможно в том случае, если отношение: а) R – связано; б) R – транзитивно; в) R – ассиметрично и при этом г) предпочтения на множестве D не изменяются скачком.

Требование а) указывает на обязательную сравнимость любых двух элементов d' и d'' . Предпочтения ЛПР должны быть согласованы (непротиворечивы), что означает транзитивность отношения. Улучшение отдельных характеристик элемента должно приводить к различию в оценке его предпочтительности. Выполнение этого условия должно приводить к ассиметрии отношения R и монотонности функции эффективности.

Таким образом, из третьего требования вытекает, что для любого элемента d достаточно малое изменение одной из его характеристик в смысле улучшения может быть компенсировано определенным изменением другой характеристики, что приводит к эквивалентности исходного и полученного таким образом нового элемента. Условие \sim требует наличия именно такого свойства у отношения R . Каждый элемент d описывается определенным набором характеристик $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n_0})$. Тогда любой элемент d можно представить точкой в пространстве характеристик $X = X_1 X_2 X_3 \dots X_{n_0}$, где X_i – шкала i -й характеристики $i = 1, n_0$, а каждой точке поставить в соответствие значение функции эффективности.

При выполнении условий а) – г) отношение нестрогого предпочтения R – квазипорядок, а это указывает на существование эквивалентных элементов, то есть поверхностей равноценности для заданного уровня функции эффективности:

$$W_e(X) = const.$$

Построение функции эффективности представляет самостоятельную задачу. Не всегда эта задача имеет решение. Тогда применяют другие эвристические методы, позволяющие осуществить выбор.

Из выше приведенного выражения следует, что функция эффективности полностью задает структуру предпочтений ЛПР (отношение R). Однако структуру предпочтений можно описать целым классом функций, то есть функция эффективности определяется с точностью до монотонного преобразования и, следовательно, имеет порядковую шкалу.

В качестве характеристик исходов G (то есть $D = G$) используются частные показатели эффективности, надежности, качества, которые должны иметь ясный физический смысл. Именно это требование позволяет ЛПР уяснить задачу выбора и упорядочить исходы по предпочтительности.

Методика выявления и измерения предпочтений

Под методом экспертного оценивания обычно понимают комплекс логических и математических процедур, направленных на получение от специалистов-экспертов информации, ее анализ и обобщение с целью выбора рациональных решений.

В зависимости от объема и качества исходной информации разработаны специальные методы как самой экспертизы, так и методы обработки экспертной информации. Если исходная информационная база недостаточна или задача является уникальной, то применяют методы индивидуального экспертного оценивания: интервью, аналитические докладные записки, сценарии.

Для ситуации с большим объемом информации обычно привлекают не одного, а нескольких специалистов и используют методы группового экспертного оценивания: анкетирование, комиссии, коллективная генерация идей, комплексные методы.

Под организацией экспертного оценивания понимается комплекс взаимосвязанных мероприятий, определяющих цель работы, условия и способы ее проведения, обеспечение процесса экспертного оценивания, права и обязанности привлекаемых лиц.

Условно можно выделить следующие основные этапы проведения экспертного оценивания: формирование цели и задач оценивания; формирование группы управления и оформление решения на проведение оценивания; выбор метода получения экспертной информации и способа ее обработки; подбор экспертной группы и формирование при необходимости анкет опроса; опрос экспертов (экспертиза); обработка и анализ результатов экспертизы; интерпретация полученных результатов; составление отчета.

Этап интерпретации полученных результатов необходим для организации обратной связи в процессе экспертного оценивания. Обратную связь с экспертами группа управления осуществляет либо методом Дельфи, либо методом совещаний с обсуждением результатов анонимных опросов.

Этап формирования цели и задач экспертного оценивания является основным, так как от него зависит надежность получаемого результата и его прагматическая ценность.

Формирование цели и задач экспертного оценивания во многом определяется существом решаемой проблемы. Должны быть учтены: надежность и полнота имеющейся исходной информации, требуемая форма представления результатов (качественная или количественная), возможные области использования полученной информации, сроки ее представления, наличие имеющихся ресурсов и возможность привлечения специалистов других отраслей знания.

На группу управления возлагается не только вся организационно-плановая работа по обеспечению благоприятных условий для эффективной творческой деятельности экспертов, но и аналитическая работа по подбору экспертной группы, определению методов получения и обработки информации, составлению анкет опросов, содержательной интерпретации получаемых результатов.

Экспертную группу обычно подбирают в несколько этапов. Вначале устанавливают отрасли знаний, так или иначе связанные с рассматриваемой проблемой. Затем намечают список «потенциальных» экспертов, которые по своим профессиональным качествам компетентны в этих областях знаний. Такой предварительный отбор проводится на основе легкодоступной информации о профессиональной подготовке кандидата – должность, ученое звание и степень, стаж практической деятельности, число публикаций, участие в других экспертизах. При этом желательно, чтобы кандидат в экспертную группу имел широкий общий кругозор и эрудицию.

Компетентность эксперта есть степень его квалификации в определенной области знаний. Она определяется посредством анализа его профессиональной деятельности, широты кругозора касательно перспектив развития рассматриваемой проблемы.

В зависимости от профессиональной подготовки эксперта (должность, ученое звание, степень) ему приписывают определенный балл. В практике экспертного оценивания широко используют оценку компетентности эксперта методами самооценки и взаимной оценки. В первом случае компетентность эксперта оценивают коэффициентом

$k(0 \leq k \leq 1)$, который определяют на основе суждений эксперта о степени своей информативности по решаемой проблеме (коэффициент k_n) и степени аргументации своих мнений (коэффициент k_a): $k = 0,5 (k_n + k_a)$.

Построение группового отношения предпочтения на основе индивидуальных предпочтений

Описанные методы экспертного оценивания базируются на соответствующих процедурах опроса, которые различаются по форме общения с экспертом и способу постановки ему вопросов. К таким процедурам относятся: индивидуальные и групповые, очные и заочные, открытые и закрытые опросы. При выборе конкретной процедуры опроса необходимо учитывать не только реальные ограничения проведения экспертизы, но и достоинства и недостатки этих процедур. Дополнительно к ним можно указать, что очные опросы предпочтительнее заочных по информативности, так как позволяют исключить возможное неправильное истолкование экспертом вопросов анкеты. Более того, при заочном опросе эксперт вообще может не дать ответа на некоторые вопросы из-за их непонятности, хотя при очном опросе это может быть оперативно устранено путем переформулировок и уточнений поставленных вопросов. С учетом затрат на получение информации и исключения психологического давления на эксперта со стороны группы управления (которая может исказить получаемую информацию) более предпочтителен заочный опрос.

Способ постановки вопросов эксперту регламентирует определенную свободу его ответов. Если группа управления желает получить конкретный ответ по интересующей проблеме в том случае, когда нет уверенности, что сам эксперт захочет дать информацию, как правило, используют процедуру закрытого опроса. Эта процедура предусматривает постановку перед экспертом таких вопросов, в формулировке которых заведомо содержится перечень альтернативных ответов. Если вопрос предусматривает ответ в форме только «да» или «нет», то такой вопрос называется чисто закрытым. Если требуется указать один из более чем двух предлагаемых вариантов ответа, то такой вопрос называется веерным.

Достоинство этой процедуры в том, что опрос проводится оперативно, эксперты хорошо понимают поставленную задачу и уверенно работают, имея перед собой набор альтернативных ответов. Однако «навязывание» экспертам ответов исключает возможность выражения ими своего мнения в том случае, если оно не совпадает с альтернативными ответами и снимает с него ответственность.

Процедуру закрытого опроса целесообразно использовать при анализе характера неопределенностей, выборе метода моделирования и определении типа модели, анализе полученных результатов моделирования, то есть в тех случаях, когда набор альтернатив имеется или очевиден.

Процедура открытого опроса дает полную свободу ответов эксперта по рассматриваемой проблеме. Вопрос ставится в наиболее общей форме, отражая лишь существо задачи. Такая процедура применяется в ситуациях, требующих нетривиального решения (по своему целевому назначению эта процедура сходна с методом коллективной генерации идей). Недостатки этой процедуры заключаются в том, что для нее требуются неформальные методы обработки полученной информации ввиду «свободной» интерпретации вопроса и ответа, а также высокая квалификация экспертов.

Используя описанные методы, проводят опрос экспертов. Полученные результаты обрабатываются и анализируются. Группа управления по результатам анализа принимает решение относительно целесообразности проведения дополнительных циклов экспертизы. Это означает, что опрос экспертов, как правило, осуществляется в несколько туров до получения согласованных результатов. Таким образом достигается регулируемая обратная связь, компенсирующая неточность первоначальной постановки задачи и повышающая надежность получаемых экспертных оценок.

Методы обработки экспертных оценок

Коэффициенты ранговой корреляции Кендалла и Спирмена

При ранжировании эксперт должен расположить оцениваемые элементы в порядке возрастания (убывания) их предпочтительности и приписать каждому из них ранги в виде натуральных чисел. При прямом ранжировании наиболее предпочтительный элемент имеет ранг 1 (иногда 0), а наименее предпочтительный – ранг m .

Если эксперт не может осуществить строгое ранжирование из-за того, что, по его мнению, некоторые элементы одинаковы по предпочтительности, то допускается присваивать таким элементам одинаковые ранги. Чтобы обеспечить равенство суммы рангов сумме мест ранжируемых элементов, применяют так называемые стандартизированные ранги.

Стандартизированный ранг есть среднее арифметическое номеров элементов в ранжированном ряду, являющихся одинаковыми по предпочтительности.

Точность выражения предпочтения путем ранжирования элементов существенно зависит от мощности множества предъявлений. Процедура ранжирования дает наиболее надежные результаты (по степени близости выявленного предпочтения и «истинного»), когда число оцениваемых элементов не более 10. Предельная мощность множества предъявления не должна превосходить 20.

Обработка и анализ ранжировок проводятся с целью построения группового отношения предпочтения на основе индивидуальных предпочтений. При этом могут ставиться следующие задачи: а) определение тесноты связи между ранжировками двух экспертов на элементах множества предъявлений; б) определение взаимосвязи между двумя элементами по индивидуальным мнениям членов группы относительно различных характеристик этих элементов; в) оценка согласованности мнений экспертов в группе, содержащей более двух экспертов.

В первых двух случаях в качестве меры тесноты связи используется коэффициент ранговой корреляции. В зависимости от того, допускается ли только строгое или нестрогое ранжирование, используется коэффициент ранговой корреляции либо Кендалла, либо Спирмена.

Коэффициенты корреляции изменяются от -1 до $+1$.

Если коэффициент корреляции равен $+1$, то это означает, что ранжировки одинаковы; если он равен -1 , то противоположны (ранжировки обратны друг другу). Равенство коэффициента корреляции нулю означает, что ранжировки линейно независимы (некоррелированы).

Поскольку при таком подходе (эксперт – «измеритель» со случайной погрешностью) индивидуальные ранжировки рассматриваются как случайные, то возникает задача статистической проверки гипотезы о значимости полученного коэффициента корреляции.

В этом случае используют критерий Неймана – Пирсона: задают уровнем значимости критерия α и, зная законы распределения коэффициента корреляции, определяют пороговое значение c_α , с которым сравнивают полученное значение коэффициента корреляции.

Критическая область – правосторонняя (в практике обычно сначала рассчитывают значение критерия и определяют по нему уровень значимости, который сравнивают с пороговым уровнем α). Коэффициент ранговой корреляции τ Кендалла имеет при $m > 10$ распределение, близкое к нормальному, с параметрами:

$$M[\tau] = 0; D[\tau] = \frac{2(2m+5)}{9m(m-1)},$$

где $M[\tau]$ – математическое ожидание; $D[\tau]$ – дисперсия.

В этом случае используются таблицы функции стандартного нормального распределения:

$$F_T(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

а граница τ_α критической области определяется как корень уравнения $\alpha = 1 - F_T\left(\frac{\tau_\alpha}{\sqrt{D[\tau]}}\right)$.

Если вычисленное значение коэффициента $\tau \geq \tau_\alpha$, то считается, что ранжировки действительно хорошо согласуются. Обычно значение α выбирают в пределах 0,01-0,05.

Проверка значимости согласованности двух ранжировок с использованием коэффициента ρ Спирмена осуществляется в том же порядке с использованием таблиц распределения Стьюдента при $m > 10$.

Обработка и анализ балльных и точечных оценок. Обработка и анализ попарных сравнений. Определение коэффициентов относительной важности. Балльные оценки занимают промежуточное место между качественной и количественной шкалами. Поэтому обработку и анализ экспертных суждений, выраженных в балльной шкале, обычно осуществляют комбинированным методом. Сначала балльные оценки переводят в ранги по правилу

$$b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_{m-1} \geq b_m \Leftrightarrow r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_{m-1} \leq r_m,$$

где b_j – балл, присвоенный элементу $d_j \in D$, а r_j – ранг этого элемента, и обрабатывают их как ранжировки.

Каждому элементу $d_j \in D$ ставится в соответствие средний балл, определяемый как среднее арифметическое балльных оценок экспертов по рассматриваемому элементу:

$$b_j = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n b_{lj}, j = 1, m, \quad ($$

где b_{lj} – балл, присвоенный j -му элементу l -м экспертом.

Степень согласованности экспертов в этом случае оценивается дисперсиями индивидуальных балльных оценок: $\sigma_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{l=1}^n (b_{lj} - b_j)^2, j = 1, m$.

или (если балльные оценки положительные) коэффициентами вариации:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{b_j}, j = 1, m, \text{ где } \sigma_j = +\sqrt{\sigma_j^2} - \text{среднеквадратическое отклонение}$$

При анализе согласованности мнений экспертов обычно считают, что она удовлетворительная, если все $v_j \leq 0,3$, и хорошая, если все $v_j < 0,2$.

В результате обработки таких оценок могут быть получены показатели среднего результата: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_l$,

дисперсии:
$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{l=1}^n (x_l - \bar{x})^2$$

и вариации:
$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}},$$

где x_l – точечная оценка характеристики x , данная l -м экспертом.

Статистическая оценка полученных результатов позволяет определить не только интервал достоверных значений оцениваемой характеристики, но и противоречивость мнения конкретного эксперта.

В первом случае используют методы интервального оценивания.

Для симметричного закона распределение оценки $P(\bar{x} - x^N \leq \varepsilon) = q$, где x^N – неизвестное истинное значение x ; q – доверительная вероятность (обычно $q = 0,9 \dots 0,95$); ε – половина длины доверительного интервала. В практике при числе экспертов в группе $n \geq 25 \div 30$ распределение оценки \bar{x} обычно полагают нормальным. В противном случае величину ε в выражении (2.28) определяют с использованием распределения Стьюдента (с

$n-1$ степенью свободы): $\varepsilon = t_q \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$, где t_q – корень уравнения $q = 2 \int_0^q S(t, n-1) dt$, где $S(t, n-1)$ – плотность распределения Стьюдента. Наиболее удаленные от \bar{x} оценки x_l проверяют на противоречивость (аномальность) следующим образом. Если проверяется оценка x_l , превышающая среднее значение \bar{x} , то по таблицам распределения Стьюдента вычисляется вероятность $\alpha = 1 - \int_{-\infty}^{t_\alpha} S(t, n-1) dt$, где $t_\alpha = \frac{x_l - \bar{x}}{\sigma_x}$. Если же проверяется оценка существенно меньше \bar{x} , то вероятность $\alpha = \int_{-\infty}^{t_\alpha} S(t, n-1) dt$.

Оценка x_l 1-го эксперта считается противоречивой при значении α , меньшем некоторого заданного значения $\alpha_{тр}$ (обычно $\alpha_{тр} = 0.05 \div 0.1$).

Более удобной формой выражения суждений экспертов являются не точечные, а диапазонные оценки. В этом случае эксперт указывает минимальное x_{lmin} и максимальное x_{lmax} значения, между которыми, по его мнению, находится истинное значение характеристики x^N . Полагая распределение оцениваемой характеристики x_l внутри указанного диапазона равномерным, вычисляют точечную оценку 1-го эксперта:

$$\bar{x}_l = 0,5(x_{lmax} + x_{lmin}),$$

а затем групповую оценку: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \bar{x}_l$; дисперсию результатов экспертизы и коэффициент вариации определяют по вышеприведенным формулам с подстановкой значения \bar{x}_l вместо x_l .

Для уточнения распределения оценок x_l внутри диапазона $[x_{lmin}, x_{lmax}]$ эксперты должны дополнительно указать наиболее вероятную, по их мнению, оценку x_{lmed} характеристики x . Хорошей аппроксимацией в этом случае является β -распределение.

По величинам x_{lmin} , x_{lmed} , x_{lmax} оценивают среднее значение \bar{x}_l и дисперсию $\sigma_{x_l}^2$:

$$\bar{x}_l = \frac{x_{lmin} + 2x_{lmed} + x_{lmax}}{4}, I = 1, n;$$

$$\sigma_{x_l}^2 = \left(\frac{x_{lmax} - x_{lmin}}{4} \right)^2, I = 1, n.$$

Статистические методы обоснования решений. Критерии принятия решений

Матрица решений. Оценочная функция

Принятие решения представляет собой выбор одного из некоторого множества рассматриваемых вариантов $E_i \in E$.

В дальнейшем мы будем изучать наиболее часто встречающийся на практике случай, когда имеется лишь конечное число вариантов $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_m$, причем обычно небольшое, хотя принципиально мыслимо и бесконечное множество вариантов $F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_m$. При необходимости наше рассмотрение без труда переносится на этот наиболее общий случай.

Условимся прежде всего, что каждым вариантом E_i однозначно определяется некоторый результат e_i .

Эти результаты должны допускать количественную оценку, и мы будем для простоты отождествлять эти оценки с соответствующими результатами, обозначая их одним и тем же символом e_i .

Мы ищем вариант с наибольшим значением результата, то есть целью нашего выбора является $\max_i e_i$. При этом мы считаем, что оценки e_i характеризуют такие величины, как, например, выигрыш, полезность или надежность.

Противоположную ситуацию с оценкой затрат или потерь можно исследовать точно так же путем минимизации оценки или, как это делается чаще, с помощью рассмотрения отрицательных величин полезности.

Таким образом, выбор оптимального варианта производится с помощью критерия

$$E_0 = \left\{ E_{i_0} \mid E_{i_0} \in E \wedge e_{i_0} = \max_i e_i \right\}.$$

Это правило выбора читается следующим образом: множество E_0 оптимальных вариантов состоит из тех вариантов E_{i_0} , которые принадлежат множеству E всех вариантов и оценка e_{i_0} которых максимальна среди всех оценок e_i (логический знак \wedge читается как «и» и требует, чтобы оба связываемых им утверждения были истинны).

Выбор оптимального варианта в соответствии с критерием не является, вообще говоря, однозначным, поскольку максимальный результат может достигаться во множестве всех результатов многократно.

Необходимость выбирать одно из нескольких одинаково хороших решений на практике обычно не создает дополнительных трудностей. Поэтому в дальнейшем мы лишь упоминаем об этой возможности, не занимаясь ею более подробно.

Только что рассмотренный случай принятия решений, при котором каждому варианту решения соответствует единственное внешнее состояние (и тем самым однозначно определяется единственный результат) и который мы называем случаем детерминированных решений, с точки зрения его практических применений является простейшим и весьма частным. Разумеется, такие элементарные структуры лежат в основании реальных процедур принятия решений. В более сложных структурах каждому допустимому варианту решения E_i вследствие различных внешних условий могут соответствовать различные внешние условия (состояния) F и результаты e_{ij} решений.

Под результатом решения e_{ij} здесь можно понимать оценку, соответствующую варианту E_i и условиям F_j и характеризующую экономический эффект (прибыль), полезность или надежность изделия. Мы будем называть такой результат *полезностью решения*.

Семейство решений описывается некоторой матрицей (таблица). Увеличение объема семейства по сравнению с рассмотренной выше ситуацией детерминированных решений связано как с недостатком информации, так и с многообразием технических возможностей.

Таблица Основная формальная структура принятия решений (матрица решений $\|e_{ij}\|$)

	F_1	F_2	F_3	...	F_j	...	F_n
E_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	...	e_{1j}	...	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	...	e_{2j}	...	e_{2n}
E_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	...	e_{3j}	...	e_{3n}
...
E_j	e_{j1}	e_{j2}	e_{j3}	...	e_{ij}	...	e_{jn}
...
E_m	e_{m1}	e_{m2}	e_{m3}	...	e_{mj}	...	e_{mn}

Конструктор и в этом случае старается выбрать решение с наилучшим результатом, но так как ему неизвестно, с какими условиями он столкнется, он вынужден принимать во внимание все оценки e_{ij} , соответствующие варианту E_i . Первоначальная задача максимизации $\max_i e_i$ согласно критерию (2.35) должна быть теперь заменена другой, подходящим образом учитывающей все последствия любого из вариантов решения E_i .

Оценочная функция

Чтобы прийти к однозначному и, по возможности, наивыгоднейшему варианту решения даже в том случае, когда каким-то вариантам решений E_i могут соответствовать различные условия F_j , можно ввести подходящие оценочные (целевые) функции. При этом матрица решений $\|e_{ij}\|$ сводится к одному столбцу. Каждому варианту E_i приписывается, таким образом, некоторый результат e_{ir} , характеризующий в целом все последствия этого решения. Такой результат мы будем в дальнейшем обозначать тем же символом e_{ir} .

Процедуру выбора можно теперь представить по аналогии с применением критерия. Возникает, однако, проблема, какой вложить смысл в результат e_{ir} .

Если, например, последствия каждого из альтернативных решений характеризовать комбинацией из его наибольшего и наименьшего результатов, то можно принять

$$e_{ir} = \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}.$$

Из сказанного вытекает способ построения оценочных функций, приводимый в таблице.

Наилучший в этом смысле результат имеет вид

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left(\min_j e_{ij} + \max_j e_{ij} \right).$$

Теперь решение можно снова искать в соответствии с критерием.

Рассмотрим теперь некоторые другие оценочные функции, которые в данном примере мог бы выбрать конструктор, а также соответствующие им исходные позиции.

Таблица Построение оценочной функции

E_1	e_{1n}
E_2	e_{2n}
E_3	e_{3n}
...	...
E_j	e_{jn}
...	...
E_m	e_{mn}

Оптимистическая позиция: $\max_i e_{ir} = \max_i \left(\max_j e_{ij} \right).$

Позиция нейтралитета: $\max_i e_{ir} = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_{ij} \right).$

Пессимистическая позиция: $\max_i e_{ir} = \max_i \left(\min_j e_{ij} \right).$ Исходя из формулы конструктор приписывает каждому из альтернативных вариантов наихудший из возможных результатов. После этого он выбирает самый выгодный вариант, то есть ожидает наилучшего результата в наихудшем случае.

Позиция относительного пессимизма: $\max_i e_{ir} = \min_i \max_j \left(\max_i e_{ij} - e_{ij} \right).$

Для каждого варианта решения конструктор оценивает потери в результате по сравнению с определенным по каждому варианту наилучшим результатом, а затем из совокупности наихудших результатов выбирает наилучший согласно представленной оценочной функции.

Если условия эксплуатации заранее не известны, ориентируются обычно на наименее благоприятную ситуацию. Влияние исходной позиции конструктора на эффективность результата решения можно интерпретировать исходя из наглядных представлений. Простейшим здесь является графическое изображение на плоскости, для чего мы временно ограничимся случаем с двумя ($n = 2$) внешними состояниями при m

вариантах решения. Полезно, разумеется, чтобы мы уяснили для себя и, руководствуясь дальнейшими построениями, рассмотрели самостоятельно, как обобщается изложенное на случай большего чем два числа состояний, особенно на случай $n = 3$, графически труднее представимый, но хорошо интерпретируемый в пространстве.

Введем теперь прямоугольную систему координат, откладывая по оси абсцисс значения результата решения e_{i1} , соответствующие внешнему состоянию F_1 , а по оси ординат – значения e_{i2} , соответствующие состоянию $F_2, i=1, \dots, m$. В этом случае каждый вариант решения E_i соответствует точке $(e_{i1}, e_{i2}), i=1, \dots, m$ на плоскости. Точку с координатами $(\max_i e_{i1}, \max_i e_{i2})$ мы назовем утопической точкой (УТ). Смысл этого названия в том, что координаты всех точек $(e_{i1}, e_{i2}), i=1, \dots, m$, соответствующих вариантам решений E_1, \dots, E_m , не могут быть больше, чем у точки УТ. Аналогичное значение имеет и так называемая антиутопическая точка (АУТ), имеющая координаты $(\min_i e_{i1}, \min_i e_{i2})$, координаты всех точек $(e_{i1}, e_{i2}), i=1, \dots, m$, соответствующих вариантам решений E_1, \dots, E_m , не могут быть меньше, чем у точки АУТ. Отсюда следует, что все m точек $(e_{i1}, e_{i2}), i=1, \dots, m$ лежат внутри прямоугольника, стороны которого параллельны координатным осям, а противоположные вершины – точки УТ и АУТ; мы называем этот прямоугольник *полем полезности решений*.

Назовем вариант E_i не худшим, чем вариант E_j , если для соответствующих точек (e_{i1}, e_{i2}) и (e_{j1}, e_{j2}) выполняются неравенства $e_{i1} \geq e_{j1}$ и $e_{i2} \geq e_{j2}$. Причем E_i считается лучшим, чем E_j , если хотя бы одно из этих двух неравенств является строгим.

Не любые два варианта решений допускают сравнение в том смысле, что один из них оказывается лучше другого, так как возможно выполняются, например, неравенства $e_{i1} > e_{j1}$ и $e_{i2} < e_{j2}$. Это означает, что на множестве вариантов решений установлено так называемое отношение *частичного порядка*.

Выберем в поле полезности произвольную точку, которую будем называть рассматриваемой (РТ). С помощью прямых, параллельных координатным осям, разобьем плоскость на четыре части и обозначим их I, II, III и IV. Каждая из этих частей имеет вид бесконечного прямоугольника; в случае произвольной размерности они превращаются в так называемые *конусы*.

Все точки из конусов лучше, чем РТ. Потому мы называем конус *конусом предпочтения*. Соответственно все точки из конуса III хуже точки РТ, и мы будем называть область *шантikonусом*. Таким образом, оценка качества точек из этих двух конусов в сравнении с точкой РТ проста и однозначна.

Оценка же точек в конусах II и IV является неопределенной, вследствие чего их называют *областями неопределенности*. Для этих точек оценка получается только с помощью выбранного критерия принятия решения.

Получаем в этом случае на плоскости (u, v) кривую, называемую *функцией предпочтения*.

Все точки из областей неопределенности, лежащие справа и выше этой линии уровня, в смысле нашего критерия лучше точек, лежащих слева и ниже. Сказанное справедливо и для функций предпочтения любого критерия. Всякая функция (кривая) предпочтения объединяет все точки фиксированного уровня; справа и выше ее располагаются все лучшие точки, то есть точки более высокого уровня, а слева и ниже – худшие, то есть точки более низкого уровня. Если на основе какого-либо критерия получается кривая предпочтения типа штриховой (рис.), то мы называем такую кривую вогнутой, подразумевая под этим, что в соответствующих ей областях неопределенности имеется меньшее число лучших точек, чем при нейтральном критерии.

Такая вогнутая кривая предпочтения характеризует пессимистическую исходную позицию. Кривые предпочтения типа сплошной на рис. соответствуют оптимистическому подходу, поскольку на этот раз в сравнении с нейтральным критерием больше точек из областей неопределенности принадлежит к числу лучших; мы называем такие кривые выпуклыми.

Предельный случай пессимистического подхода образуют, очевидно, граничные прямые квадранта I, а оптимистического – граничные прямые квадранта III, и чем ближе подходит кривая предпочтения к этим граничным прямым, тем в большей степени соответствующий критерий представляет пессимистическую или, соответственно, оптимистическую точку зрения.

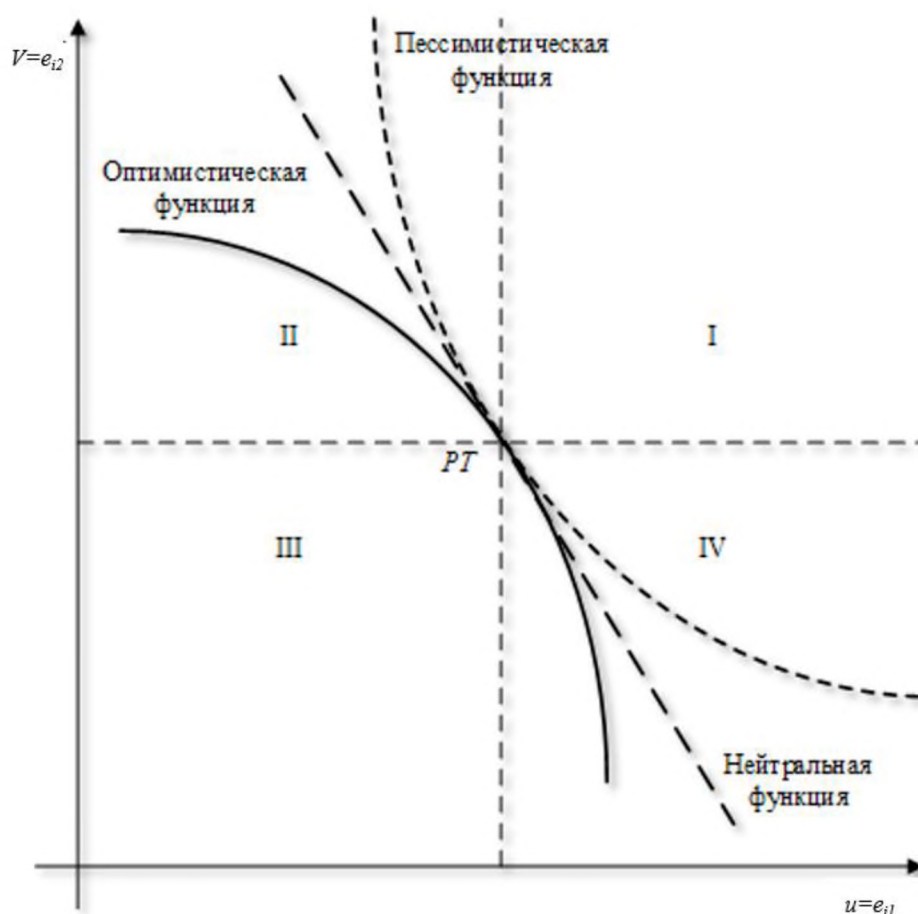


Рис. Функции предпочтения при принятии решений

Таким образом, принятие решения не есть чисто рациональный процесс. Опасность возникает в тех случаях, когда оценочные функции выбираются интуитивно, иногда даже без выяснения исходной позиции принимающего решение.

Всякое техническое или экономическое решение в условиях неполной информации – сознательно или неосознанно – принимается в соответствии с какой-либо оценочной функцией описанного выше типа. При этом выбор оценочных функций всегда должен осуществляться с учетом количественных характеристик ситуации, в которой принимаются решения.

Таблица (mх2)-матрица решений

$E \backslash F$	F_1	F_2
E_1	e_{11}	e_{12}
E_2	e_{21}	e_{22}
E_3	e_{31}	e_{32}
...
E_i	e_{i1}	e_{i2}
...
E_m	e_{m1}	e_{m2}

Фатальная ситуация в принятии решений:

	F_1	F_2	F_3	...	F_j	...	F_n
E_1	E_{11}	E_{12}	E_{13}	...	e_{1j}	...	e_{1n}

Критерии принятия решений

Минимаксный критерий

Минимаксный критерий (*ММ*) использует оценочную функцию (2.40), соответствующую позиции крайней осторожности.

При $Z_{MM} = \max_i e_{ir}$ и $e_{ir} = \min_j e_{ij}$ справедливо соотношение

$$E_0 = \left\{ E_{i_0} \mid E_{i_0} \in E \wedge e_{i_0} = \max_i \min_j e_{ij} \right\}, \text{ где } Z_{MM} - \text{оценочная функция } MM\text{-критерия.}$$

Правило выбора решения в соответствии с *ММ*-критерием можно интерпретировать следующим образом.

Матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом из наименьших результатов e_{ir} каждой строки. Выбрать надлежит те варианты E_{i_0} , в строках которых стоят наибольшие значения e_{ir} этого столбца.

Выбранные таким образом варианты полностью исключают риск. Это означает, что принимающий решение не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется.

Какие бы условия F_j ни встретились, соответствующий результат не может оказаться ниже Z_{MM} . Это свойство заставляет считать минимаксный критерий одним из фундаментальных. Однако положение об отсутствии риска стоит различных потерь.

Продemonстрируем это на небольшом примере (таблица).

Хотя вариант E_1 кажется издали более выгодным, согласно *ММ*-критерию оптимальным следует считать $E_0 = \{E_2\}$. Принятие решения по этому критерию может, однако, оказаться еще менее разумным, если:

- состояние F_2 встречается чаще, чем состояние F_1 , и
- решение реализуется многократно.

Таблица Пример вариантов решения без учета риска

	F_1	F_2	e_{ir}	$\max_i e_{ir}$
E_1	1	100	1	
E_2	1,1	1,1	1,1	1,1

Выбирая вариант E_b , предписываемый *ММ*-критерием, мы, правда, избегаем неудачного значения 1, реализующегося в варианте E_1 при внешнем состоянии F_1 , получая вместо него при этом состоянии немного лучший результат 1,1, зато в состоянии F_2 теряя выигрыш 100 и получая всего только 1,1.

Этот пример показывает, что в многочисленных практических ситуациях пессимизм минимаксного критерия может оказаться очень невыгодным.

Применение *ММ*-критерия бывает оправданно, если ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами:

- о возможности появления внешних состояний F_j ничего не известно;
- приходится считаться с появлением различных внешних состояний F_j ;
- решение реализуется лишь один раз;
- необходимо исключить какой бы то ни было риск, то есть ни при каких условиях F_j не допускается получать результат меньший, чем Z_{MM} .

Критерий Байеса – Лапласа

При построении оценочной функции Z_{MM} (согласно *ММ*-критерию) каждый вариант E_i представлен лишь одним из своих результатов: $e_{ir} = \min_j e_{ij}$.

Критерий Байеса – Лапласа (*BL*) напротив учитывает каждое из возможных следствий.

Пусть q_j – вероятность появления внешнего состояния F_j ; тогда для *BL*-критерия

$$Z_{BL} = \max_i e_{ir}; \quad e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j; \quad E_0 = \left\{ E_{i0} \mid E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \max_i \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j \wedge \sum_{j=1}^n q_j = 1 \right\}.$$

Матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом, содержащим математическое ожидание значений каждой из строк. Выбираются те варианты E_{i0} , в строках которых стоит наибольшее значение e_{ir} этого столбца.

При этом предполагается, что ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами:

- вероятности появления состояний F_j известны и не зависят от времени;
- решение реализуется (теоретически) бесконечно много раз;
- для малого числа реализаций решения допускается некоторый риск.

При достаточно большом количестве реализаций среднее значение постепенно стабилизируется. Поэтому при полной (бесконечной) реализации какой-либо риск практически исключен.

Исходная позиция применяющего *BL*-критерий оптимистичнее, чем в случае *MM*-критерия, однако она предполагает более высокий уровень информированности и достаточно длинные реализации.

Критерий Сэвиджа

Рассмотрим более подробно критерий Сэвиджа, введенный выше соотношением с помощью обозначений $a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}$ и $e_{ir} = \max_j a_{ij} = \max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij})$ формируется

оценочная функция $Z_S = \min_j e_{ir} = \min_i \left[\max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij}) \right]$ и строится множество

$$\text{оптимальных вариантов решения } E_0 = \left\{ E_{i0} \mid E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \min_i e_{ir} \right\}.$$

Для понимания этого критерия величину $a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}$ можно трактовать как максимальный дополнительный выигрыш, который достигается, если в состоянии F_j вместо варианта E_i выбрать другой, оптимальный для этого внешнего состояния вариант.

Мы можем, однако, интерпретировать a_{ij} и как потери (штрафы), возникающие в состоянии F_j при замене оптимального для него варианта на вариант E_i . Тогда величина e_{ir} представляет собой – при интерпретации a_{ij} в качестве потерь – максимальные возможные (по всем внешним состояниям F_j , $(j=1, \dots, n)$) потери в случае выбора варианта E_i . Теперь эти максимально возможные потери минимизируются за счет выбора подходящего варианта E_i . Соответствующее *S*-критерию правило выбора теперь интерпретируется так. Каждый элемент матрицы решений $\|e_{ij}\|$ вычитается из наибольшего результата соответствующего столбца. Разности a_{ij} образуют матрицу остатков $\|a_{ij}\|$. Эта матрица пополняется столбцом наибольших разностей e_{ir} . Выбираются те варианты E_{i0} , в строках которых стоит наименьшее для этого столбца значение. С точки зрения результатов матрицы $\|e_{ij}\|$ *S*-критерий связан с риском, однако с позиций матрицы $\|a_{ij}\|$ он от риска свободен. В остальном к ситуации принятия решений предъявляются те же требования, что и в случае *MM*-критерия.

Применение классических критериев

Из требований, предъявляемых рассмотренными критериями к анализируемой ситуации, становится ясно, что вследствие их жестких исходных позиций они применимы только для идеализированных практических решений.

В случаях когда требуется слишком сильная идеализация, можно одновременно применять поочередно различные критерии. После этого среди нескольких вариантов,

отобранных таким образом в качестве оптимальных, приходится все-таки волевым образом выделять некоторое окончательное решение. Такой подход позволяет, во-первых, лучше проникнуть во все внутренние связи проблемы принятия решений и, во-вторых, ослабляет влияние субъективного фактора.

Критерий Гурвица

Стараясь занять наиболее уравновешенную позицию, Гурвиц предложил критерий (*HW*), оценочная функция которого находится где-то между точками зрения предельного оптимизма и крайнего пессимизма.

Правило выбора согласно *HW*-критерию формулируется нами следующим образом. Матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется столбцом, содержащим средние взвешенные наименьшего и наибольшего результатов для каждой строки (2.53). Выбираются те варианты E_{ij} , в строках которых стоят наибольшие элементы e_{ir} этого столбца.

Для $c = 1$ *HW*-критерий превращается в *MM*-критерий. Для $c = 0$ он превращается в критерий азартного игрока. Чаще всего весовой множитель $c = 0,5$ без возражений принимается в качестве некоторой «средней» точки зрения.

При обосновании выбора применяют обратный порядок действий. Для приглянувшегося решения вычисляется весовой множитель c , и он интерпретируется как показатель соотношения оптимизма и пессимизма. В таблице 2.7 представлена матрица решений, из которой хорошо видно, что выбор в соответствии с *HW*-критерием может, несмотря на вполне уравновешенную точку зрения, приводить к нерациональным решениям.

Критерий Ходжа – Лемана

Критерий Ходжа-Лемана (*HL*) опирается одновременно на *MM*-критерий и *BL*-критерий. С помощью параметра ν выражается степень доверия к используемому распределению вероятностей. Если это доверие велико, то акцентируется *BL*-критерий, в противном случае предпочтение отдается *MM*-критерию.

Правило выбора, соответствующее *HL*-критерию, формулируется следующим образом.

Матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется столбцом, составленным из средних взвешенных (с постоянными весами) математического ожидания и наименьшего результата каждой строки (2.46). Отбираются те варианты решений E_{ij} , в строках которых стоит наибольшее значение этого столбца.

Для $\nu = 1$ *HL*-критерий переходит в *BL*-критерий, а для $\nu = 0$ превращается в *MM*-критерий.

Выбор параметра ν подвержен влиянию субъективизма. Кроме того, без внимания остается и число реализаций. Поэтому *HL*-критерий, как правило, не применяется при принятии технических решений.

Следующие свойства ситуации, в которой принимается решение, предполагаются рассматриваемым критерием:

- вероятности появления состояний F_j неизвестны, но некоторые предположения о распределениях вероятностей возможны;
- принятое решение теоретически допускает бесконечно много реализаций;
- при малых числах реализации допускается некоторый риск.

Критерий Гермейера

Критерий Гермейера с самого начала ориентирован на величину потерь, то есть на отрицательные значения всех e_{ij} .

Поскольку в хозяйственных задачах преимущественно имеют дело с ценами и затратами, условие $e_{ij} < 0$ обычно выполняется. В случае же, когда среди величин e_{ij} встречаются и положительные значения, можно перейти к строго отрицательным значениям с помощью преобразования $e_{ij} - a$ при подходящим образом подобранном $a > 0$. (Следует, однако, иметь в виду, что оптимальный вариант решения зависит от a).

Правило выбора согласно критерию Гермейера (G) формулируется теперь следующим образом.

Матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом, содержащим в каждой строке наименьшее произведение имеющегося в ней результата на вероятность соответствующего состояния F_j . Выбираются те варианты E_{i0} , в строках которых находится наибольшее значение e_{ir} этого столбца.

В известном отношении G -критерий обобщает MM -критерий. В случае равномерного распределения $q_j = 1/n, j = 1, \dots, n$, они становятся идентичными.

Условия его применимости таковы:

- вероятности появления состояний F_j известны;
- с появлением тех или иных состояний, отдельно или в комплексе, необходимо считаться;
- допускается некоторый риск;
- решение может реализоваться один или много раз.

Если функция распределения известна не очень надежно, а числа реализации малы, то, следуя G -критерию, получают, вообще говоря, неоправданно большой риск. Таким образом, здесь остается некоторая свобода для субъективных действий.

Дисциплина (модуль 2)

Модели и инструментальные средства поддержки принятия управленческих решений в организационно-технических системах

Методы и модели сетевого планирования и управления

При управлении разработками сложных программ и системами возникает задача рационального планирования и координации большого комплекса различных работ (операций, действий).

Характерным для сложных комплексов связанных между собой работ является то, что отдельные работы не могут быть выполнены независимо друг от друга, выполнение ряда работ не может быть начато раньше, чем завершены другие.

Системы сетевого планирования и управления (СПУ) обеспечивают системный подход к решению вопросов организации управления, то есть рассмотрение всего комплекса работ как единого неразрывного комплекса взаимосвязанных работ, направленных на достижение общей конечной цели. Логико-математическое описание, формирование планов и управляющих воздействий осуществляются на базе использования особого класса моделей, называемых сетевыми моделями.

Ориентированный граф, в котором существует лишь одна вершина, не имеющая входящих дуг, и лишь одна вершина, не имеющая выходящих дуг, называется сетью. Сеть, моделирующая комплекс работ, называется его сетевой моделью или сетевым графиком. Дуги, соединяющие вершины графа, ориентированы в направлении достижения результата при осуществлении комплекса работ.

Наиболее распространен способ представления моделируемого комплекса работ в понятиях работ и событий.

Понятие «работа» имеет следующие значения:

- действительная работа – процесс, требующий затрат времени и ресурсов;
- фиктивная работа – логическая связь между двумя или несколькими работами, указывающая на то, что начало одной работы зависит от результатов другой. Фиктивная работа не требует затрат времени и ресурсов, продолжительность ее равна нулю.

На сетевых моделях работам соответствуют дуги, причем действительные работы изображаются сплошными линиями, а фиктивные – пунктирными.

Понятие «событие» означает факт получения результата вследствие завершения одной или нескольких работ. Каждая работа заключена между двумя событиями, так как с события, завершающего одну или несколько работ, начинаются другие работы. Событие может наступить только тогда, когда окончатся все предшествующие ему работы.

Событие, с которого начинается выполнение всех работ комплекса, называется исходным. Исходное событие не имеет предшествующих ему работ и событий.

Событие, которым заканчивается весь комплекс работ, называется завершающим. Завершающее событие не имеет последующих работ и событий.

Событие, непосредственно предшествующее работе (с которого начинается работа), называется начальным, а непосредственно следующее за ней (которым заканчивается работа) – конечным.

На сетевой модели событиям соответствуют вершины графа.

Любая последовательность работ в сетевой модели, в которой конечное событие одной работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы, называется путем. Путь от исходного события до завершающего называется полным путем.

Каждой дуге сетевой модели приписывают число, которое называется длиной дуги. Соответственно, длиной пути называется сумма длин последовательности дуг, составляющих данный путь. Длина дуги выражает время, необходимое для выполнения работы, представленной данной дугой. Поэтому длина пути (или продолжительность пути) есть суммарная продолжительность работ, составляющих данный путь.

Начальная информация, необходимая для построения сетевой модели, должна содержать перечень всех работ и последовательность их выполнения, то есть отношения непосредственного предшествования между работами комплекса.

В зависимости от задач управления в системах СПУ применяют различные типы сетевых моделей, отличающиеся составом информации о комплексе работ. Среди них можно выделить два основных типа: модели с учетом только временных характеристик (ограничения на ресурсы не накладываются) и модели с учетом временных и ресурсных характеристик.

Модели первого типа не являются оптимизационными. Но, несмотря на это, их применение в системах СПУ позволяет эффективно решать существенные проблемы управления, а именно – найти минимальное время, в течение которого может быть выполнен весь комплекс, и определить календарные сроки начала и окончания каждой работы комплекса, обеспечивающие выполнение всего комплекса в найденное минимальное время.

Модели второго типа относятся к задачам распределения ресурсов. Эти задачи являются оптимизационными и встречаются в разных постановках. В зависимости от принятого критерия оптимальности и характера ограничений их можно разбить на две основные группы:

- задачи минимизации сроков наступления завершающего события при соблюдении заданных ограничений на использование ресурсов;
- задачи оптимизации некоторого показателя качества использования ресурсов при заданных сроках выполнения комплекса. К этой группе относится, в частности, задача минимизации ресурсов при заданном времени выполнения комплекса.

Основной временной характеристикой комплекса работ и каждой отдельной работы является их продолжительность. Оценки продолжительности выполнения отдельных работ могут быть детерминированными и вероятностными. В первом случае сетевая модель называется детерминированной, во втором – вероятностной.

Сетевые модели могут быть также смешанными, поскольку для некоторых работ могут существовать детерминированные оценки, а для некоторых вероятностные.

Первичные сетевые модели представляют собой детализированные изображения частей комплекса и состоят из ответственных исполнителей работ. Частные сетевые модели строятся на основе первичных. Сшивание частной модели заключается в объединении первичных моделей в общую модель, завершающее событие (события) которой соответствует заданной частной цели (целям). Для сшивания частной модели необходимо строго установить идентичность граничных событий в первичных сетевых моделях.

Комплексная (сводная) сетевая модель охватывает все работы комплекса. Сшивание комплексной модели производится аналогично сшиванию частных моделей.

На высоких уровнях управления неудобно пользоваться детализированными сетевыми моделями, поэтому производится их укрупнение. При укрупнении модели должны соблюдаться следующие правила:

- участок модели (группа взаимосвязанных работ) может быть заменен одной укрупненной работой, если этот участок имеет одно исходное и одно завершающее событие. Продолжительность такой укрупненной работы равна продолжительности критического пути данной группы работ;

- нельзя вводить в укрупненную модель события, которых нет в детализированной модели;

- исходное и завершающее события в детализированной и укрупненной моделях должны иметь одинаковый смысл;

- объединять в одну работу следует только такие группы работ, которые закреплены за одним ответственным исполнителем.

Формы представления сетевой модели. Параметры сетевой модели

Исходная информация для модели включает сеть, продолжительности t_{ij} всех работ (i, j) , момент начала выполнения комплекса T_0 , а также может содержать (но не обязательно) директивный срок $T_{дир}$ наступления завершающего события. Продолжительности работ задаются как детерминированные неотрицательные величины.

Одна из основных задач управления состоит в составлении плана выполнения комплекса работ. Параметрами плана, определяемыми с помощью сетевой модели, являются лишь временные характеристики: моменты начала и окончания каждой работы и всего комплекса работ. Их называют параметрами сетевой модели.

Важнейшим параметром является критическое время $T_{кр}$ – минимальное время, за которое может быть выполнен весь комплекс. Критическому времени соответствует критический путь $L_{кр}$, то есть полный путь, продолжительность которого и составляет критическое время: $t(L_{кр})=T_{кр}$. Очевидно, что продолжительность любого другого полного пути равна или меньше критического времени $T_{кр}$, поэтому критический путь можно определить как путь, имеющий максимальную продолжительность.

Работы, лежащие на критическом пути, называются критическими работами. Именно они определяют время выполнения комплекса в целом, поэтому ход их выполнения имеет особую важность при управлении выполнением всего комплекса.

В плане выполнения всего комплекса должны быть определены моменты наступления всех событий, начала и окончания работ. Как правило, эти моменты устанавливаются не однозначно, а располагаются в некотором диапазоне. При анализе сетевой модели определяются параметры, ограничивающие эти диапазоны.

Исходное, завершающее событие, а также все события, лежащие на критическом пути, резервами времени не располагают. Отсюда простой способ нахождения критического пути: определить события, не имеющие резерва времени, через них и пройдет критический путь.

Для работ можно рассматривать различные виды резервов, из которых наиболее важными являются:

- полный резерв, представляющий максимальное время, на которое можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы (i, j) , не изменяя срок наступления завершающего события;

- свободный резерв, представляющий собой максимальное время, на которое можно отсрочить начало или увеличить продолжительность работы, не изменяя при этом ранние сроки наступления всех следующих событий.

Полный резерв времени работы принадлежит всему пути, на котором эта работа лежит. Если этот резерв использовать полностью для увеличения длительности данной работы или какой-либо другой работы данного пути, то остальные работы пути останутся без резервов.

Работы, у которых полный резерв отличается от полного резерва критических работ (то есть от $r_{ij}^{(n)}=0$) не более чем на заданную величину δ , называются подкритическими. При небольших отклонениях в сроках выполнения подкритические работы становятся критическими, поэтому при управлении комплексом нужно наряду с критическими уделять особое внимание и подкритическим работам.

Множество всех критических и подкритических работ называют критической зоной комплекса.

Методы расчета временных характеристик. Матричный, табличный и графический методы

Для расчета параметров сетевых моделей применяют следующие три метода:

- метод вычислений непосредственно на сетевом графике;
- матричный метод;
- табличный метод.

Метод вычислений на сетевом графике. Предварительно каждый кружок, изображающий вершину графика (событие), делится на четыре сектора: в верхний сектор записывается номер события k , в левый – значение $T_k^{(p)}$, в правый – $T_k^{(n)}$, а в нижний – $R_k = T_k^{(n)} - T_k^{(p)}$.

Согласно формуле ранний срок наступления данного события определяется как сумма раннего срока непосредственно предшествующего события и длины дуги (продолжительности работы), которая их соединяет.

Если к событию подходят две или большее число дуг, то вычисляют указанные суммы для каждой из входящих дуг; максимальная из сумм и есть ранний срок наступления данного события, который записывается в левый сектор.

Расчет ведется последовательно от исходящего события к завершающему.

При расчете параметров сетевой модели непосредственно на графике можно не нумеровать события так, чтобы выполнялось условие $i < j$ для любой дуги (i, j) .

Матричный метод. Метод сводится к простым формальным операциям над величинами t_{ij} без необходимости обращаться к графику.

Представим сетевой график в виде матрицы смежности, но вместо единиц запишем соответствующие значения t_{ij} . В результате получим таблицу.

Таблица может быть составлена как по сетевому графику, так и по упорядоченному перечню событий и работ.

Табличный метод в принципе не отличается от изложенных методов и преимуществ перед ними не имеет.

Сетевое моделирование в условиях неопределенности

Теперь обратимся к сетевым моделям, у которых продолжительности работ являются случайными величинами. В этом случае продолжительность критического пути также является случайной величиной; сохраним за ней обозначение $T_{кр}$.

Исходная информация таких моделей содержит сеть, законы распределения вероятностей величин t_{ij} (или вероятностные оценки a_{ij}, b_{ij}, m_{ij}) и (но не обязательно) директивный срок наступления завершающего события $T_{дир}$.

Основными задачами анализа этих моделей являются:

- определение среднего значения и дисперсии критического времени $T_{кр}$;
- определение закона распределения величины $T_{кр}$;
- определение таких сроков наступления событий, которые с заданной вероятностью не будут превышены;
- определение законов распределения для моментов наступления событий;
- определение вероятности прохождения критического пути через данную работу или совокупность работ.

Вероятностный анализ для завершающего события особенно важен, так как характер распределения случайного реального завершения комплекса работ по отношению к

директивному сроку может существенно влиять на принятые решения при управлении выполнением комплекса.

Сглаживание потребности в ресурсах. Граф Ганта. Транспортные сети.

Оптимизация потоков в транспортных сетях

Приведем несколько определений, относящихся к структуре множества M , упорядоченного некоторым отношением порядка A . *Мажорантой (верхней границей)* подмножества $Q \in M$ называют такой элемент $t \in M$, что для всех $q \in Q$ справедливо соотношение qAt . *Минорантой (нижней границей)* подмножества $Q \in M$ называют такой элемент $n \in M$, что для всех $q \in Q$ справедливо соотношение nAq .

Если мажоранта t (миноранта a) принадлежит Q , то t называют *максимумом* (n называют *минимумом*) множества Q и обозначают $\max Q$ ($\min Q$). Максимум, как и минимум, если он существует, единственен; поэтому, когда говорят о минимуме или максимуме множества Q , имеют в виду вполне определенный элемент.

Множество $Q \in M$ может иметь много мажорант и минорант. Если множество мажорант (минорант) имеет минимум (максимум), то этот элемент единственен. Его называют *верхней (нижней) гранью* или *супремумом (инфинумом)* множества Q и обозначают $\sup Q$ ($\inf Q$). Отношению порядка соответствует матрица, у которой главная диагональ заполнена единицами (рефлексивность). Кроме того, ни один единичный элемент не имеет симметричного относительно главной диагонали (антисимметричность).

Матрица отношения строгого порядка отличается тем, что все элементы главной диагонали нулевые (антирефлексивность), а квазипорядка – допустимостью симметричных единичных элементов.

Граф нестрогого порядка не содержит параллельных и противоположно направленных дуг, с каждой вершиной связана петля, а также все вершины любого пути попарно связаны между собой дугами в направлении этого пути. Граф строгого порядка отличается тем, что отсутствуют петли, а граф квазипорядка – тем, что допускает параллельные и противоположно направленные дуги.

Так как отношение порядка транзитивно, то его граф обычно заменяется графом редукции, причем в графе нестрогого порядка петли не изображаются. Граф квазипорядка можно упростить, заменив его графом строгого порядка на множестве вершин, соответствующих классам эквивалентности. При этом каждая такая вершина изображает все множество элементов данного класса.

Вероятностные модели систем

Марковская задача принятия решений. Вероятностная модель на основе ориентированного графа состояний системы

Вероятностные (стохастические) модели используются для исследования таких систем, процесс функционирования которых определяется случайными факторами. Учет случайных факторов является обязательным при исследовании процессов применения, эксплуатации, ремонта и обеспечения технических комплексов; при оценке их эффективности, разработке автоматизированных систем управления; обосновании технических требований к системам и т.д.

Мощным средством разработки и исследования вероятностных моделей является аппарат теории марковских случайных процессов, в развитие которого внесли большой вклад русские и советские ученые А.А. Марков, А.Я. Хинчин, Н.П. Бусленко, И.Н. Коваленко, Б.В. Гнеденко, Ю.В. Прохоров и многие другие.

В данной главе рассматриваются дискретные системы с непрерывным временем. Возможные состояния такой системы S_0, S_1, S_2, \dots можно перечислить (перенумеровать), а переход ее из одного состояния в другое возможен в любой, наперед неизвестный случайный момент времени, причем этот переход осуществляется скачком (мгновенно). Число состояний системы может быть как конечным, так и бесконечным (но счетным).

Множество $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots\}$ возможных состояний системы и множество возможных ее переходов из одного состояния в другое удобно представлять в виде ориентированного графа, вершинам которого соответствуют состояния системы, а дугам – возможные переходы, причем направление дуги указывает, из какого состояния и в какое возможен переход системы. Процесс функционирования системы в данном случае можно представить как случайное перемещение (блуждание) точки, изображающей систему, по графу состояний. Характерной особенностью стохастических систем является то, что для любого момента времени t нельзя однозначно указать, в каком из состояний находится система, а можно определить только распределение вероятностей для состояний, то есть определить значения вероятностей $P_k(t)$ того, что в момент времени система находится в состоянии S_k .

Множество S можно определить, во-первых, как множество допустимых комбинаций возможных состояний элементов системы. Важными при этом являются анализ и учет взаимосвязей между элементами системы.

Во-вторых, каждое состояние системы можно охарактеризовать численными значениями одного или нескольких ее параметров, то есть множество возможных комбинаций численных значений параметров системы. Этот подход более целесообразен, так как набор параметров, характеризующих состояние системы, определяют не только исходя из природы системы, но и с учетом цели проводимого исследования.

Оба указанных подхода не исключают, а, наоборот, дополняют друг друга, так как на основе анализа возможных состояний элементов системы можно определить ее параметры.

Чтобы выявить и описать закономерности перехода системы из одного состояния в другое, каждый переход удобно рассматривать как результат воздействия на систему некоторого случайного потока событий.

Поток – это последовательность однородных событий, следующих одно за другим в случайные моменты времени (например, поток отказов технических систем; поток сообщений, поступающих в АСУ, и т.п.).

Наиболее важными свойствами потоков являются: стационарность, ординарность и отсутствие последействия.

Стационарность потока означает, что его вероятностные характеристики не зависят от времени. Важнейшей характеристикой потока является его интенсивность λ – среднее число событий в единице времени.

Для стационарного потока $\lambda = const$, а для нестационарного $\lambda = \lambda(t)$ – функция времени.

Ординарность потока означает практическую невозможность появления двух и более событий в один и тот же момент времени.

Отсутствие последействия означает, что события появляются в потоке независимо друг от друга, то есть вероятность появления определенного числа событий за некоторый произвольно выбранный промежуток времени не зависит от того, сколько событий произошло раньше (не зависит от предыстории изучаемого потока).

Поток событий, обладающий всеми тремя свойствами, называется простейшим, или стационарным пуассоновским потоком.

Таким образом, закон распределения интервалов времени между событиями простейшего потока является экспоненциальным (показательным).

Математическое ожидание M_t (средняя длительность интервала между событиями), дисперсия D_t и среднее квадратическое отклонение σ_t случайной величины, распределенной по показательному закону.

Экспоненциальное распределение обладает замечательным свойством «не помнить о прошлом»: если рассматриваемый промежуток времени уже «длился» некоторое время, то это никак не влияет на закон распределения оставшейся части этого промежутка. Это означает, что вероятность появления события в течение некоторого интервала времени не зависит от того, сколько времени прошло после появления предыдущего события, а

среднее время ожидания этого события также не зависит от того, с какого момента времени мы его ожидаем.

Простейшие потоки событий довольно часто встречаются на практике, так как суммарный поток, образующийся при взаимном наложении достаточно большого числа стационарных и ординарных потоков с последствием (что часто имеет место на практике), является простейшим.

Можно доказать следующее утверждение: если все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, пуассоновские, то процесс функционирования системы представляет собой марковский процесс с непрерывным временем. Отличительной особенностью марковского процесса является то, что вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в настоящем и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние. Понятие «марковский процесс» ввел советский математик А.Н. Колмогоров в честь русского ученого А.А. Маркова (1856–1922), внесшего большой вклад в теорию случайных процессов.

Уравнения Колмогорова для вероятностей состояния. Предельные переходы системы из состояния в состояние

На практике часто наибольший интерес представляет поведение системы в установившемся режиме при $t \rightarrow \infty$. Здесь сразу же возникает вопрос, как поведут себя вероятности $P_k(t)$ при $t \rightarrow \infty$, стремятся ли они к каким-либо пределам, существует ли в системе некоторый установившийся (стационарный) режим.

Предельные вероятности существуют и не зависят от начального состояния системы, если граф ее состояний конечен и существует маршрут между любой парой его вершин, то есть система может перейти из каждого состояния в любое другое за конечное число шагов. Такие системы называют эргодическими.

Предельная вероятность P_k – это средняя доля времени, в течение которого система находится в состоянии S_k .

Модели массового обслуживания

Основные компоненты моделей массового обслуживания

Основными признаками реальной системы, позволяющими рассматривать ее как своеобразную СМО, являются:

- наличие объектов, нуждающихся в случайные моменты времени в обслуживании (в выполнении некоторых работ над собой или для себя); эти объекты порождают так называемый входящий поток заявок (требований) на обслуживание;
- наличие объектов, которые производят обслуживание и называются обслуживающими приборами (каналами);
- возникновение задержек в обслуживании (образование очереди).

В качестве своеобразных СМО могут рассматриваться: системы связи и ремонта; пункты технического обслуживания; вычислительные центры и отдельные ЭВМ; автоматизированные производственные цехи, поточные линии; транспортные системы; системы материального обеспечения.

Для задания СМО необходимо указать: входящий поток заявок, множество обслуживающих приборов и дисциплину обслуживания.

При аналитическом исследовании СМО чаще всего предполагают, что входящий поток – простейший поток событий интенсивности λ . Часто заявку отождествляют с ее материальным носителем: поток приборов, агрегатов, машин, поступающих на ремонт; поток отчетов, поступающий в вычислительный центр и т.д.

Обслуживающий прибор (канал) – это материальный объект или совокупность объектов, одновременно участвующих в обслуживании заявки. В каждый момент времени прибор может обслуживать только одну заявку.

Основным параметром обслуживающего прибора является среднее время обслуживания одной заявки $\bar{t}_{обсл}$ или производительность прибора $\mu = 1/\bar{t}_{обсл}$. Под временем

обслуживания $t_{обсл}$ всегда будем понимать время от момента начала обслуживания заявки до момента готовности прибора к обслуживанию очередной заявки.

При аналитическом исследовании СМО обычно полагают, что $t_{обсл}$ – случайная величина, распределенная по показательному закону.

Таким образом, каждый обслуживающий прибор при непрерывной работе порождает поток обслуженных заявок интенсивности μ .

Общая характеристика СМО. Роль пуассоновского и экспоненциального распределений в теории СМО

Отсутствие последствия в данном случае означает, что вероятность завершения обслуживания заявки в любой момент времени не зависит от того, сколько времени оно уже продолжалось.

В зависимости от числа обслуживающих приборов и характера взаимосвязи между ними в процессе обслуживания заявок различают одноканальные и многоканальные, однофазные и многофазные системы.

Если обслуживание заявки должно осуществляться последовательно несколькими приборами, то такие системы называются многофазными. Схема одноканальной многофазной (трехфазной) СМО изображена на рис. 3.7. Заявка считается обслуженной системой, если она прошла все фазы обслуживания. Типичными примерами многофазных СМО являются технологические потоки сборки (ремонта) приборов, агрегатов или машин.

Дисциплина обслуживания – это совокупность правил поведения заявки от момента ее поступления в систему до момента прекращения обслуживания. К основным правилам обслуживания относятся: выбор свободного прибора, назначение очередной заявки на обслуживание и дисциплина очереди.

Выбор свободного прибора может осуществляться:

- случайным образом (например, с равной вероятностью);
- в порядке нумерации (наибольший или наименьший номер);
- в зависимости от времени нахождения прибора в состоянии «свободен» (наименьшее или наибольшее время).

В основе правил назначения очередной заявки на обслуживание лежит или фактическое время ожидания или остающаяся часть времени ожидания. Частными случаями являются:

- равновероятное поступление на обслуживание любой заявки из очереди;
- строгая очередность – заявки к обслуживанию назначаются в порядке поступления;
- обратная очередность – «последним пришел – первым обслуживается».

Иногда назначение на обслуживание происходит по некоторой системе приоритетов.

Дисциплина очереди определяет, в каких случаях заявка становится в очередь и когда она покидает систему, и задается в виде ограничений, накладываемых на параметры СМО: длина очереди (максимально допустимое число заявок в очереди m), время ожидания заявки в очереди $t_{ож}$ или время пребывания заявки в системе $t_c (t_c = t_{ож} + t_{обсл})$.

Ограничение времени ожидания (пребывания) означает, что заявка может ожидать обслуживания (находиться в СМО) какое-то время, не превышающее некоторой случайной величины $\tau_{ож}(\tau_c)$.

Эти ограничения определяют поток заявок, уходящих из очереди (системы) необслуженными. Обычно предполагают, что этот поток – простейший поток событий.

В зависимости от совокупности ограничений, накладываемых на параметры СМО, различают:

- СМО с отказами – образование очереди не допускается; заявка, заставшая все приборы занятыми, покидает систему;
- чистая СМО с ожиданием – любая заявка, поступившая в систему, будет рано или поздно обслужена (на параметры СМО ограничения не накладываются);

– смешанные СМО – накладывается ограничение на один из параметров: m – СМО с конечной очередью, $t_{ож}(t_c)$ – СМО с ограниченным временем ожидания (пребывания) или одновременно на параметры m и $t_{ож}(t_c)$.

Главная задача исследования СМО – установление связи между параметрами системы (n – число каналов, m , λ , μ , ν) и показателями ее эффективности.

Для решения этой задачи прежде всего необходимо построить математическую модель системы.

Математическая модель одноканальной однофазной СМО.

Показатели ее эффективности

Состояние однофазной СМО в любой момент времени полностью определяется числом заявок k , находящихся в ней. Действительно, если $k \leq n$, то k заявок находятся на обслуживании, очереди нет; k приборов заняты обслуживанием заявок, а $n - k$ приборов свободны. Если $k > n$, то все приборы заняты (n заявок обслуживается), а $k - n$ заявок находится в очереди.

Величина k может принимать значения $k=0, 1, 2, \dots, N$, где $N = n + m$, причем для СМО с отказами $m=0$, а для систем с неограниченной очередью $m \rightarrow \infty$.

Увеличение числа заявок в системе (переход из состояния S_k в состояние S_{k+1}) происходит под воздействием потока заявок интенсивности λ , которая не зависит от k , то есть $\lambda_{k,k+1} = \lambda$.

Уменьшение числа заявок в системе (переход из состояния S_k в состояние S_{k-1}) происходит в общем случае под воздействием потока обслуживания интенсивности μ и потока уходов заявок из очереди (системы) интенсивности ν , причем $\lambda_{k,k+1} = f(k, n, \mu, \nu)$, а вид этой функции определяется типом СМО.

Определим предельные вероятности состояний P_k для СМО с конечным числом состояний. Для СМО P_k – это вероятность того, что в произвольный момент времени в системе находится ровно k заявок.

В СМО с конечным числом состояний всегда имеет место стационарный режим, так как между любыми двумя вершинами графа существует маршрут.

Показатели эффективности

Эффективность СМО характеризует ее приспособленность к выполнению задач по обслуживанию заявок. Показатель эффективности – это количественная мера эффективности, определяющая степень соответствия результатов функционирования СМО целям (задачам), стоящим перед системой.

Рассмотрим наиболее часто используемые показатели эффективности СМО.

1. **Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$** – вероятность того, что поступившая в систему заявка не будет обслужена.

2. **Абсолютная пропускная способность СМО Q** – это среднее число заявок, обслуживаемых системой в единицу времени. Для оценки потенциальных возможностей СМО по обслуживанию заявок используется номинальная пропускная способность системы.

3. **Относительная пропускная способность q** – это средняя доля заявок, обслуживаемых системой.

4. **Среднее число занятых приборов**

5. **Средняя длина очереди L** – математическое ожидание числа заявок, ожидающих обслуживания.

6. **Среднее время ожидания обслуживания $\bar{t}_{ож}$** – математическое ожидание времени пребывания заявки в очереди.

7. **Среднее время пребывания заявки в системе**

8. **Экономическая эффективность СМО** может быть оценена средней прибылью, получаемой в единицу времени при функционировании системы:

Выбор показателя для оценки эффективности конкретной СМО определяется как особенностями системы (ее типом) и ее назначением, так и задачами проводимого исследования.

СМО с конечной очередью

СМО с конечной очередью длины m характеризуется тем, что при поступлении очередной заявки возможны три исхода:

- заявка немедленно принимается на обслуживание, если в системе в данный момент находится k заявок и $k < n$;
- заявка становится в очередь, если $n \leq k < n+m$;
- заявка получает отказ и покидает систему, если $k = n+m$.

Увеличение числа заявок в системе происходит только под воздействием потока заявок интенсивности λ , а уменьшение числа заявок в системе – только в результате завершения обслуживания одной из заявок.

1. Вероятность отказа в обслуживании – это вероятность того, что в СМО имеется $n+m$ заявок.

2. Вероятность того, что поступившая в систему заявка застанет все каналы занятыми,

3. Средняя длина очереди

4. Среднее время ожидания в очереди определяется как математическое ожидание.

СМО с отказами

СМО с отказами является частным случаем СМО с конечной очередью при $m=0$. Показатели эффективности СМО с отказами:

- *вероятность простоя всех обслуживающих приборов.*
- *вероятность того, что в системе находится k заявок.*
- *вероятность отказа в обслуживании*
- *абсолютная и относительная пропускные способности системы и среднее число занятых приборов.*

Советский ученый Б.А. Севастьянов доказал, что формулы Эрланга справедливы при любом законе распределения времени обслуживания, но при конечном и постоянном значении его математического ожидания.

Чистые СМО с ожиданием. Смешанная система массового обслуживания. Особенности применения

Чистая СМО с ожиданием характеризуется тем, что любая заявка, поступившая в систему, будет обязательно обслужена ($P_{отк}=0$).

Показатели эффективности чистой СМО с ожиданием:

- *относительная и абсолютная пропускные способности системы*
- *среднее число занятых каналов*
- *вероятность того, что заявка, поступившая в систему, будет ожидать обслуживания*
- *средняя длина очереди,*
- *среднее время ожидания*
- *вероятность пребывания заявки в очереди более t*

Смешанные системы массового обслуживания

СМО с ограниченным временем ожидания характеризуется тем, что уменьшение числа заявок в ней происходит как в результате завершения обслуживания одной из заявок, так и в результате ухода заявок из очереди с интенсивностью ν .

Определим основные показатели эффективности системы:

- *средняя длина очереди*
- *абсолютная пропускная способность*

- относительная пропускная способность
- вероятность отказа в обслуживании
- среднее число занятых приборов
- вероятность того, что любая заявка будет обслужена,

СМО с ограниченным временем пребывания характеризуется тем, что заявка может уйти необслуженной как из очереди, так и после начала обслуживания. Интенсивность перехода данной системы из состояния S_k в S_{k-1} (уменьшения числа заявок).

Особенности применения моделей массового обслуживания

Рассмотренные модели массового обслуживания находят широкое применение при исследовании надежности технических систем, организации их эксплуатации и использования по назначению, а также при анализе и синтезе автоматизированных систем управления.

При решении прикладных задач необходимо, прежде всего, правильно определить, насколько аппроксимирующие предположения, принятые при разработке математических моделей СМО, приемлемы для реальной системы и каким образом ее специфические особенности можно учесть в типовой модели.

Основными аппроксимирующими предположениями при разработке моделей СМО были предположения о том, что все потоки событий являются простейшими. Широкое использование указанных предположений обусловливается следующими факторами.

1. Простейший поток событий, как уже отмечалось, носит предельный характер и поэтому часто встречается в практических задачах.

2. Простейший поток заявок ставит СМО в наиболее тяжелые условия. И.Н. Коваленко показал, что система, рассчитанная на обслуживание простейшего потока, будет обслуживать любой другой поток с одинаковой интенсивностью более надежно.

3. При простейшем потоке заявок показатели эффективности СМО с отказами и ограниченным временем ожидания практически не зависят от вида закона распределения времени обслуживания, а определяются его средним значением. Показатели эффективности реальной СМО при простейшем потоке заявок не хуже значений этих показателей, вычисленных в предположении об экспоненциальном распределении времени обслуживания.

4. При указанных предположениях можно получить аналитическую модель системы и на основе ее исследования найти ее оптимальные параметры. Простая модель позволяет разобраться в основных закономерностях явления, наметить «ориентиры» для построения статистической модели системы, позволяющей учесть те особенности реальной системы, которые трудно (или невозможно) учесть при аналитическом исследовании. Сочетание простых аналитических моделей и статистического моделирования вероятностных систем на ЭВМ – один из основных методов современного научного исследования.

При решении прикладных задач всегда необходимо учитывать возможность использования результатов исследования стационарного режима для оценки эффективности системы на конечных интервалах времени. Характеристики стационарного режима с достаточной для практики точностью можно использовать для процессов длительностью $(3-4) \cdot 1/\mu$.

Все рассмотренные модели СМО относятся к классу так называемых разомкнутых систем, в которые поступает неограниченный поток заявок, и его параметры не зависят от процесса обслуживания. Однако на практике часто встречаются системы, когда поток заявок ограничен и его параметры зависят от процесса обслуживания (замкнутые системы).

Задачи, решаемые с помощью моделей СМО, можно разделить на два основных класса. К первому классу относятся задачи анализа эффективности систем и определения числа обслуживающих приборов, обеспечивающих требуемые значения показателей ее эффективности. Ко второму классу относятся задачи определения числа и типа (производительности) обслуживающих приборов.

Модели управления запасами

Постановка задачи управления запасами

Важнейшим условием успешного функционирования экономических, технических систем различного назначения является своевременное обеспечение их соответствующими материальными ресурсами (товарами, сырьем, комплектующими элементами, горюче-смазочными материалами, транспортными средствами и т.д.). Качественное решение этой задачи предполагает создание запасов.

В большинстве случаев либо физически невозможно, либо экономически нецелесообразно полностью совмещать объем и сроки поставки материальных ресурсов с моментами возникновения потребности в них. Первый случай имеет место тогда, когда расход ресурса носит случайный характер, а пополнение возможно только в дискретные моменты времени или длительность интервала между моментом подачи заявки на материальные ресурсы и моментом их поступления представляет случайную величину. Второй случай имеет место тогда, когда затраты на поставки ресурсов соизмеримы с затратами на создание запасов, их хранение и обслуживание.

Система управления запасами (СУЗ) – это совокупность баз сосредоточения запасов (складов, пунктов хранения) и обслуживающих организации подразделений, связанных между собой линиями связи и транспортными средствами. При анализе и синтезе СУЗ необходимо учитывать: структуру системы и ее параметры, свойства предметов запаса, характер спроса и характер пополнения.

Структура СУЗ – это совокупность взаимосвязей и отношений между ее элементами. Она определяется числом уровней, характером взаимосвязи между складами и организацией управления.

По числу уровней различают однокаскадные и эшелонированные (многокаскадные) системы. В однокаскадных системах непосредственно обслуживают потребителей все склады, а в эшелонированных – только склады первого уровня. Запас склада k -го уровня предназначен для пополнения запасов склада $k-1$ -го уровня и может использоваться для обслуживания потребителей, если отсутствуют запасы на складах низших уровней. Пополнение склада старшего уровня производится из источника снабжения, который обладает неограниченным запасом.

Классификация СУЗ. Алгоритм решения задач

Управление в СУЗ может быть децентрализованным и централизованным. В первом случае заказы подаются в направлении, обратном движению запасов, а во втором – вся информация о наличии запасов, их расходовании и пополнении сосредоточивается в едином центре управления. Централизованное управление характерно для автоматизированных СУЗ.

Предметы запасов. В зависимости от количества хранимых на складах номенклатур различают однономенклатурные и многономенклатурные системы. В последнем случае необходимо учитывать наличие «взаимосвязи» между номенклатурами (изделия разных типов могут заменять друг друга, дополнять друг друга и т.д.).

Своеобразной формой «взаимосвязи» между номенклатурами является наличие в СУЗ предметов запаса в различной степени готовности к удовлетворению заказов потребителей (сырье, полуфабрикаты, частично собранные узлы, готовые к использованию предметы запаса).

Важной характеристикой предметов запаса является стабильность их свойств. Различают системы с наличием и отсутствием естественной убыли запасов. Например, запасные части для технических систем могут отказывать в период их хранения.

Спрос характеризуется моментами времени, в которые он возникает, и объемом. Каждая из этих величин может быть либо детерминированной, либо случайной. Детерминированность спроса определяется ролью случайных факторов в процессе расходования материальных ресурсов. Если роль случайных факторов относительно невелика (например, для завода с жесткой производственной программой), то спрос

можно считать детерминированным. В противном случае имеет место вероятностный спрос. Как детерминированный, так и вероятностный спросы могут быть стационарными или нестационарными, непрерывными или дискретными.

Характер пополнения. Системы, в которых предусматривается пополнение запасов, называют системами с неограниченным запасом (источник снабжения неисчерпаем). Если пополнение не предусматривается, имеем систему с ограниченным запасом.

При анализе процессов пополнения запасов необходимо учитывать задержки поставки во времени относительно момента подачи заказа, способ ликвидации недостат и тип стратегии управления запасами. По первому признаку различают системы с мгновенной поставкой (задержка отсутствует или пренебрежимо мала), с задержкой на фиксированный срок и с задержкой на случайный интервал времени.

Недостачи ликвидируются или путем экстренной поставки из уровня, в котором имеются требуемые предметы запаса, или из источника снабжения, или путем накопления заявок до очередной поставки.

Стратегия управления запасами – это совокупность правил, в соответствии с которыми определяется момент подачи заказа и его объем. Определение стратегии управления запасами и ее параметров является основной задачей теории управления запасами.

Эта стратегия удобна в автоматизированных СУЗ.

Совокупность рассмотренных классификационных признаков определяет тип системы управления запасами, объем задач, решаемых при их синтезе, и математические методы исследования.

Из общей характеристики основных компонентов СУЗ (структура, предметы запаса, спрос, пополнение запасов) следует, что при их создании необходимо определить структуру системы (число уровней, число и места расположения складов, способ управления и характер взаимосвязи между складами), способы пополнения запасов и ликвидации недостат, тип стратегии управления запасами и ее параметры.

Структуру системы и ее параметры, а также способ ликвидации недостат определяют, как правило, на основе накопленного опыта функционирования подобных СУЗ с учетом взаимосвязей между потребителями запасов и важности решаемых ими задач.

В настоящее время в теории управления запасами наиболее полно разработаны вопросы определения параметров стратегии управления запасами для заданных условий спроса и пополнения.

Решение этой задачи включает два основных этапа.

На первом этапе определяют функцию затрат, связанных с реализацией данной стратегии, а на втором – выбирают такие значения параметров стратегии, при которых функция затрат достигает минимума, то есть находят оптимальные параметры стратегии.

Функция затрат представляет собой затраты, связанные с функционированием СУЗ в течение некоторого периода или в единицу времени.

При определении c_n учитывают постоянную составляющую и составляющие, пропорциональные суммарному объему заказа и количеству заказываемых номенклатур.

При определении издержек хранения учитывают стоимость складских помещений; расходы на содержание обслуживающего персонала; потери от естественной убыли запасов; убытки от снижения потребительских качеств запасов; потери от омертвления средств, вложенных в запасы.

В большинстве случаев при аналитическом исследовании предполагают, что издержки хранения пропорциональны среднему запасу и времени его существования.

Величина штрафа зависит от самого факта возникновения недостат, величины дефицита и времени его существования. Характер зависимости величины штрафа от указанных параметров может быть самым разнообразным.

Функция затрат является показателем экономической эффективности СУЗ. Однако, во-первых, показатель экономической эффективности не всегда является определяющим,

а во-вторых, в некоторых случаях через функцию затрат невозможно достаточно полно учесть все факторы, связанные с созданием запасов и возникновением дефицита.

Указанные обстоятельства являются типичными для медицинских СУЗ, когда величина ущерба, связанного с недостаточностью материальных ресурсов, связана со здоровьем людей. Поэтому для оценки эффективности СУЗ используют и такие показатели как вероятность возникновения дефицита, величина возможного дефицита или среднее время его существования. В этих случаях задача оптимального управления запасами заключается в определении стратегии (или ее параметров), минимизирующей затраты на создание и функционирование СУЗ при заданном значении одного из указанных показателей.

Возможна также постановка и обратной задачи – определить стратегию управления запасами и ее параметры так, чтобы при ограниченном количестве средств, выделенных на создание и функционирование СУЗ, вероятность возникновения дефицита (объем дефицита или среднее время его существования) была минимальной.

Следует отметить, что определение допустимых (требуемых) значений указанных показателей представляет самостоятельную, достаточно сложную задачу.

В некоторых случаях эти величины можно определить исходя из требуемой эффективности систем, которые используют создаваемые запасы.

При решении задач оптимального управления запасами необходимо также учитывать возможные ограничения на максимальный объем запасов, их вес, стоимость, общий объем поставки, число поставок в заданном интервале времени и т.д.

Таким образом, решение задачи оптимального управления запасами предполагает разработку математической модели функционирования СУЗ с целью установления зависимости между показателями ее эффективности и параметрами. На этом этапе широко используются модели массового обслуживания, метод динамики средних и метод статистических испытаний. На втором этапе при выборе оптимальных параметров СУЗ используют методы математического программирования.

Методику разработки математических моделей СУЗ и типовые задачи оптимального управления запасами рассмотрим на примере исследования простейших однокаскадных и эшелонированных систем.

Системы управления запасами при детерминированном стационарном спросе

Рассмотрим задачу управления запасами по одной номенклатуре на одиночном складе при детерминированном стационарном спросе λ единиц запаса в единицу времени. Для управления запасами используется стратегия типа (T, y) — периодическая с пополнением до максимального уровня. Необходимо определить оптимальные параметры стратегии T^* и y^* и на их основе установить момент подачи заказа t_3 и его объем S .

При определении параметров T^* и y^* необходимо учитывать характер пополнения и допустимость возникновения дефицита. В практике управления запасами чаще всего имеют место следующие случаи:

- поставка осуществляется мгновенно, а возникновение дефицита не допускается;
- поставка осуществляется мгновенно, допускается возникновение дефицита;
- поставка осуществляется с постоянной интенсивностью μ , допускается возникновение дефицита;
- поставка осуществляется с постоянной интенсивностью μ , возникновение дефицита не допускается.

Во всех случаях при определении параметров стратегии управления запасами будем предполагать, что стоимость поставки не зависит от объема заказа, то есть $c_n = c_0$, издержки хранения пропорциональны среднему объему запаса на складе и времени его хранения (c_1 – стоимость хранения единицы запаса в единицу времени), величина штрафа за дефицит пропорциональна среднему дефициту и времени его существования (c_2 – величина штрафа за дефицит единицы запаса в единицу времени). Рассмотрим эти случаи.

Игровые задачи системного исследования

Задачи теории игр. Деревья решений

В процессе управления сложными военно-техническими системами часто возникают ситуации, при которых сталкиваются интересы нескольких систем, преследующих противоположные цели. Такие ситуации называются конфликтными.

Постановка, формализация и решение игровой задачи

С точки зрения системного анализа управляемая система функционирует в некоторой среде, представляющей собой совокупность систем, связанных с управляемой системой. Среда является источником неопределенности в процессе принятия решения. Следует различать два источника неопределенности: осмысленные действия систем, входящих в среду управляемой системы; бессознательные действия окружающей среды, случайным образом изменяющие параметры управляемой системы.

Математический аппарат, предназначенный для принятия оптимальных решений в условиях неопределенности (в конфликтных ситуациях), называется теорией игр.

Понятие игры определено, если заданы следующие условия:

- 1) имеется несколько систем, цели которых не совпадают;
- 2) заданы правила, определяющие выбор допустимых стратегий, известные системам;
- 3) существует набор конечных состояний, которыми заканчивается игра (например, победа, поражение);
- 4) заранее определены и известны всем системам количественные показатели каждого возможного конечного состояния.

В теории игр приняты следующие понятия и определения.

Игра называется парной, если число участвующих в ней систем равно двум. Если число систем больше двух, то игра сводится к парной благодаря возникновению коалиций между группами систем.

Игра называется конечной, если число стратегий у каждой системы является конечным.

Игра называется игрой с нулевой суммой, если выигрыш одной системы равен проигрышу второй. В противном случае игра называется игрой с ненулевой суммой.

Элементы теории статистических решений

Функционирование больших систем происходит в условиях, когда параметры среды заранее неизвестны. Это обстоятельство вызывает неопределенность при выборе рациональных параметров систем. Например, случайными могут быть такие параметры среды, как рельеф местности, метеоусловия, уровень радиации, действия противника и т.п. В отличие от игровой ситуации, когда противоположная система разумно противодействует системе, принимающей решение, среда или природа изменяют свои параметры случайно, не преследуя собственных целей.

Математический аппарат, предназначенный для принятия решений в игровых ситуациях, в которых одна из систем случайно выбирает стратегию, называется теорией статистических решений.

Теория статистических решений оперирует играми, в которых внешняя среда или природа рассматриваются как противоположные системы.

Выбор критерия принятия решения является наиболее сложным и ответственным этапом, для которого не существует каких-либо общих рекомендаций.

Выбор критерия производит руководитель системы с учетом специфики задачи и целей системы. В частности, если даже минимальный риск недопустим, то следует применять критерий Вальда. Если, наоборот, определенный риск вполне приемлем и в систему вложены средства, то выбирают критерий Сэвиджа.

При отсутствии достаточной информации для выбора того или иного критерия возможен альтернативный подход, который связан с вычислением шансов на выигрыш на основе прошлого опыта.

Дисциплина (модуль 3)

Методы решения задач прогнозирования развития организационно-технических систем с применением регрессионно -корреляционного анализа

Общая характеристика методов прогнозирования

Основу экстраполяционных методов прогнозирования составляет изучение временных рядов, представляющих собой упорядоченные во времени наборы измерений тех или иных характеристик исследуемого объекта, процесса.

Если детерминированная компонента (тренд) x_t характеризует общее направление развития, основную тенденцию временного ряда, то стохастическая компонента e_t отражает случайные колебания, или шумы, процесса. Обе составляющие процесса определяются каким-либо функциональным механизмом, характеризующим их поведение во времени. Задача прогноза состоит в определении вида экстраполирующей функции x_t и e_t на основе исходных эмпирических данных.

Первым этапом экстраполяции тренда является выбор оптимального вида функции, описывающей эмпирический ряд. Для этого проводятся предварительная обработка и преобразование исходных данных в целях облегчения выбора вида тренда путем сглаживания и выравнивания временного ряда, а также формального и логического анализа особенностей процесса. Следующим этапом является расчет параметров выбранной экстраполяционной функции.

Наиболее распространенными методами оценки параметров зависимостей является метод наименьших квадратов и его модификации, метод экспоненциального сглаживания и метод вероятностного моделирования.

Прогнозная экстраполяция методом наименьших квадратов

Сущность метода наименьших квадратов (МНК) состоит в отыскании параметров модели тренда, минимизирующих ее отклонение от точек исходного временного ряда.

Использование процедуры оценки, основанной на МНК, предполагает обязательное удовлетворение целого ряда предпосылок, невыполнение которых может привести к значительным ошибкам.

1. Нормальность. Случайные ошибки (значение случайной компоненты) имеют нормальное распределение.
2. Случайные ошибки имеют нулевую среднюю, конечные дисперсию и ковариации.
3. Дисперсии каждой случайной ошибки одинаковы, их величины независимы от значений наблюдаемых переменных.
4. Отсутствие автокорреляции ошибок, то есть значения ошибок, различных наблюдений независимы друг от друга.
5. Значение наблюдаемых переменных свободны от ошибок измерения и имеют конечные средние значения и дисперсии.

В практических исследованиях в качестве модели тренда в основном используют следующие функции: линейную $y = \alpha + bx$; квадратичную $y = \alpha + bx + cx^2$; параболу третьей степени $y = \alpha + bx + cx^2 + dx^3$; степенную $y = x^n$; показательную $y = \alpha^x$; экспоненциальную $y = ae^{bx}$; модифицированную экспоненциальную $y = ae^{bx} + C$; логистическую $y = \alpha(1 + be^{-cx})$.

Особенно широко применяется линейная, или линеаризуемая, то есть сводимая к линейной, форма, как наиболее простая и в достаточной степени удовлетворяющая исходным данным.

Экстраполяция дает точечную прогностическую оценку.

Интуитивно ощущается недостаточность такой оценки и необходимость получения интервальной оценки с тем, чтобы прогноз, охватывая некоторый интервал значений

прогнозируемой переменной, был бы более надежным или, другими словами, более достоверным и точным.

Точность и достоверность прогноза

Очевидно, что точность прогноза тем выше, чем меньше величина ошибки, которая представляет собой разность между прогнозируемым и фактическим значениями исследуемой величины.

Вся проблема состоит в том, чтобы вычислить ошибку прогноза, так как фактическое значение прогнозируемой величины станет известно только в будущем. Следовательно, методы оценки точности по уже свершившимся событиям (апостериорные) не имеют практической ценности, так как являются лишь констатацией факта. При разработке прогноза оценку его точности требуется производить заранее (априорно), когда истинное значение прогнозируемой величины еще не известно. Как же поступать в этих случаях? Дискуссии в специальной литературе отмечают эти трудности, в итоге все предложения так или иначе связаны с определением доверительного интервала на основе статистического выборочного метода. При этом точность прогноза оценивается величиной доверительного интервала для заданной вероятности его осуществления, а под достоверностью понимают оценку вероятности осуществления прогноза в заданном доверительном интервале. Таким образом, точность прогноза выражается с помощью вероятностных пределов фактической величины от прогнозируемого значения.

Следует отметить, что точное совпадение фактических данных и прогностических точечных оценок, полученных путем экстраполяции кривых, характеризующих тенденцию, – явление маловероятное; этому виной следующие источники погрешности:

1) выбор формы кривой (порядка полинома и т.д.), характеризующей тренд, содержит элемент субъективизма. Во всяком случае, часто нет твердой основы для того, чтобы утверждать, что выбранная форма кривой является единственно возможной или тем более наилучшей для экстраполяции в данных конкретных условиях;

2) оценивание параметров кривых (иначе говоря, оценивание тренда) производится на основе ограниченной совокупности наблюдений, каждое из которых содержит случайную компоненту. В силу этого параметрам кривой, а следовательно, и ее положению в пространстве свойственна некоторая неопределенность;

3) тренд характеризует некоторый средний уровень ряда на каждый момент времени. Отдельные наблюдения, как правило, отклоняются от него в прошлом. Естественно ожидать, что подобного рода отклонения будут происходить и в будущем.

Погрешность, связанная со вторым и третьим ее источниками, может быть отражена в виде доверительного интервала прогноза при принятии допущений о свойстве ряда.

Однако полученные в ходе статистического оценивания параметры не свободны от погрешности, связанной с тем, что объем информации, на основе которой производилось оценивание, ограничен, и в некотором смысле эту информацию можно рассматривать как выборку.

Строго говоря, так как величина σ_{Π} является среднеквадратичной ошибкой (СКО) «генеральной совокупности» величин y_i , достигаемой лишь при $i \rightarrow \infty$, то необходимо вводить поправку на недостаточный объем выборки. С этой целью в формулу вычисления доверительных границ интервала необходимо ввести коэффициент – значение t -статистики Стьюдента и оперировать выборочной СКО: $\Delta = t_{\alpha} S_y$, где S_y – выборочная среднеквадратическая ошибка тренда; t_{α} – значение t -статистики Стьюдента.

Величину t_{α} выбирают из таблиц в зависимости от α ($\alpha = 1 - P$, где P – заданная вероятность осуществления прогноза) и ν ($\nu = n - m$, где n – число уровней динамического ряда, m – число параметров уравнения тренда для линейного тренда $m = 2$).

Доверительный интервал для прогноза, очевидно, должен учитывать не только неопределенность, связанную с положением тренда, но и возможность отклонения от этого тренда.

При определении средней квадратической ошибки (дисперсии) прогноза, основанного на линейной модели, исходя из вышеизложенных соображений, необходимо учитывать, по крайней мере, два источника неопределенностей.

Во-первых, естественно полагать, что действительные значения зависимой переменной не будут совпадать с расчетными (прогнозными), так как сама линия регрессии описывает взаимосвязь лишь в среднем, в общем. Отдельные наблюдения рассеяны вокруг нее. Таким образом, наиболее очевидным фактором, во многом определяющим надежность получаемых по уравнению регрессии прогностических оценок, является рассеяние наблюдений вокруг линии регрессии.

Во-вторых, в силу того, что оценивание параметров модели осуществляется по выборочным данным, оценки a и b сами содержат некоторую погрешность. Причем погрешность в значении a приводит к вертикальному сдвигу линии регрессии. В свою очередь, колебание оценки b , связанное с ее выборочным происхождением, приводит к «покачиванию» линии регрессии.

В качестве меры рассеяния наблюдений вокруг линии регрессии примем такую общераспространенную характеристику, как дисперсия. Оценка ее, как известно, равна сумме квадратов отклонений, деленной на число степеней свободы.

Погрешность в оценке параметров модели также учитывается дисперсиями – дисперсией параметра a и дисперсией параметра b . Для их определения удобно воспользоваться формулами для вычисления коэффициентов линейной регрессии при центрированной независимой переменной.

Если тренд лучше описывается кривой более высокого порядка, то, соответственно, среднеквадратическая ошибка будет ниже и доверительный интервал уже, чем, скажем, при линейном тренде.

Применение линеаризующих преобразований

В практике прогнозирования довольно часто встречаются случаи, когда трудно судить о линейности исходного динамического ряда или когда при графическом изображении его точек нелинейность явно просматривается «на глаз». Тогда есть смысл получить по экспериментальным данным формулу нелинейной парной зависимости. При этом можно рассчитывать, что нелинейная формула даст меньшую остаточную дисперсию s_y^2 , вследствие чего сузится доверительный интервал прогноза.

Следует помнить, что речь идет о зависимости, нелинейной по фактору x (статическая задача прогнозирования) или по фактору t при динамической постановке задачи. По параметрам же тренда зависимость остается линейной.

Парные регрессии, сводящиеся к линейному тренду

Используя метод наименьших квадратов, можно построить практически любые формы нелинейной парной связи. Для этого используют линеаризующие преобразования, так как только линейные по параметрам функции восстанавливаются с помощью МНК.

Широко распространены два вида преобразований: натуральный логарифм $\ln x$ обратное преобразование $1/x$. При этом, очевидно, возможно преобразование как зависимой переменной y , так и независимой переменной $t(x)$ или одновременно той и другой.

Парные регрессии, сводящиеся к модифицированной экспоненте

Все ранее рассмотренные кривые описывают ситуации, когда коэффициент наклона касательной либо возрастает, либо убывает. Однако иногда встречаются данные (это касается в первую очередь технико-экономических процессов), которые необходимо описывать кривыми, имеющими точку перегиба, то есть точку, где рост наклона касательной сменяется падением или, наоборот, падение сменяется ростом. При этом динамика явления такова:

- вначале рост довольно медленный, затем он убыстряется;

- промежуточный период роста сменяется третьим периодом;
- третий период – уменьшение роста и приближение к уровню насыщения.

Широко распространенными кривыми, обладающими точкой перегиба и наиболее точно описывающими процессы полного цикла, являются так называемые S-образные кривые, среди которых наибольшее применение получили логистическая кривая (кривая Перла) и кривая Гомпертца.

Кривая Гомпертца и логистическая кривая могут быть получены из другой кривой, известной как модифицированная экспонента, тем же способом, каким были получены из обычной линейной регрессии кривые, рассмотренные ранее.

Модифицированная экспонента задается тремя параметрами (вместо двух параметров при линейной зависимости).

Обычная процедура наименьших квадратов непосредственно к модифицированной экспоненте неприменима, однако существует и эффективный метод определения параметров этой кривой.

Теория, лежащая в основе описываемого ниже метода определения параметров модифицированной экспоненты, в пособии не рассматривается, однако с ней можно ознакомиться по другим источникам. Следуя этому методу, сначала определяют параметр c , а затем параметры a и b .

Выбор оптимального вида прогнозной модели

Основу оценки достоверности прогноза составляет величина стандартной ошибки.

Этот показатель объясняет степень приближения прогнозной модели к реальным наблюдениям за процессом, но не дает однозначного ответа о качестве модели, то есть не дает ответа на вопрос: насколько правомерен выбор именно данного вида модели?

Важным критерием, позволяющим оценить качество модели (мера качества подбора линии регрессии), является коэффициент детерминации.

Коэффициент детерминации характеризует долю объясненной регрессией дисперсии в общей величине дисперсии зависимой переменной. Чем меньше S_y^2 , тем выше r^2 и тем теснее примыкают отдельные наблюдения к линии регрессии.

Для проверки значимости уравнения регрессии в целом используется F -критерий Фишера.

Этот критерий показывает, во сколько раз уравнение регрессии предсказывает результаты опытов лучше, чем среднее y .

Выполнение расчетов по отысканию оптимальной формы связи при большом числе исходных данных вручную теоретически возможно, но практически требует такого количества времени, что задача становится нереальной. Поэтому для получения оптимальной парной зависимости при условии $r^2 \rightarrow \max$ используют, как правило, ЭВМ.

Необходимо отметить, что до тех пор, пока не проверены все известные формы связи, исследователь не может быть уверен, что выбрана лучшая прогнозная модель. Исключение составляет случай, когда «облако» точек имеет определенную интерпретируемую форму.

Проверка прогнозной модели на автокорреляцию ошибок

При определении параметров уравнения регрессии с помощью МНК считается, что значения ошибок различных наблюдений независимы друг от друга.

Данное предположение требует дополнительной проверки на отсутствие внутрирядной корреляции временных рядов, так как ее наличие может привести к значительному смещению дисперсий параметров модели.

Таким образом, необходимо проверить модель на автокорреляцию ошибок [3].

Под автокорреляцией понимается корреляция между членами одного и того же ряда.

Степень автокоррелированности ряда обычно измеряется с помощью коэффициента корреляции, который в этом случае называют коэффициентом автокорреляции.

Наличие корреляции в последовательном ряду значений определяется с помощью критерия Дарбина-Уотсона.

Если автокорреляция ошибок имеет место, то целесообразно использовать авторегрессионные методы прогнозирования.

Прогнозирование процессов с периодическими колебаниями

Уровни ряда динамики формируются под влиянием взаимодействия многих факторов, одни из которых, будучи основными, главными, определяют закономерность, тенденцию развития, другие, случайные, вызывают колебания уровней.

Как ранее отмечалось, динамика ряда включает три компонента:

- долговременное движение (так называемый тренд);
- кратковременное систематическое движение (например, сезонные колебания);
- несистематическое случайное движение, вызывающее колебания уровней относительного тренда.

Изучая ряды динамики, исследователи пытаются разделить эти компоненты и выявить основную закономерность развития явления в отдельные периоды, то есть выявить общую тенденцию в изменении уровней рядов, освобожденную от действия случайных факторов. С этой целью (устранить колебания, вызванные случайными причинами) ряды динамики подвергают обработке.

Существует несколько методов обработки рядов динамики, помогающих выявить основную тенденцию изменений уровня ряда, а именно: метод укрепления интервалов, метод скользящей средней и аналитическое выравнивание. Во всех методах вместо фактических уровней при обработке ряда рассчитываются иные (расчетные) уровни, в которых тем или иным способом взаимопогашается действие случайных факторов и тем самым уменьшается колеблемость уровней. Последние в результате становятся как бы «выровненными», «сглаженными» по отношению к исходным фактическим данным. Такие методы обработки рядов называются *сглаживанием*, или *выравниванием*, рядов динамики.

Выравнивание рядом Фурье

Особое место в аналитическом выравнивании динамических рядов занимает выравнивание с помощью ряда Фурье.

Выравнивание рекомендуется проводить в тех случаях, когда в эмпирическом ряду наблюдается периодичность изменений уровней. В этом случае периодические колебания уровней динамического ряда можно представить в виде синусоидальных колебаний.

Поскольку последние представляют собой гармонические колебания, то синусоиды, полученные при выравнивании по ряду Фурье, называют гармониками различных порядков.

При выравнивании по ряду Фурье периодические колебания уровней динамического ряда представлены в виде суммы нескольких синусоид (гармоник), наложенных друг на друга.

Выравнивание по ряду Фурье часто дает хорошие результаты в рядах, содержащих сезонную волну.

В заключение отметим, что выравнивание играет важную роль в анализе рядов динамики. Правильный подбор типа кривой для определения тренда представляет не только теоретический, но и практический интерес, в частности при прогнозировании.

Следует отметить, что найденные уравнения тренда часто используют для прогнозирования методом экстраполяции, то есть распространения в будущее закономерности развития, выявленной в прошлом, в исследованном периоде. Однако экстраполировать ряд по уравнению тренда можно только тогда, когда есть уверенность в том, что выявленная и описанная уравнением тренда закономерность развития *устойчива* и сохранится и в будущем, то есть что условия, в которых происходили изучаемые

явления в определенном периоде и в прошлом, *стабильны* и предположительно не изменятся и в ближайшем будущем, на которое экстраполируется ряд.

Измерение колеблемости в рядах динамики

Как уже отмечалось, уровни ряда динамики формируются под влиянием различных взаимодействующих факторов, одни из которых определяют тенденцию развития, а другие – колеблемость (вариацию).

Изучение колеблемости в рядах динамики как предмета исследования часто является самостоятельной задачей математической статистики.

Колебания уровней ряда могут носить разный характер. Исследователи временных рядов всегда пытались классифицировать факторы, вызывающие те или иные колебания, и соответственно выделить типы колебаний. Большинство авторов чаще всего выделяют (наряду с трендом) *циклические* (долгопериодические), *сезонные* (обнаруживаемые в рядах, где данные приведены за кварталы или месяцы) и *случайные* колебания.

Для измерения колеблемости уровней в рядах динамики могут использоваться показатели, аналогичные показателям вариации признака:

- размах, или амплитуда, отклонений отдельных уровней от их средней (по модулю) или от тренда;
- среднее линейное отклонение d (по модулю) отдельных уровней от общей средней или от тренда;
- среднее квадратическое отклонение a отдельных уровней от общей средней или от тренда;
- относительный показатель колеблемости уровней, аналогичный коэффициенту вариации.

При этом важно учитывать, относительно какого показателя (уровня) исследуется колеблемость.

Например, можно исследовать колеблемость вокруг среднего уровня ряда y , который на графике выразится прямой, параллельной оси абсцисс. А можно исследовать колебания уровней вокруг линии тренда (или скользящей средней).

Задача исследования колебаний уровней в рядах динамики сводится к разложению общей колеблемости на составляющие и выделению именно тех колебаний, которые интересуют исследователя.

Для решения этой задачи требуется разложить общую сумму квадратов отклонений от средней на составляющие.

Имея фактические (эмпирические) уровни ряда y и уровни, выровненные по определенному тренду, y_0 можно рассчитать следующие суммы квадратов отклонений:

- 1) общую сумму квадратов отклонений фактических уровней от их общей средней;
- 2) сумму квадратов отклонений за счет тренда (за счет фактора времени);
- 3) сумму квадратов отклонений за счет случайных факторов.

Среднее квадратическое отклонение, рассчитанное на основе данной суммы квадратов отклонений от тренда, одновременно рассматривается как *средняя квадратическая ошибка уравнения тренда*.

Если уровни ряда являются месячными или квартальными показателями и несут на себе влияние сезонности, то в общей сумме квадратов отклонений уровней ряда от их средней можно выделить также составляющую, характеризующую сезонные колебания.

Выявление и измерение сезонных колебаний

В рядах динамики, уровни которых являются месячными или квартальными показателями, наряду со случайными колебаниями часто наблюдаются *сезонные* колебания, под которыми понимается периодически повторяющееся из года в год повышение и снижение уровней в отдельные месяцы или кварталы.

Сезонным колебаниям подвержены внутригодовые уровни многих показателей. Так, например, расход электроэнергии в летние месяцы значительно меньше, нежели в зимние. Потребление мяса больше в зимние месяцы, производство некоторых видов продуктов (сахара, растительного масла и др.), связанных с переработкой сельскохозяйственной продукции, увеличивается в месяцы, непосредственно следующие за окончанием уборки урожая, и т.д. рыночные цены на овощи в отдельные месяцы далеко не одинаковы.

При графическом изображении таких рядов сезонные колебания проявляются в повышении и снижении уровней в определенные месяцы (или кварталы).

При изучении рядов динамики, содержащих «сезонную волну», ее выделяют из общей колеблемости уровней и измеряют. Существует ряд методов для решения этой задачи. Все они основаны на сравнении *фактических* уровней каждого месяца (или квартала) со *средним* уровнем, предполагающим равномерное распределение годового показателя по месяцам (или кварталам), либо со *сглаженными* скользящими средними или *выровненными* по уравнению тренда.

При этом для измерения «сезонной волны» рассчитывают либо *абсолютные* разности (отклонения) фактических уровней от среднего уровня (или от выровненных), либо *отношения* месячных уровней к среднему месячному уровню за год, так называемые *индексы сезонности*.

Графическое изображение индексов сезонности наглядно показывает форму, характер «сезонной волны» относительно среднего месячного уровня за год, принимаемого за 100 %.

Для характеристики силы (меры) колеблемости уровней динамического ряда из-за сезонной неравномерности часто предлагается использовать *среднее квадратическое отклонение индексов сезонности* (в процентах) от 100 %.

Расчет индексов сезонности за ряд лет

При наличии месячных данных за ряд лет расчет индексов сезонности можно осуществить по-разному.

Рассмотрим несколько способов.

1. По данным ряда лет рассчитывается среднее значение уровня для каждого месяца \bar{y}_i , а также средний месячный уровень за весь период \bar{y} . Затем определяются индексы сезонности как *процентное отношение* средних уровней для каждого месяца к общему среднему месячному уровню всего ряда (за все годы).

Данный метод используется в основном в тех случаях, когда уровни одноименных месяцев в разные годы отличаются незначительно.

Если же наблюдается тенденция к увеличению или снижению уровней из года в год, то эффективнее рассчитывать индексы сезонности по следующей схеме.

2. Для каждого года отдельно рассчитываются индексы сезонности, а затем из индексов одноименных месяцев находится *средняя арифметическая*.

3. Следующий прием измерения сезонных колебаний при наличии тренда в данных за ряд лет основан на *сопоставлении* фактических месячных (или квартальных) уровней либо со сглаженным методом скользящей средней, либо с выровненными определенной аналитической формуле.

В первом случае месячные данные за ряд лет сглаживаются 12-месячной скользящей средней (при квартальных данных – 4-квартальной скользящей средней). Затем фактические уровни каждого месяца (или квартала) выражают в процентах к скользящей средней. На основе таких отношений (индексом сезонности) за ряд лет находится средняя арифметическая для каждого месяца (или квартала). Полученные усредненные индексы сезонности и являются искомыми, характеризующими «сезонную волну». Аналогично рассчитываются индексы сезонности и во втором случае на основе сопоставления фактических уровней с выровненными по аналитической формуле. Здесь та же последовательность расчетов с той лишь разницей, что вместо сглаженных скользящих средних сначала находится уравнение тренда и по нему рассчитываются выровненные

(теоретические) уровни. Затем определяется отношение фактических уровней к выровненным, то есть рассчитываются индексы сезонности для каждого месяца (или квартала). Поскольку за n лет отдельные месяцы повторяются, значения месячных индексов сезонности для отдельных лет усредняются.

Прогнозирование с учетом индекса сезонности

Индексы сезонности используются при прогнозировании. Так, зная уравнение тренда и средние индексы сезонности, можно продлить наш ряд, то есть спрогнозировать квартальные уровни.

Этот метод продления в будущее закономерности (тенденции), выявленной в прошлом, называется *экстраполяцией*.

Метод многомерной линейной экстраполяции

Как отмечалось выше, различают две задачи экстраполяции – статическую и динамическую. Во втором случае задача экстраполяции сводится к прогнозированию поведения процесса во времени, то есть по его наблюдаемому отрезку и на основе каких-то априорных данных следует оценить дальнейшее поведение процесса во времени.

Статическая экстраполяция связана с параметрическим прогнозированием на плоскости или с прогнозированием в пространстве. Это означает, что аргументом здесь является вектор параметров и данный вид экстраполяции состоит в оценке значений векторного поля по отдельным наблюдениям.

Содержательную задачу многомерной параметрической экстраполяции, или, другими словами, пространственной экстраполяции, удобно описывать в следующих терминах. Пусть имеется конечное множество ситуаций – точек в пространстве ситуаций, где определены в ретроспекции некоторые решения (в общем виде – численные векторы). Задача экстраполяции состоит в том, чтобы оценить значение вектора решения в ситуации, которой не содержится в указанном множестве.

В последнее время для решения такого рода задач все большее применение находит так называемый метод многомерной линейной экстраполяции (ММЛЭ). Задачу прогнозирования часто можно представить, как задачу проектирования, то есть преобразования технического задания (объема предпрогнозной информации) в проект (прогноз). Если техническое задание обозначить вектором X , а проект – вектором Y , то процесс проектирования (прогнозирования) реализует преобразование $Y = F_0(X)$, где F_0 – векторная процедура проектирования. Для автоматизации этого процесса необходимо формализовать процедуру F_0 . Это можно сделать двояким образом. С одной стороны, можно вскрыть причинно-следственный механизм (правила проектирования), формализовать его и, запрограммировав соответствующим образом ЭВМ, получить с ее помощью проекты Y по техническим заданиям X . Однако, как легко заметить, этот подход требует детального изучения процесса и реализуется лишь для очень простых конкретных задач. Экстраполируя этот опыт (ретроспективную информацию) на новое техническое задание (новый вектор параметров) X_{N+1} , можно получить с некоторой погрешностью, но сразу проект (прогноз) Y_{N+1} . Выбор алгоритма экстраполяции F , очевидно, зависит от количества имеющейся информации. Алгоритм многомерной линейной экстраполяции позволяет с удовлетворительной точностью восстанавливать неизвестный обобщенный показатель прогнозируемой альтернативы объекта в условиях малого числа наблюдений.

Метод экспоненциального сглаживания

При использовании метода наименьших квадратов для определения прогнозной тенденции (тренда) заранее предполагают, что все ретроспективные данные (наблюдения) обладают одинаковой информативностью. Очевидно, логичнее было бы учесть процесс дисконтирования исходной информации, то есть неравноценность этих данных для разработки прогноза.

Это достигается в методе экспоненциального сглаживания путем придания последним наблюдениям динамического ряда (то есть значениям, непосредственно предшествующим периоду упреждения прогноза) более значимых «весов» по сравнению с начальными наблюдениями. К достоинствам метода экспоненциального сглаживания следует также отнести простоту вычислительных операций и гибкость описания различных динамик процесса. Наибольшее применение метод нашел для реализации среднесрочных прогнозов.

Сущность метода экспоненциального сглаживания

Сущность метода состоит в том, что динамический ряд сглаживается с помощью взвешенной «скользящей средней», в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. Другими словами, чем дальше от конца временного ряда отстоит точка, для которой вычисляется взвешенная скользящая средняя, тем меньше участия она принимает в разработке прогноза.

Определение параметров прогнозной модели методом экспоненциального сглаживания

Очевидно, что для разработки прогнозных значений на основе динамического ряда методом экспоненциального сглаживания необходимо вычислить коэффициенты уравнения тренда через экспоненциальные средние.

Оценки коэффициентов определяются по фундаментальной теореме Брауна – Мейера, связывающей коэффициенты прогнозирующего полинома с экспоненциальными средними соответствующих порядков.

Выбор начальных условий и определение постоянной сглаживания

При проведении экспоненциального сглаживания необходимо знать начальное (предыдущее) значение сглаживаемой функции.

В некоторых случаях за начальное значение можно взять первое наблюдение, чаще начальные условия определяются.

Таким образом, выбор постоянной сглаживания (или числа наблюдений в движущейся средней) предполагает принятие компромиссного решения. Обычно, как показывает практика, величина постоянной сглаживания лежит в пределах от 0,01 до 0,3.

Известно несколько переходов, позволяющих найти приближенную оценку.

Верификация прогнозов

В данном разделе рассматривается зависимость средней ошибки прогнозной от периода предыстории и величины прогнозируемого периода.

Одной из важнейших задач прогнозирования является повышение точности расчетов. Критерием точности может служить средняя ошибка прогноза.

Как известно, точность прогноза зависит как от длины периода предыстории, так и от величины прогнозируемого периода. Поэтому можно построить модель, характеризующую зависимость средней ошибки прогноза от двух параметров.

Точность прогноза объясняется совместным влиянием периода предыстории и периода прогноза.

Обоснование периода упреждения

Период времени, на который разрабатывается прогноз, – период упреждения. По периоду упреждения прогнозы делятся на оперативные (до 1 года); среднесрочные (до 5 лет); долгосрочные (от 5 до 15 лет); дальнесрочные (свыше 15 лет).

При разработке прогноза оценку его точности требуется производить заранее (априорно), когда интенсивное значение прогнозируемой величины еще не известно. Точность прогноза оценивается величиной доверительного интервала для заданной вероятности его осуществления, а под достоверностью понимают оценку вероятности

осуществления прогноза в заданном доверительном интервале, то есть точность прогноза выражается с помощью вероятностных пределов фактической величины от прогнозируемого значения.

Период *упреждения* – это функция ошибки прогноза.

Ошибка прогноза – это функция, которая зависит от объема выборки, и это есть функция периода упреждения.

Математическое моделирование процессов развития техники

Как уже отмечалось, методы математического моделирования являются наиболее общими и вместе с тем достаточно строгими методами прогнозирования. Однако при их использовании изменения характера техники во времени, как правило, не прогнозируются; характеристики определяются как результат оптимизации. Прогнозируются же входные данные, необходимые для функционирования общей математической модели. Имеется в виду прогнозирование экзогенных переменных, то есть таких, которые определяются зависимостями, не входящими в данную (основную) модель, в отличие от эндогенных переменных (в частности, показателей эффективности техники), которые являются искомыми (выходными) переменными основной математической модели.

Прогнозирование входных данных для оптимизации характеристик техники, а иногда и самих характеристик, производится одним из следующих методов, которые различаются научной основой и достоверностью результатов прогнозирования:

- составление по известным законам природы теоретических причинно-следственных математических моделей, определяющих прогнозируемые процессы развития и оценки параметров этих процессов по предыстории и состоянию в настоящий момент;

- изготовления и испытания макетов и экспериментальных образцов, а также физическое моделирование;

- составление эмпирических зависимостей по статистике предыстории и настоящего времени, то есть регрессионным анализом и экстраполяцией.

Иногда выделяют и методы экспертной оценки, однако в большинстве случаев эксперты сами должны пользоваться указанными выше методами.

Первая группа методов базируется на установленных в науке (физике, химии, биологии и др.) закономерностях, которые используются для построения теоретических по причинно-следственным связям адекватных математических моделей прогнозируемого процесса. Решение таких моделей для будущего времени и является прогнозом.

Примерами применения причинно-следственных математических моделей прогнозирования являются расчеты для будущих образцов техники, а именно: энергетические расчеты, расчеты прочности конструкций, деталей машин, расчеты надежности и другие. Такое прогнозирование фактически производится в отраслевых институтах промышленности, конструкторских бюро и на предприятиях при разработке новой техники или при ее совершенствовании.

Вторая группа методов также находит широкое применение. В самом деле, если бы было точно известно, что и как надо делать для реализации заданных технических характеристик, то отпала бы необходимость производить исследования, изготавливать и испытывать экспериментальные и опытные образцы; можно было бы сразу начать серийное производство.

Перечисленные методы предполагают построение соответствующих частных математических моделей. Выбор вида математической модели зависит от цели и объекта прогнозирования, наличия средств и времени для анализа требуемой точности прогнозирования.

Прогнозирование по математической модели выполняется по этапам: построение математической модели; определение по экспериментальным (статистическим) данным неизвестных параметров математической модели, которые обязательно должны быть

стабильными и поэтому точнее прогнозируемыми, чем искомые функции; анализ точности и области применимости математической модели и при необходимости ее корректировка; разработка прогноза и анализ его точности и достоверности.

При математическом моделировании процессов, как развития, так и функционировании техники, построение математической модели часто осуществляется путем сочетания перечисленных выше трех групп. Так, при сочетании методов первой и второй групп одна часть исследуемого объекта прогноза, которую легко описать математически, представляется в виде математической модели, а другая, которую трудно представить аналитическими зависимостями, вводится в виде макета (или в естественном виде).

Пусть требуется определить точность полета самолета, который, как предполагается, будет управляться новым способом.

Система уравнений, определяющая точность полета, может быть разделена на следующие две системы: уравнения динамики самолета, описывающие движение при заданных командах управления; уравнения, определяющие величину команд.

Первая система уравнений является наиболее универсальной для различных типов летательных аппаратов и больше изучена, чем вторая. Кроме того, ее легче составить, так как в нее входит меньшее число параметров. Экспериментально реализовать эту часть модели в лаборатории весьма затруднительно, поэтому ее необходимо вводить в виде математической модели. Вторую систему уравнений, описывающую работу системы управления ракетой, состоящую из множества элементов, трудно составить, но зато макет этой части объекта может работать в лабораторных условиях. Поэтому ее лучше вводить в виде опытного образца или макета. Таким образом, математические модели прогнозирования и порядок сочетания перечисленных методов их применения различны в зависимости от характера и физической сущности явления (процесса).

Прогнозная математическая модель динамики замещения

К числу вопросов, результаты исследования которых отражают тенденции развития техники, непосредственно относится прогнозирование скорости, с которой новые образцы техники будут вытеснять предшествующие образцы данного типа. Решение такой задачи представляет собой определение динамики замещения.

В данном случае объектом прогнозирования служит процесс внедрения новой техники, который может описываться изменением в течение времени отношения числа новых образцов (комплексов), в которых применяется новая техника, к суммарному числу образцов (комплексов), где они могут использоваться.

Интенсивность замещения (функция насыщения) в общем случае может зависеть от самых различных экономических факторов, включая факторы, связанные с уровнем эффективности новой техники и относительным объемом капиталовложений на ее внедрение.

Морфологический анализ

Термин «морфология» употребляется во многих науках и относится к исследованию формы или структуры изучаемого объекта.

Применение морфологического анализа (и синтеза) в прогнозировании заимствовано у швейцарского астронома Ф. Цвикки, который разработал его в 30-е годы для конструирования астрономических приборов. Впервые весьма результативно анализ был практически применен Ф. Цвикки в авиационной фирме (1942 г., США), где он в короткое время получил несколько десятков новых технических решений ракетных двигателей и ракет, среди которых, как оказалось позже, были предложены решения, повторяющие немецкие ракеты ФАУ-1, ФАУ-2.

Метод морфологического анализа основан на комбинаторике. Суть его состоит в идее получения детального описания всех существующих и возможных (допустимых) технических систем исследуемого класса с последующим поиском на этом множестве описания технической системы, наиболее полно соответствующего поставленной цели.

Для этого в интересующем изделии или объекте выделяют группу основных конструктивных или других признаков. Для каждого признака выбирают альтернативные варианты, то есть возможные варианты его исполнения. Комбинируя их между собой, можно получить множество различных решений, в том числе представляющих практический интерес.

Например, рассмотрим морфологию механического оборудования колесной крановой установки. Можно выделить четыре основных компонента: двигатель, ведущие оси, опоры (домкраты) и направляющую стрелу. У крановой установки может быть различное число этих компонентов. Таким образом, алгоритм применения метода следующий. Проблему делят на части, которые можно считать независимыми, и для каждой части находят максимальное число решений или подходов. На первом этапе выделяют наиболее важные аспекты, характеризующие проблему (объект исследования), которые впоследствии выступают в качестве оснований деления. Затем для каждого аспекта проблемы выявляют возможные решения. На следующем этапе следует определить, какие из этих решений осуществимы в действительности. Необходимо, чтобы все осуществимые решения были изучены прежде, чем будет сделан выбор лучшего решения. Одним из следствий этого может быть то, что систематическое изучение всех возможных комбинаций решений отдельных частей проблемы приведет к определению принципиально новых решений всей проблемы в целом. После того, как отброшены все неосуществимые решения, проводится оценка технической эффективности всех оставшихся решений и из них выбираются наиболее рациональные.

Следует отметить, что в качестве аспектов проблемы могут назначаться как элементы (узлы, детали) рассматриваемого образца, так и их функции. Тогда в качестве альтернативных вариантов назначаются различные реализации каждой функции. При этом могут быть использованы: собственные знания и результаты опроса специалистов; справочники и энциклопедии; словари технических функций; международный классификатор изобретений и патентные описания по интересующим рубрикам; каталоги выставок для поиска технических решений элементов, соответствующих уровню лучших мировых образцов.

Наиболее сложным моментом морфологического анализа является изучение всех полученных решений с точки зрения их функциональной ценности и выбор наиболее желательных конкретных решений и их реализации. Для этого устанавливается шкала оценок, причем для оценки решений могут быть использованы самые общие критерии.

Метод морфологического анализа представляет интерес для прогнозирования технического облика перспективного образца.

Прогнозирование технического облика перспективного образца

Поисковое прогнозирование, проводимое в рамках обоснования основных направлений развития техники, предполагает анализ объективных тенденций развития, определение возможных путей создания нового образца и получение представления как об основных технических и других количественных характеристиках, так и о техническом облике систем будущего.

Понятие облика технической системы, или технического облика системы, является сравнительно новым, появилось в связи с бурно развивающейся теорией больших технических систем и еще недостаточно определилось на практике.

Обращаясь к методологии системного анализа, можно заключить: являясь категорией системологии, понятие технического облика должно отражать не только конфигурацию образца, не только его структуру, но и взаимосвязи составляющих сложные объекты подсистем и элементов во множестве присущих им взаимосвязанных свойств (характеристик) и функций. Призванное описывать иерархические структуры, это понятие также иерархично по содержанию и уточняется по мере детализации конкретной системы. Наиболее полно концепцию облика можно отразить в виде граф-модели.

Исходя из приведенного определения, прогнозирование технического облика предполагает генерирование множества альтернатив возможной структуры образца, для чего необходимо произвести систематизацию, обзор и анализ всей совокупности функциональных подсистем и агрегатов, иерархически ограниченной некоторыми структурными характеристиками и способами их задания. Очевидно, что такую задачу можно решить методом морфологического анализа. Трудность заключается в том, что с введением новых элементов в морфологическую матрицу комбинаторный процесс разрастается в геометрической прогрессии, так как формирование морфологии системы предполагает одинаковую значимость всех ячеек морфологического ящика.

Размерность задачи можно значительно сократить (или упорядочить) путем придания каждой морфологической ячейке некоторого «веса» относительно выбранного критерия предпочтения.

Так как уже при прогнозировании технического облика перспективного образца задается уровень качества будущей системы, то выбор совокупности предпочтительных альтернатив должен вестись по компонентам (единичным критериям), которые учитывали бы факторы неопределенности, существующие на данном этапе разработки. К таким факторам относятся неопределенность в оценке истинных потребностей в образце новой техники (оценка применимости), техническая неопределенность (оценка перспективности) и технико-экономическая неопределенность (оценка риска).

Таким образом, в комплексный критерий предпочтения необходимо включить: оценку применимости варианта $[P]$; оценку перспективности варианта $[Q]$; оценку риска внедрения $[R]$.

Компонента применимости P характеризует способность системы определенной альтернативы облика расширять состав выполняемых задач, возможность гибкого реагирования на изменение системы целей, появление новых видов и типов подсистем и т.д. Введение в критерий компоненты перспективности Q обусловлено в первую очередь неоднозначностью структуры образцов новой техники. Многовариантность структуры, в свою очередь, обусловлена множеством типов элементов и их параметров.

Компонента риска R характеризует специфику прогнозного исследования как формирование вероятностных оценок возможности появления определенных элементов системы к фиксированному моменту времени в будущем. Так как полностью устранить факторы неопределенности процессов перспективного развития невозможно, необходимо относительно каждой альтернативы определить меру реальности свершения того или иного события, которая, в свою очередь, формирует меру риска внедрения. Эти факторы неопределенности связаны с неполным представлением об имеющихся технических возможностях или сроках внедрения элементов системы.

Относительно формируемых в прогнозирующей системе альтернатив обликов способы получения оценок P , Q и R будут различными. Это обусловлено заданием альтернатив технических обликов в виде иерархических структур.

Формирование оценок применимости ведется в такой последовательности:

1. Формируются частные показатели применимости.

В число частных показателей могут включаться: возможность расширения состава выполняемых задач, возможность гибкого реагирования на изменение системы целей, возможность использования новых видов подсистем, возможность изменения применения.

2. Определяется «вес» частного показателя применимости.

3. Разрабатываются шкалы оценок частных показателей.

4. Формируется оценка применимости альтернативы облика.

Оценка перспективности $Q_{\Sigma 0}$ (нулевой показатель иерархии) также может быть определена относительно облика системы в целом.

Эта оценка складывается из внутриуровневых оценок перспективности подсистем, входящих в системы. Естественно предположить, что оценки перспективности элементов

системы на уровнях, близких к элементарному, будут оказывать незначительное влияние на общую оценку.

Формирование оценки перспективности ведется в такой последовательности:

1. Формируются частные показатели перспективности.

В число частных показателей перспективности могут включаться: степень усовершенствования технического уровня по сравнению с прототипом, степень отличия технического решения от известного решения, степень улучшения основных характеристик технического устройства, степень конъюнктурно-лицензионной значимости технического устройства.

2. Определяется «вес» частного показателя перспективности.

3. Вырабатываются шкалы оценки частных показателей.

4. Формируются оценки перспективности Q_{qN} по уровням N декомпозиций.

5. Формируется оценка перспективности альтернативы образца.

Оценка риска так же, как и оценка перспективности, формируется по ξ -м уровням иерархии альтернативы облика.

Величина риска R определяется для каждого уровня иерархии системы дифференцированно по элементам.

Формирование оценки риска ведется в такой последовательности:

1. Определяется показатель риска R_q^ξ для каждого элемента альтернативы на каждом уровне иерархии.

2. Формируется оценка перспективности альтернативы технического облика образца.

После того, как определены характеристики P , Q и R для каждой альтернативы облика, рассчитывают значение K . Предварительно каждая ячейка «морфологического ящика» получает оценку $K' = P_\xi R_\xi$, соответствующую ее «весу». В данном случае задача комбинаторики объединяется с сетевой задачей, что дает возможность применения математического аппарата сетевого планирования. Найденная критическая зона решений будет являться совокупностью предпочтительных альтернатив технического облика, еще более сужающейся по мере проверки полученных вариантов прогнозируемой системы оружия на применимость. Сформулированная задача решается на всех уровнях иерархии системы средств, то есть морфологическому перебору на уровне подсистем предшествует составление морфологического ящика и выделение критической зоны на более низких уровнях иерархии – уровнях агрегатов и узлов. Критическая зона при этом формируется путем последовательного исключения элементов, лежащих на критическом пути.

Исходной базой морфологического анализа служит информационный массив, представляющий собой совокупность структурных характеристик и диапазон их изменения в пределах возможной системы средств.

Другие методы экспертного прогнозирования

Как уже отмечалось, экспертные методы прогнозирования применяются, как правило, в случаях, когда отсутствуют какие-либо статистические данные, на которых мог бы базироваться количественный прогноз, как, например, в случае, когда предприятие собирается выпустить на рынок совершенно новый продукт. Но даже когда статистическая информация имеется, при использовании ее для прогнозирования могут возникнуть трудности, например исходная статистическая информация зачастую бывает недостоверной. Однако даже при наличии достоверных данных о прошлом, они не всегда могут служить надежной базой для принятия плановых решений, направленных в будущее; некоторая часть информации, необходимой для выбора наилучшего варианта планового решения, имеет качественный характер и не поддается количественным измерениям (например, невозможно разработать формулу для прогнозирования (оценки) поведения людей в той или иной ситуации, в производственном коллективе); в момент принятия решения необходимая статистическая информация отсутствует, а ее получение требует времени или средств; существует большая группа факторов, которые будут влиять

на реализацию планов, но при подготовке плановых решений их нельзя точно предсказать.

Для применения статистических методов прогнозирования необходимо проводить исследовательскую работу и пользоваться услугами квалифицированных статистиков – и то, и другое может дорого стоить. Кроме того, в условиях динамичного развития общества, когда происходят какие-то кардинальные изменения – в экономике, в социальной сфере, в технике, в технологии и в других областях – эффективность применения статистических методов для прогнозирования и планирования, особенно на длительный период, снижается. Существует также опасность, что управляющие станут чрезмерно полагаться на статистические методы и на полученные на их основе результаты и поэтому могут не заметить существенных изменений, значение которых мог бы оценить другой специалист. В таких условиях особую роль в предвидении будущего приобретает интуиция специалистов, называемых экспертами. Интуиция – это способность человека делать заключения об исследуемом объекте, его будущих состояниях неосознанно, то есть без осознания пути движения мысли к этим заключениям. Методы анализа и обобщения суждений и предположений с помощью экспертов называются экспертными или методами экспертных оценок. Сущность метода экспертных оценок заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Получаемое в результате обработки обобщенное мнение принимается как решение проблемы (в данном случае – прогноз). Центральным этапом экспертного прогнозирования является проведение опроса экспертов. В зависимости от целей и задач экспертизы, существа и сложности анализируемой проблемы; времени, отведенного на опрос и экспертизу в целом; допустимой стоимости, а также подбора участвующих в ней специалистов выбирается метод опроса: индивидуальный или групповой (коллективный); личный (очный) или заочный (путем пересылки анкет); устный или письменный; открытый или скрытый.

Индивидуальный опрос позволяет максимально использовать способности и знания каждого специалиста. В отличие от индивидуального при групповом опросе специалисты могут обмениваться мнениями, учесть упущенное каждым из немногих, скорректировать свою оценку. Обмен мнениями является обычно стимулирующим началом в выдвижении и творческой разработке новых идей. В то же время недостатки такого опроса состоят в сильном влиянии авторитетов на мнения большинства участников экспертизы, в трудности публичного отказа от своей точки зрения и в ряде других факторов психофизиологической совместимости. Из сказанного видно, что методы индивидуального опроса предъявляют более высокие требования к эксперту по сравнению с групповым опросом, при котором ошибочные мнения и суждения отдельных экспертов могут быть «поправлены» при выведении общей оценки всей группой. Среди методов индивидуального экспертного прогнозирования следует выделить метод интервью, аналитические экспертные оценки (например, в виде докладной записки), морфологический анализ и др., хотя некоторые из них, например метод генерации идей, экспертных оценок и др., могут применяться и в коллективном варианте.

Дисциплина (модуль 4)

Методы имитационного моделирования функционирования организационно-технических систем

Основные принципы, подходы и процедуры системного моделирования

Практически задачи системотехники, которые решаются методами моделирования, можно разбить на две большие группы. К первой относятся задачи определения оптимальных методов использования как организационных систем в целом, так и их подсистем. Другими словами, это задачи управления существующими системами. Специфическая особенность этой группы задач состоит в том, что технические устройства, входящие в структуру этих систем, уже созданы и их характеристики не

изменяются. Такими задачами являются оценка эффективности систем управления процессами и производствами, нахождение оптимальных вариантов технологических целей, логистическое сопровождение и др., организация ремонта вооружения и т.д. Вторая группа включает задачи, связанные с определением оптимальных характеристик разрабатываемых и перспективных систем техники и технологии.

Понятия оптимальности, показателей и критериев, применяемые для оценки эффективности функционирования систем, естественно, справедливы и для оценки эффективности моделей.

Уместно еще раз подчеркнуть, что решения, обоснованные методами моделирования больших систем, используются преимущественно как количественные рекомендации для принятия решения. Решение принимают руководители, которым приходится также учитывать и факторы, не поддающиеся формализации.

Под моделированием понимают научный метод исследования, основанный на наличии определенного соответствия (аналогии) между исследуемым объектом и другим вспомогательным объектом и позволяющий по результатам исследования второго объекта делать научные выводы о первом объекте. Изучаемый объект называют оригиналом, натурой, а вспомогательный – моделью. Таким образом, моделирование дает возможность результаты исследования модели переносить на оригинал, замещать при исследовании оригинал моделью.

Моделирование – один из самых эффективных методов познания окружающего мира. Можно сказать, что каждая наука – это модель тех явлений, которые она изучает.

Полное сходство между оригиналом и моделью не является необходимым, да и достигнуть его невозможно. Явления объективного мира обладают бесконечным числом свойств. Чтобы построить модель какого-либо явления, рассматривается не вся совокупность его свойств, а только часть, весьма незначительная и самая существенная для целей данной задачи.

Среди признаков, по которым классифицируют модели, выделим два основных: по характеру подобия и по характеру использования.

По характеру подобия различают модели геометрического подобия, модели-аналоги и математические модели. По характеру использования – модели без управления, оптимизационные модели, игровые и имитационные.

Модели геометрического подобия отображают внешние характеристики оригинала и, как правило, имеют ту же физическую природу. Поэтому моделирование с использованием таких моделей называется физическим моделированием. Примерами моделей геометрического подобия являются модели ракет, снарядов, самолетов для обдувки в аэродинамических трубах.

В моделях-аналогах набор свойств модели используется для отображения набора совершенно иных по своей природе свойств оригинала. Примерами моделей-аналогов являются схемы информационных и материальных потоков, карты с нанесенной боевой обстановкой и схемой операции, транспортные сети, представленные в виде графов, электрические схемы, содержащие сопротивления, емкости и индуктивности и отображающие свойства динамической механической системы и т.д.

Под математической моделью понимают систему математических и логических соотношений, описывающих при определенных ограничениях и допущениях структуру и процессы, протекающие в моделируемом объекте. С помощью математической модели можно по известным исходным данным получить новые, заранее неизвестные данные об исследуемом объекте или явлении. Математическая модель является наиболее общей и абстрактной моделью. Математическое моделирование основано на свойстве математических соотношений одинаково описывать различные по своей природе явления, выявляя формально схожие, аналогичные функциональные связи. В связи с этим можно привести слова В.И. Ленина: «Единство природы обнаруживается в поразительной аналогичности дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений».

Указанная аналогичность математических соотношений является философской основой математического моделирования.

В системном моделировании, как правило, используются математические модели. По характеру переменных и виду математических зависимостей между ними различают математические модели: непрерывные, дискретные, линейные, нелинейные, детерминированные, стохастические (вероятностные), статистические и динамические.

Перейдем к рассмотрению моделей, классифицированных по характеру их использования.

Модели без управления являются описательными и не содержат управляемых параметров. Они математически описывают системы или процессы, изменение которых в основном определяется данным состоянием. К ним относятся модели многих явлений физики, механики, баллистики и др.

Под оптимизационными понимают модели, содержащие управляемые параметры и позволяющие исследовать, как влияют на эффективность системы или операции изменения управляемых параметров, и найти оптимальные значения этих параметров (оптимальное решение).

Задачи оптимизации, следовательно, и оптимизационные модели, составляют основное содержание исследования операций.

Игровые модели описывают задачи, возникающие при необходимости найти наиболее целесообразное решение при конфликтных ситуациях и в условиях неопределенности. В этих случаях нельзя говорить об оптимизации, и для нахождения решения используются методы и подходы теории игр и статистических решений.

И оптимизационные, и игровые модели сводят, в конечном счете, исследования системы к математической задаче. При этом должны быть сформулированы также на языке математики цели и критерии. Однако в сложных ситуациях, особенно связанных с военными задачами, только отдельные части проблемы можно представить в виде оптимизационных и игровых моделей (не говоря уже о том, что аппарат теории игр практически позволяет находить решения относительно простых игровых задач).

Имитационное моделирование дает возможность исследовать большие системы и сложные ситуации во всей их полноте, а также реально невозпроизводимые ситуации и объединять в процессе моделирования формальные и неформальные методы исследования.

Под имитацией в широком смысле этого слова понимают замену экспериментов (исследований) в реальных условиях экспериментами в искусственной среде (примером имитаторов являются различного рода тренажеры). Машинная имитация – это процесс управляемого эксперимента, проводимого на вычислительной машине над моделью системы.

Под имитационной моделью понимают алгоритмическое описание со всей доступной для исследования полнотой изучаемой системы и процесса ее функционирования.

Имитационное моделирование не требует строгого математического описания всей системы. Достаточно знать в общих чертах алгоритм функционирования и взаимодействия частей системы. Этот алгоритм может быть задан описательно и затем переведен в машинную программу.

Построение моделей помогает привести сложные и подчас неопределенные ситуации, в которых приходится принимать решение, в логически стройную схему, доступную для детального анализа. Такая модель позволяет выявить альтернативные решения и оценить результаты, к которым они приводят. Другими словами, модель является средством формирования четкого представления о действительности.

Модель должна строиться таким образом, чтобы отражать сущность задачи управления и вместе с тем быть свободной от второстепенных деталей. Это позволяет отыскать более эффективное решение, которое можно проще реализовать на практике. Необходимая степень соответствия между моделью и объектом, а также возможность

получения из модели реализуемого решения в значительной степени определяется уже на этапе постановки задачи. Поэтому, хотя построение математической модели является делом специалистов-математиков, руководители должны быть знакомы с подходом и методами построения моделей и разработанными моделями основных классов практических задач исследования операций.

Нахождение и анализ решения. В подавляющем большинстве операционных задач нахождение решения сводится к определению таких значений управляемых параметров (или к приближенной оценке этих значений), при которых достигается экстремум показателя эффективности и допустимые уровни других показателей. Построение алгоритма решения и нахождение решения с его помощью относится к компетенции специалистов-математиков и программистов.

Имеется большое количество разработанных алгоритмов для различных моделей. Во многих случаях удается свести решение к готовому алгоритму. В противном случае приходится строить новый.

Анализ решения имеет две стороны: первая связана с оценкой решения руководителями с точки зрения его соответствия целям операции и практическим возможностям его реализации; вторая – с определением чувствительности решения к различным параметрам модели и их изменениям. Если модель слишком упрощена, решение может оказаться нереалистичным. Чрезмерно усложненная модель может привести к значительным трудностям в получении решения и его реализации. Чтобы достичь удовлетворительных результатов, возникает необходимость проверки и корректировки модели на этапах постановки задачи, построения модели и отыскания решения.

Проверка и корректировка модели. К числу основных недостатков модели, приводящих к необходимости ее корректировки, относятся следующие: модель может не содержать некоторых существенных переменных; модель может включать несущественные переменные; в модели неточно оценен диапазон изменения значений существенных переменных; может оказаться неправильно сформулированной зависимость показателей, в том числе и показателя эффективности, от управляемых и неуправляемых переменных.

В большинстве операционных задач фигурирует очень большое количество переменных. Однако, как правило, лишь небольшая их часть играет важную роль. Именно они и должны учитываться, так как цель состоит в том, чтобы построить модель, включающую минимальное число переменных и описывающую реальную действительность с необходимой точностью и полнотой.

В то же время число включенных в модель переменных не столь существенно, как соотношения между ними. Модель, содержащая часть переменных, может отображать действительность более точно, чем модель, описываемая большим числом переменных, если в первой соотношения между переменными ближе к реальным зависимостям, чем во второй.

В зависимости от полноты и характера информации, необходимой для принятия решения, различают три основных типа задач, решаемых с помощью моделирования: детерминированные задачи, вероятностные задачи, задачи в условиях неопределенности.

Детерминированные задачи возникают в ситуациях, когда имеется множество альтернативных решений и известно, что каждое из них неизменно приводит к одному и тому же результату. В детерминированных задачах значения всех факторов, влияющих на результат, известны, и информация о состоянии и поведении системы на некотором интервале позволяет полностью и однозначно описать поведение системы вне этого интервала. О детерминированных задачах говорят, что нахождение решения осуществляется в условиях определенности.

Необходимо отметить, что детерминированные задачи широко распространены в исследовании операций, аппарат построения моделей и нахождения решения хорошо

разработан, и иногда для получения ориентировочных результатов к детерминированной схеме искусственно сводят задачи других типов.

Вероятностные задачи возникают в ситуациях, когда известны все альтернативы, возможные исходы по каждой альтернативе и вероятности каждого исхода. О таких задачах говорят, что решение принимается в условиях риска. Определенность есть частный случай риска, когда вероятность равна нулю или единице.

Задачи третьего типа возникают в ситуациях, когда альтернативы известны, но неизвестны вероятности результатов по каждой альтернативе либо даже неизвестно, какие возможны наборы результатов. Основной причиной возникновения таких ситуаций является неполнота информации, необходимой для нахождения решений.

Методы поиска решения в условиях неопределенности изучаются в теории игр и статистических решений. Задачи делятся на классы. *Классом задач* называется такое множество задач, постановка, модель и алгоритм решения которых имеют общую структуру. Задачи, входящие в один класс, могут иметь разное конкретное содержание, но одинаковое формальное математическое описание.

Различают задачи следующих классов: распределительные, управления запасами, массового обслуживания, замены и ремонта оборудования, упорядочения, сетевого планирования и управления (СПУ), выбора маршрута, состязательные.

Охарактеризуем кратко особенности каждого класса.

Задачи распределения возникают, когда: а) существует ряд операций, которые необходимо выполнить, и ряд различных путей их выполнения; б) нет в наличии ресурсов или средств, обеспечивающих выполнение каждой из операций наиболее эффективным образом. Задача в таком случае заключается в отыскании такого распределения ресурсов по операциям, при котором либо минимизируются общие затраты, либо максимизируется некоторая мера эффективности.

К этому классу относятся задачи целераспределения, использования транспорта при организации перевозок, выбора оптимальной системы техники.

Задачи управления запасами – задачи, связанные с проблемой запасов и требующие либо обоих, либо одного из двух следующих решений: а) сколько заказывать (производить или покупать); б) когда заказывать. Сущность задач заключается в определении такого уровня запасов, который минимизирует сумму ожидаемых затрат по хранению запасов, а также потерь из-за их дефицита.

В качестве примера можно привести задачу определения складского запаса, обеспечивающего отсутствие дефицита с заданной вероятностью.

Задачи массового обслуживания – возникают при следующих условиях: а) имеется случайный и неуправляемый поток требований, нуждающихся в обслуживании; б) существуют потери, обусловленные ожиданием удовлетворения требований, отказом в обслуживании или простоем средств обслуживания.

Задача массового обслуживания заключается в определении количества средств обслуживания, при котором минимизируются суммарные затраты, связанные с ожиданием обслуживания требований и потерями от простоя средств обслуживания, или обеспечивается заданная пропускная способность системы обслуживания.

К задачам массового обслуживания относятся: организация ремонта техники, логистические задачи.

Задачи замены и ремонта оборудования – сюда относятся задачи, связанные: а) с заменой оборудования с целью предупреждения его полного выхода из строя (отказа), когда вероятность отказа возрастает с увеличением срока службы; б) с выбором некоторого плана предупредительного ремонта и профилактического обслуживания с целью уменьшения вероятности отказа.

Задачи упорядочения – включают задачи оптимального упорядочения во времени множества операций, выполняемых на заданном оборудовании (задачи календарного планирования). Наиболее часто используемые критерии оптимальности – оптимизация

общей продолжительности всех операций, минимизация общего или максимального запаздывания и др.

Задачи сетевого планирования и управления (СПУ). В этом классе задач рассматриваются комплексы работ, состоящих из конечного множества отдельных работ, которые должны выполняться во времени в заданной последовательности. Требуется спланировать сроки начала и окончания каждой работы, а также ресурсы так, чтобы оптимизировать некоторый критерий, например минимизировать время завершения всего комплекса работ.

Задачи выбора маршрута. Задачи этого класса чаще всего встречаются в транспортных системах, в них требуется определить наиболее экономичный маршрут по выбранному критерию оптимальности. К ним сводятся и некоторые задачи других классов.

Состязательные задачи возникают в условиях конфликтных ситуаций, столкновения интересов сторон, преследующих противоположные цели.

Принципы построения математических моделей

Как число объектов и процессов, так и число отображающих их моделей для многообразия возможных решаемых задач – бесконечно. В этой связи классификация моделей эквивалентна классификации окружающих нас объектов на огромном множестве возможных задач. Попытки классификации моделей, как правило, отражают лишь отдельные аспекты исследований. В то же время представляется возможным выделить некоторые принципы классификации моделей.

Модели можно классифицировать по объектам моделирования (например, модель СМО, СУЗ), по целям моделирования (анализ, синтез и т.д.), по средствам (физические, математические и т.д.) и способам конкретного представления (аналитические, графические и т.д.) объектов, а также по методам проведения анализа (экспериментальные, асимптотические, аксиоматические и т.д.).

Выделяют два предельных случая воспроизведения натурального объекта или процесса (натуры): материальное (предметное) и идеальное (абстрактное). Материальное воспроизведение натуры предполагает исследование объекта на *физических моделях*, при котором изучаемый процесс (объект) воспроизводится с сохранением его физической природы или используются другие аналитические физические явления. Примерами физического воспроизведения являются: действующая модель какого-либо агрегата, аэродинамическая модель ракеты, командно-штабные учения объединения и т.д.

Натурное моделирование – частный случай материального моделирования. Основное требование материального воспроизведения – соблюдение подобия оригинала и модели.

Идеальное (абстрактное) воспроизведение– это описание объекта определенными *символами*. Особое место в абстрактном воспроизведении играют *математические модели*, исследования в которых проводятся на основе идентичности формы уравнений и однозначности соотношений между переменными в сравниваемой натуре и модели. Выделяется квазианалоговое моделирование, при котором изучают не исследуемое явление, а явление другой физической природы, которое списывается математическими соотношениями, эквивалентами относительно получаемых результатов. В последнее время для трудно формализуемых задач значение приобретают методы эвристического (интуитивного) моделирования.

Важное место в исследованиях эффективности занимают имитационные модели, которые воспроизводят в виде специального (как правило, реализуемого на ПЭВМ) моделирующего алгоритма формализованный процесс функционирования технической системы (например, модель функционирования СПУ в ПР). Влияние на течение процесса случайных факторов имитируется при помощи датчика случайных чисел с законными или выработанными в ходе моделирования вероятностными характеристиками.

В условиях широкого применения систем автоматизированного проектирования образцов (комплексов) ВВТ, имитационные модели приобретают всевозрастающее значение. На основе имитационного моделирования вырабатываются тактико-технические требования к разрабатываемым образцам техники с позиций оценки их эффективности.

Рассмотрим некоторое направление создания моделей, требуемых для обоснования программного развития ВВТ.

Построение моделей может основываться на использовании следующих принципов: принцип информационной достаточности; принцип агрегатирования; принцип последовательного наращивания моделей; принцип параметризации; принцип эксперимента; принцип осуществимости.

Принцип информационной достаточности, предполагающий наличие определенной периодичной информации о натуре. В самом деле, если нет информации об объекте, то его модель в принципе невозможно построить; если есть полная информация об объекте, то пропадает целесообразность построения модели. Таким образом, существует некоторый критический уровень априорных сведений (критический уровень неопределенности), при котором можно построить адекватную модель объекта.

Принцип агрегатирования, предполагающий условное распределение модели на частные модели (субмодели). Этот принцип предполагает возможность структурного представления системы вооружения, состоящей из подсистем, агрегатов, экспериментов и т.д., а операцию их применения – из периодов, этапов, фаз и т.д. Для адекватного математического описания таких компонентов могут оказаться пригодными некоторые типовые математические схемы, модели, блоки. Такие типовые блоки могут объединяться с помощью операторов сопряжения в единую имитационную модель.

Принцип последовательного наращивания моделей предполагает создание некоторого каркаса модели с дальнейшим наращиванием частных моделей, учитывающих особенности процесса. Этот принцип отражает динамичность самой модели по этапам жизненного цикла системы вооружения, когда по мере конкретизации ее характеристик и изменения задач моделирования в модели все более тонко отражается влияние тех или иных факторов и процессов.

Принцип параметризации предполагает соответствующую замену модели определенными параметрами. Этот принцип позволяет некоторые относительно изолированные компоненты или обеспечивающие системы не описывать в модели функционально, а задавать их выходными характеристиками (реакциями) относительно разрабатываемого элемента. Такая параметризация может задаваться в виде аналитической функции, таблицы, графика и т.д. Это позволяет значительно упростить модель, сократить объем моделирования. Вместе с тем возможность параметризации должна быть обоснована с точки зрения обеспечения адекватности модели.

Принцип направленного эксперимента предполагает учет отдельных компонентов модели на основе специально проводимого эксперимента. Обычно на основе эксперимента (испытания) проверяются или подтверждаются те параметры объекта и процесса его функционирования, которые затруднительно получить непосредственно имитационным моделированием. Планирование испытаний в интересах анализа эффективности предусматривает имитацию условий функционирования разрабатываемого вооружения, близких к реальным.

И, наконец, при разработке моделей в целях обоснования программного планирования развития вооружения следует ориентироваться также на принцип осуществимости (достижение цели исследования за ограниченное время с заданной возможностью).

Основными особенностями моделей, системного моделирования, программного планирования развития вооружения являются:

1) необходимость получения в качестве выходного результата моделирования показателя эффективности W системы при фиксированных (заданных) затратах C_3 , либо показателя затрат C при фиксированной эффективности W_3 . При этом модель должна

предусматривать возможность анализа влияния отдельных факторов или параметров на соответствующий показатель;

2) отображение всех этапов жизненного цикла образца (комплекса) с учетом соответствующих изменений его параметров и условий применения, наличия информации об этих параметрах, а также с учетом специфики задач анализа эффективности на каждом из этапов;

3) необходимость учета ЛПР на моделирование, так как здесь может проявляться субъективизм как в выборе методов и средств моделирования, так и в совокупности принятых допущений и предпосылок, а также в анализе и представлении полученных результатов;

4) необходимость учета требований пользователя модели и результатов моделирования как в части ответа на первоочередные поставленные задачи, так и в плане его заинтересованности в более широком использовании модели для решения аналогичных задач по другим перспективным системам;

5) последняя особенность требует разработки моделей, основанных на методах, алгоритмах и процедурах, которые допускают возможность оперативной переналадки, уточнения и наращивания моделей в зависимости от решаемых задач. В основу таких моделей могут быть положены:

- блочный принцип формирования с использованием заблаговременно разработанных типовых блоков и последующей их композицией;
- широкое использование метода статистических испытаний;
- использование параметрических соотношений для описания разрабатываемых элементов;
- разработка типовых элементов.

Представление результатов моделирования должно удовлетворять ряду требований, среди которых можно отметить следующие требования:

- наглядности и ясности для пользования, а также удобства использования;
- наличия иллюстраций физической сущности моделируемого объекта или процесса;
- выделения принятых допущений и предположений с анализом их влияния на результаты;
- представления результатов анализа чувствительности модели к определяющим параметрам исследуемого объекта;
- определения области работоспособности модели и точности получаемых результатов;
- выделения основных положений моделирования по модели для пользования, так как она может быть составной частью более общей модели и др.

Для оформления результатов моделирования удобно использовать типовые формы, бланки и т.д.

Требования, предъявляемые к математическим моделям

В общем случае любая модель, предназначенная для изучения некоторого объекта или процесса должна удовлетворительно отвечать на поставленный вопрос, то есть модель, в первую очередь, зависит от задачи исследования.

Объектом моделирования при программном планировании развития вооружения, а значит при исследовании эффективности образцов (комплексов) ВВТ является операция, отражающая функционирование технической системы в неопределенных условиях боевого применения, а задачей моделирования – расчет показателей эффективности для обоснования тактико-технических требований к рассматриваемому элементу. К решению данной задачи привлекаются различные виды моделирования. Однако сложность, а иногда невозможность физического моделирования разрабатываемой системы в операции повышают значимость математических моделей. В основе построения таких моделей лежат объективность отображения схемы операции, критичность к параметрам рассматриваемого элемента, необходимая точность определения количественных

характеристик, возможность проведения расчетов в установленные сроки, учет специфики решаемой задачи. Но эти требования противоречивы, так как, с одной стороны, должны быть учтены все факторы, от которых существенно зависит ход и исход операции, а с другой – модель должна быть достаточно простой, чтобы можно было установить зависимости между входящими в нее параметрами и сделать результаты исследований легко обозримыми. К числу основных требований, предъявляемых к моделям для программного планирования развития вооружения, можно отнести: адекватность, точность, реализуемость, применимость.

Под *адекватностью* понимают степень соответствия модели тому реальному явлению, для описания которого строится модель.

Таким образом, адекватность определяется с позиции решаемой задачи исследования. Поэтому основой построения модели является доказательство ее адекватности.

При разработке адекватной модели обычно исходят из цели исследования, учитывают возможность получения соответствующей информации, а также реальную возможность довести решение до конца с помощью применяемого математического аппарата и имеющихся вычислительных средств.

Уровень сложности модели, используемый математический аппарат, наличие допущений в значительной мере определяют адекватность модели реальному объекту. Адекватность зависит от решения вопроса возможности использования тех или иных показателей и соотношений для правильного воспроизведения объекта.

В качестве основных путей обеспечения адекватности моделей можно указать:

- выбор рациональной последовательности построения модели с учетом располагаемых возможностей моделирования;
- использование итеративного процесса разработки модели (процесс, в основу которого положен метод последовательных приближений);
- уточнение моделей на основе учета экспериментальных данных (калибровка моделей);
- уточнение моделей на основе получения экспертных оценок результатов функционирования объекта и др.

При выборе последовательности построения модели могут быть выделены два подхода: приближенное решение точно поставленной задачи и точное решение задачи в упрощенной формулировке.

В первом случае вначале дается исчерпывающая формулировка задачи, даже если очевидно, что она в такой постановке не поддается решению, а затем обосновываются необходимые допущения и упрощения, позволяющие формализовать процесс.

В случае второго подхода уже на этапе постановки задачи могут быть сделаны упрощения без их количественной оценки.

Использование итеративного процесса разработки моделей предусматривает многоэтажное ее построение с оценкой полученных результатов, анализа их точности и коррекцией модели предыдущей итерации.

Уточнение модели на основе учета экспериментальных данных предполагает физическое моделирование исследуемого процесса или использование имеющихся данных по аналогичным процессам и объектам моделирования.

Уточнение модели на основе полученных экспертных оценок предусматривает привлечение специалистов в области моделирования, проектирования, физической сущности: исследуемого процесса и других для получения и обработки необходимой информации по оценке адекватной модели.

К требованию адекватности моделей непосредственно примыкают также другие требования, определяющие облик моделей и влияющие на их адекватность. К числу таких требований можно отнести непротиворечивость, чувствительность, реалистичность и др. Первое из них характеризует непротиворечивость результатов логике процесса, в частности в особых точках близких к экстремальным. Проверка этого требования может

осуществляться путем анализа реакции модели на изменение предельных значений входных параметров.

Чувствительность модели характеризует соответствие относительных изменений выходных показателей небольшим изменениям входных параметров модели. Анализ чувствительности модели обычно базируется на количественных оценках. Чувствительность может быть обеспечена выбором соответствующего иерархического уровня моделируемого объекта или процесса. Реалистичность модели характеризуется соответствием результатов моделирования тем частным случаям, по которым имеются или могут быть получены фактические данные.

Выделяют следующие способы косвенной проверки адекватности:

- ретроспективный анализ, предполагающий сравнение данных модели и природы в прошлом (на основе совпадения данных моделирования с натурным экспериментом);
- логико-аналитический анализ, предполагающий проверку предположений и информационных потоков от входа до выхода;
- экспертная оценка адекватности (в том числе сопоставления данных построенной модели с другими данными, полученными по другим моделям и имеющим определенную точность относительно природы).

Точность модели – это частный случай количественного выражения ее адекватности. Точность зависит от характера моделируемых процессов, используемых методов и средств моделирования, квалификации исполнителей и т.д. Каждая модель должна сопровождаться информацией о ее точности, так как только в этом случае можно уверенно эксплуатировать модель и использовать результаты моделирования. Оценка точности модели базируется на определении погрешностей ее результата по сравнению с некоторыми данными, достоверность которых может быть подтверждена экспериментально, с помощью других более точных моделей либо другими способами. Среди путей оценки погрешностей моделей можно указать метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, статистическая проверка гипотез, дисперсионный анализ и др.

Реализуемость модели определяется возможностью ее создания в заданные сроки и с требуемой точностью моделирования. При этом следует учитывать, что противоречивые требования по срокам точности приводят к необходимости определенного компромисса.

Требование применимости модели исходит в первую очередь из необходимости удовлетворить потребности заказчика в соответствии с поставленной задачей исследования. В этом плане должна быть отражена соответствующая характеристика модели: по результатам моделирования и возможности их получения; по точности моделирования; по ограничениям модели, принятым допущениям и т.д.

Применимость модели связана с решением вопросов возможности ее эксплуатации на основе оценки ее качества. Оценка качества обычно завершает процесс создания модели. Качество модели – это совокупность ее целевых, эксплуатационных и модификационных свойств, целевые свойства объединяют рассмотренные выше (соответственно, адекватность, точность и др.).

Численные методы системного моделирования

Моделирование больших систем методом статистических испытаний.

Сущность метода статистических испытаний. Точность метода

Решение вопросов управления невозможно без всестороннего применения методов прикладной математики. Так же невозможно, как невозможен, например, полет космического аппарата без предварительного детального «проигрывания» этого полета на ПЭВМ.

В современных условиях, условиях все убыстряющегося «взрывного» развития человечества, решение управленческих вопросов не может быть отложено на неопределенный срок, счет в настоящее время идет не на десятилетия, а на годы, а то и

месяцы. При этом жизненно важен комплексный подход, учет на основе научного прогноза всех ближайших и отдаленных последствий совершаемых действий. Поэтому вопросы развития и применения прикладной математики, которая на современном этапе переходит к непосредственному моделированию и, следовательно, прогнозированию и оптимизации самых разнообразных и сложных процессов, явлений, технических систем и управлению ими, приобретают громадное значение.

За последние десятилетия в прикладной математике произошли существенные сдвиги, коренным образом изменившие ее облик и подготовившие ее к решению крупных современных научно-технических и военных проблем. Эти изменения стали возможны благодаря внешне случайному, а в действительности закономерному сочетанию двух факторов: появление быстродействующих ПЭВМ и выдвижение практикой перед наукой, в частности перед математикой, качественно новых задач невиданной до сих пор сложности. Речь идет об овладении ядерной и термоядерной энергией и о создании летательных аппаратов, способных осваивать космическое пространство. Впервые за всю историю науки специалисты, владевшие ранее лишь пером и бумагой, получили в свои руки совершенный инструмент, отвечающий требованиям научно-технического прогресса. Недаром современную прикладную математику часто (и справедливо) отождествляют с вычислительной математикой. Вычислительная математика обеспечила теоретическую основу для создания ракетно-ядерного щита нашей страны.

Возникновение таких ПЭВМ позволило колоссально расширить интеллектуальные возможности человека, раскрепостить его умственные силы.

Однако необходимо постоянно помнить, что ПЭВМ – всего лишь инструменты и сами по себе не являются панацеей. Чрезвычайно важно придерживаться правильной концепции их использования.

Возможности ПЭВМ раскрываются только в сочетании со всеми существующими методами исследования, с учетом всего накопленного опыта. Многолетние и трудные поиски привели прикладную математику к формированию нового научного метода, получившего название вычислительный эксперимент (или, как еще говорят, математический эксперимент, математическое моделирование).

Вопрос 1. Что понимается под названием вычислительный эксперимент?

Коротко говоря – создание и изучение математических моделей исследуемых объектов с помощью ПЭВМ.

Уместно ли здесь слово «эксперимент». Безусловно. При математическом моделировании мы имеем дело не с самим явлением, а с некоторым теоретическим «слепок» с него, с моделью, выражающей в математической форме основные закономерности, которым она подчиняется. В результате исследователь, проводя вычислительный эксперимент, испытывает как бы саму природу (конструкцию, технологический процесс, объект вооружения, операцию), задавая ей вопросы и получая строгие и относительно полные ответы.

Возможность замены исходного объекта его математической «концепцией» и дальнейшего «диалога» с нею таит в себе большие преимущества и означает серьезное изменение методологии и технологии военно-научных исследований. Становится все более ясной неизбежность широкого использования математического моделирования для реализации государственных комплексных научно-технических программ вообще и программ развития отраслей в частности.

Концепция вычислительного эксперимента (его также называют методом статистических испытаний) в настоящее время детально разработана, и очерчена сфера его приложения.

Он имеет свои особенности в различных областях науки и предназначен для изучения, прогнозирования, оптимизации сложных многопараметрических стохастических нелинейных процессов, теоретическое и экспериментальное исследование которых традиционными методами затруднено или невозможно (например, прогнозирование хода и исхода боевых действий, задачи баллистики, эргономики и т.д.).

Метод статистических испытаний – один из основных методов моделирования больших систем. Широкое применение метода объясняется тем, что он позволяет заменить эксперимент с реальной системой экспериментом с моделью этой системы на ПЭВМ. При моделировании методом статистических испытаний не требуется строгого математического описания системы: достаточно знать в общих чертах алгоритм ее функционирования. Этот алгоритм может быть задан описательно и переведен в машинную программу.

Во многих практических задачах построение математической модели функционирования системы в целом трудноосуществимо, но можно аналитически описать поведение отдельных элементов и построить моделирующий алгоритм функционирования системы, реализуемый на ПЭВМ. В этих случаях статистическое моделирование оказывается единственно приемлемым средством исследования.

Статистическое моделирование представляет собой численный метод исследования модели системы. Строго говоря, ПЭВМ не является принципиально обязательным инструментом метода. Однако огромное количество вычислений, которое при этом требуется выполнить, делает возможным практическое применение метода только с помощью ПЭВМ.

Сущность метода состоит в имитации на ПЭВМ случайных процессов, протекающих в реальной системе, с учетом структуры системы, связей и взаимовлияний между ее элементами. Имитация осуществляется реализацией соответствующего моделирующего алгоритма.

Вследствие того, что моделируемый процесс является случайным, результаты, полученные при однократном моделировании, не могут характеризовать его. Искомые величины, характеризующие исследуемый процесс, находят статистической обработкой данных, полученных многократным моделированием. Если число испытаний N достаточно велико, то в силу закона больших чисел полученные оценки приобретают статистическую устойчивость и с достаточной для практики точностью могут быть приняты в качестве характеристик процесса.

Пусть моделируется процесс, зависящий от случайных параметров v_1, v_2, \dots, v_n . Законы распределения вероятностей этих параметров известны.

В каждом из N независимых испытаний получается некоторая величина y_i , где i – номер испытания. Требуется определить характеристики процесса.

Ход моделирования – метод статистических испытаний можно представить следующим образом. Строится модель, описывающая структуру и функционирование системы с учетом связей и взаимовлияний между ее элементами, на основе модели строится моделирующий алгоритм.

Следующим шагом является моделирование случайных параметров системы. Например, параметр v_1 может быть распределен по нормальному закону с математическим ожиданием m_1 и дисперсией σ_1^2 , параметр v_2 – также по нормальному закону с математическим ожиданием m_2 и дисперсией σ_2^2 , параметр v_3 – равномерно в интервале (a, b) и т. д.

Далее производится N испытаний. В результате каждого испытания получают случайное значение $y_i, i = \overline{1, N}$. Значения y_i запоминаются и используются для вычисления величин, характеризующих процесс функционирования системы. Для обеспечения статистической устойчивости эти величины определяются как средние значения по большому числу испытаний N . Выбор N зависит от требований точности, предъявляемых к результатам моделирования.

Таким образом, можно выделить три основные составные части метода статистических испытаний:

- 1) построение математической модели и моделирующего алгоритма исследуемой системы;
- 2) формирование случайных величин с заданным законом распределения вероятностей;

3) статистическая оценка результатов моделирования.

Нельзя указать общих правил построения модели и моделирующего алгоритма. Однако имеются приемы, позволяющие представить формализованный процесс функционирования системы в виде последовательности операций (или групп операций), выполняемых ПЭВМ. В качестве примера далее будет рассмотрено построение структуры алгоритма, моделирующего работу системы массового обслуживания (СМО). Методы формирования случайных величин с заданным законом распределения излагаются в следующем параграфе. Здесь же рассмотрим вопросы оценки точности метода статистических испытаний и определения необходимого числа испытаний N .

Статистическая обработка и оценка точности результатов моделирования основывается на предельных теоремах теории вероятностей: теореме Чебышева и теореме Бернулли.

Основными достоинствами метода статистических испытаний являются:

- применимость для моделирования очень сложных систем и процессов любой физической природы. Система может содержать элементы непрерывного и дискретного действия, быть подверженной воздействию многочисленных случайных факторов, описываться сложными линейными и нелинейными зависимостями и т.д.;
- простота осуществимости. Составляется программа для одного испытания, затем испытание повторяется N раз. Нет необходимости в создании специальных устройств;
- простота оценки точности полученных результатов.

Наиболее существенным недостатком метода, ограничивающим его применение, является большое количество испытаний, которые необходимо провести для получения характеристик исследуемой системы с высокой точностью.

Кроме того, методу присущ общий недостаток любых численных методов, связанный с трудностями установления функциональных зависимостей между параметрами системы. Это объясняется тем, что результаты каждого испытания носят частный характер и характеризуют поведение системы лишь для тех значений параметров, при которых проводилось моделирование.

Моделирование системы массового обслуживания

Методы теории массового обслуживания применяются для исследования функционирования широкого класса систем. Однако ее аналитический аппарат позволяет получить достаточно полные результаты для сравнительно простых случаев.

Метод статистических испытаний дает возможность более полно, по сравнению с аналитическими методами, характеризовать зависимость качества функционирования системы от параметров потока заявок и обслуживающей системы. При этом он допускает более широкие предположения о природе потоков заявок, структуре обслуживающей системы и дисциплине обслуживания, чем аналитические методы. Например, он позволяет получить решение задач для многофазных систем при весьма общих предположениях об их структуре; доступных же аналитических методов исследования многофазных систем в настоящее время нет.

Применение метода статистических испытаний для моделирования процесса функционирования системы массового обслуживания рассмотрим на конкретном примере системы с отказами.

Система, в которую в отдельные случайные моменты времени поступают заявки, состоит из n каналов (пунктов обслуживания). Поток заявок представляет собой простейший поток, интервал времени τ между двумя последовательными событиями есть случайная величина, распределенная по экспоненциальному закону, и вычисляется по

$$\text{формуле: } \tau = -\frac{1}{\lambda} \ln R.$$

Каждая заявка поступает для обслуживания в канал, который освободился раньше всех. Если есть каналы, освободившиеся одновременно, заявка поступает в канал с

меньшим номером. Время обслуживания k -й заявки $t_{обсл}^{(k)}$ является случайной величиной, равномерно распределенной в интервале (a, b) , и вычисляется по формуле:

$$t_{обсл}^{(k)} = a + (b - a)R.$$

Если в момент поступления заявки все каналы заняты, система выдает отказ.

Требуется определить показатели эффективности системы за время функционирования T : $t_i = T_k + t_{обсл}^{(k)}$, $i = 1, 2, \dots, n$, где T_k – момент поступления k -й заявки; τ_k – k -й интервал между двумя последовательными заявками (между k -й и $k+1$ заявками); t_i – момент освобождения i -го канала.

Событие, связанное с поступлением клиента.

1. Генерация момента времени, в который поступает следующее требование на обслуживание, путем вычисления промежутка времени между требованиями p и добавления его к текущему времени моделирования. (Это действие необходимо для обеспечения непрерывности процесса моделирования.)

2. Проверка состояния системы (простой или работа).

а) Если система *простаивает*, то начать обслуживание поступившего клиента, сгенерировать время обслуживания q и вычислить время окончания обслуживания (текущее время $+q$); изменить состояние системы на рабочее и скорректировать протокол простоя системы.

б) Если система *работает*, поставить поступившего клиента в очередь и увеличить ее длину на единицу.

Событие, связанное с окончанием обслуживания.

1. Проверка состояния очереди (пустая или непустая).

а) Если очередь *пуста*, объявить простой системы.

б) Если очередь *не пуста*, то начать обслуживание первого по очереди клиента, уменьшить длину очереди на единицу и скорректировать протокол времени ожидания; получить время обслуживания клиента q и вычислить время окончания обслуживания (текущее время $+q$).

Моделирование дает и другую информацию, например о распределении числа клиентов и распределении времени ожидания, которую можно восстановить с помощью соответствующих показателей, представленных в форме гистограммы.

Процедура имеет большое сходство с физическим экспериментом. Выполнив упражнение с помощью «ручных» вычислений, можно убедиться в необходимости использования ПЭВМ при моделировании.

Использование ПЭВМ становится еще более привлекательным из-за возможности применения таких специализированных языков моделирования, как *GASP*, *SIAM*, *GPSS* и *SIMSCRIPT*. Эти языки разработаны для того, чтобы избавить пользователя от утомительной необходимости программирования многочисленных деталей. Например, все языки дают возможность автоматически генерировать и запоминать события в хронологическом порядке с помощью всего одного оператора. Кроме того, все языки обладают очень простыми операторами для автоматического табулирования операционных характеристик системы. Имея подобные языки, пользователь может сосредоточить усилия на улучшении модели.

Получение результатов наблюдений при моделировании

Изложив приемы построения и эксплуатации имитационных моделей, рассмотрим теперь важный вопрос, касающийся получения результатов наблюдений при моделировании. Поскольку моделирование представляет собой эксперимент, получаемые результаты наблюдения должны быть статистически независимы и одинаково распределены, с тем, чтобы была обеспечена возможность правильной статистической интерпретации моделируемой системы.

В любом физическом эксперименте оценка результата обычно основывается на среднем значении n независимых наблюдений.

Величина n выбирается таким образом, чтобы был гарантирован определенный доверительный уровень. При моделировании оценка операционной характеристики системы также должна основываться на n наблюдениях. Тем не менее, получение результатов независимых наблюдений при моделировании намного сложнее, чем при обычном лабораторном эксперименте. Мы уже видели в примере применения метода Монте-Карло, что первоначально результаты моделирования имеют неустойчивый характер (переходное состояние), а устойчивость (стационарность) обычно достигается при достаточно продолжительном прогоне модели.

Таким образом, следует не начинать наблюдения слишком рано, поскольку полученные при этом данные характеризуются значительным разбросом и поэтому не могут давать представление о подлинном поведении системы. Для нас представляет интерес в основном получение результатов наблюдений после того, как достигнуто стационарное состояние, так как в этом случае выборочная ошибка (измеряемая средним квадратичным отклонением) уменьшается, и, следовательно, результаты становятся более точными.

При дискретном моделировании достижение стационарного состояния зависит от начальных условий системы, а также от параметров системы. Например, в однофазной модели моделирование может начинаться (в момент $t=0$) при отсутствии клиентов в системе или же при непустой очереди. Эти два начальных условия влияют на продолжительность прогона модели, необходимого для достижения стационарного состояния. Что касается характеристик системы, то в одной и той же модели относительные значения интенсивности поступления требований на обслуживание и скорости обслуживания непосредственно сказываются на продолжительности моделирования, необходимого для достижения стационарного состояния. Чем меньше отношение интенсивности поступления требований к скорости обслуживания, тем быстрее модель достигнет стационарного режима.

Основная цель состоит в получении результатов наблюдений с возможно меньшей ошибкой, чего можно достичь с помощью:

- 1) очень длительных прогонов модели, позволяющих увеличить вероятность достижения стационарного состояния;
- 2) повторения прогонов модели с различными последовательностями случайных чисел, каждый из которых дает одно наблюдение.

Использование различных последовательностей случайных чисел приводит к желаемой независимости получаемых результатов наблюдений. Выборочная ошибка уменьшается, если результаты наблюдения получены в стационарных условиях, но ее можно сделать еще меньше, взяв *среднее* этих наблюдений, поскольку среднее квадратичное отклонение среднего n наблюдений составляет $1/\sqrt{n}$ среднего квадратичного отклонения отдельных наблюдений.

Несмотря на то, что описанная выше процедура дает небольшую выборочную ошибку, следует обратить внимание на усилия, необходимые для получения результатов наблюдений. Другими словами, хотя уменьшение выборочной ошибки важно, нельзя добиваться этой цели любой ценой.

Очевидно, что очень продолжительные прогоны модели, осуществляемые для преодоления переходного состояния, неэкономичны, поскольку они требуют больших затрат машинного времени.

На практике при получении результатов наблюдений при моделировании необходимо иметь в виду два следующих соображения:

- 1) затраты на моделирование могут существенно зависеть от продолжительности прогонов модели;
- 2) выборочную ошибку можно уменьшить за счет использования улучшенных методов получения выборок, направленных на уменьшение статистической ошибки.

Вполне естественно, что нельзя получить что-то из ничего. Как будет показано ниже, продолжительность прогонов модели можно уменьшать, либо получая выборки в переходном состоянии системы, либо достигая устойчивого состояния, но жертвуя при

этом некоррелированностью результатов наблюдений. Полезны методы уменьшения выборочной ошибки, называемые методами уменьшения дисперсии, однако их реализация при построении имитационной модели связана с рядом трудностей. Оба положения будут обсуждены ниже.

В любом методе получения результатов наблюдений важную роль играет начальный период, во время которого модель переходит в стационарный режим. Естественно, что этот период зависит от типа имитационных моделей и начальных условий.

Однако существуют методы, позволяющие определять с точностью до систематической ошибки, можно или нельзя достичь стационарного состояния. Эти методы получили название прерывающих процедур, поскольку в них фиксируется продолжительность начального периода моделирования, который прерывается раньше, чем начинается получение результатов наблюдений.

Метод повторения

При использовании этого метода каждое наблюдение получается при помощи отдельного прогона модели, причем все прогоны начинаются при одних и тех же начальных условиях, но используются различные последовательности случайных чисел.

Преимуществом этого метода является статистическая независимость получаемых результатов наблюдений – основное предположение, необходимое для использования любого статистического теста.

Недостаток состоит в том, что наблюдения могут оказаться сильно смещенными под влиянием начальных условий (переходное состояние).

Как уже отмечалось выше, мы не можем преодолеть этот недостаток за счет длительных прогонов, поскольку имеются ограничения на продолжительность использования ПЭВМ.

Метод подынтервалов

Метод подынтервалов направлен на уменьшение влияния переходных условий, которому подвержен метод повторения. Метод основан на разбиении каждого прогона модели на равные промежутки времени. Начало каждого интервала совпадает с началом записи информации о новом наблюдении.

Преимущество этого метода состоит в том, что со временем влияние переходных условий уменьшается и, таким образом, наблюдения все лучше отражают реальные условия. *Недостатком* метода является то, что предположение независимости не выполняется, поскольку величины, возникающие в начале интервала, очевидно, зависят от конечных условий предыдущего интервала.

Отсюда следует, что между последовательными интервалами существует автокорреляция.

Влияние автокорреляции можно уменьшить, во-первых, увеличивая число наблюдений n , и, во-вторых, увеличивая длину интервала, соответствующего каждому наблюдению.

Заметим, однако, что обе рекомендации приводят к увеличению машинного времени, а следовательно, и к росту затрат на моделирование.

Автоматический подбор вида экстраполируемой функции

Методы экстраполяции в прогнозировании основаны на выявлении основной тенденции и проведении на ее базе необходимых расчетов. Поэтому выбор правильной формы связи между фактором-функцией и фактором-аргументом является важным этапом.

Для прогнозирования применяются различные формы связи: линейная, параболическая, степенная, показательная и др. Но эти формы имеют жесткую, раз и навсегда заданную структуру. В связи с этим при прогнозировании во многих случаях целесообразно использовать так называемые функции с гибкой структурой (ФГС), форма которой может изменяться и автоматически приспосабливаться к изучаемому процессу.

Функция с гибкой структурой характеризует не только зависимость одного фактора от другого, но и собственно тенденцию развития каждого фактора. Заманчивая идея метода автоматического получения вида и параметров аппроксимирующей функции принадлежит Н.К. Куликову. Однако на пути практической реализации метода имеется немало трудностей, например при решении систем трансцендентных уравнений, которые возникают в процессе поиска параметров ФГС или при вычислении соответствующих производных в случае табличного способа задания функции.

Очевидно, что по мере преодоления трудностей практической реализации функции с гибкой структурой будут занимать все более заметное место в арсенале экстраполяционных методов прогностики.

Особую роль в развитии метода следует отвести ЭВМ, что способствует разработке новых эффективных алгоритмов, пригодных для решения задач прогнозирования на основе ФГС.

Оценка качества моделей. Планирование вычислительного эксперимента Планирование имитационных экспериментов

Целью имитационных экспериментов является возможно более глубокое изучение моделируемых систем при ограниченных затратах. С этой целью необходимо планировать и проектировать не только модель системы, но и процесс проведения экспериментов с ней.

В практике имитационных исследований наиболее распространены следующие типы экспериментов:

- сравнение средних и дисперсий результатов операций для различных альтернатив;
- определение значимости влияния тех или иных факторов и необходимости их учета при исследовании конкретной системы;
- отыскание оптимальных альтернатив (в частности, стратегий управления) на некотором множестве возможных значений.

Математические методы отыскания целесообразных планов проведения экспериментов указанных типов и проведения расчетов с целью вычисления искомых оценок получили название методов *планирования эксперимента*.

Общая схема испытаний

При планировании испытаний (в узком смысле) принципиально возможны два подхода: пассивный и активный. Пассивные испытания заключаются в наблюдении и регистрации входных и выходных параметров объектов в режиме нормального функционирования (при фиксированных нагрузках). Планирование испытаний сводится к выбору стационарного режима испытаний. Активные испытания проводятся посредством наблюдения и регистрации процесса после внесения в него возмущений. Сущность активного подхода заключается в одновременном варьировании по определенному закону значений из совокупности факторов (x_1, x_2, \dots, x_k), которое ведется по целесообразно составленной программе, называемой матрицей планирования.

План испытания характеризуется спектром плана (нормированным спектром). Схему планирования испытаний рассмотрим применительно к случаю доводочных испытаний,

проводимых с целью достижения экстремального (заданного) значения выходного параметра. Планирование включает: определение пространства факторов, выбор стратегии испытаний. Совокупность факторов X должна быть достаточно полной (включать все существенные факторы), а каждый из факторов отвечать требованиям однозначности, управляемости, независимости и совместимости с другими факторами. Так, при опытной отработке двигателя внутреннего сгорания, когда при выбранном типе двигательной установки и виде топлива решается задача обеспечения требуемой тяги P и ресурса τ , в качестве x_j могут использоваться тип форсунок, их количество, соотношение, размещение, тип головки, литраж и геометрия блока цилиндров, способ охлаждения и т.д.

При выборе стратегии испытаний в общем случае можно выделить три основных этапа.

1. Планирование и проведение испытаний в ограниченной области с конечной целью установить градиентное направление (направление, в котором угол наклона функции отклика максимален). Решение задачи может осуществляться с помощью линейных уравнений регрессии.

2. Последовательное движение в градиентном направлении (в частном случае – «крутое восхождение»). На этом этапе, зная градиентное направление, выбирают другую ограниченную область в факторном пространстве, где и проводят новую серию испытаний. Крутое восхождение ведется до тех пор, пока не будет достигнута так называемая «почти стационарная область», в которой вариации факторов слабо влияют на значение выходных параметров.

3. Планирование и проведение испытаний в почти стационарной области, где окончательно определяется совокупность значений факторов (x_1, x_2, \dots, x_k) , при которых обеспечивается экстремальное (требуемое) значение y . На этом этапе учитывается нелинейный характер связей между x_j и y .

Основу современного подхода к планированию многофакторных испытаний составляют активные методы, из числа которых широкое распространение получили полные и дробные факторные планы (ПФП и ДФП). Пассивные методы сохраняют свое значение в ходе проведения промышленных экспериментов на стадии серийного производства вооружения, при изучении опыта эксплуатации ракетных и артиллерийских комплексов в войсках, а также в тех случаях, когда при испытании не удается устранить шумовое поле, вызываемое неуправляемыми переменными или случайными помехами, накладываемыми на управляемые факторы.

Полные факторные планы испытаний

Планирование по схеме полного факторного плана предусматривает реализацию всех возможных комбинаций на каждом из выбранных уровней. Общее количество испытаний $l^k \leq N$, где l – количество уровней, k – число факторов. $N=l^k$, если при каждом сочетании факторов проводится только одно испытание. Если испытания проводятся при двух уровнях факторов ($l=2$), то реализуется план 2^k , при $l=3$ – 3^k и т.д.

Формирование ПФП включает два этапа. На первом этапе выбирается совокупность факторов $X=(x_1, x_2, \dots, x_k)$, удовлетворяющих сформулированным требованиям, после чего определяется локальная область факторного пространства, в которой намечается проведение испытаний. При планировании по схеме 2^k эта область устанавливается посредством задания основного уровня и интервала варьирования.

Основным уровнем (центром плана) называют многомерную точку $X^0=(x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0)$ в факторном пространстве. В зависимости от целей испытаний координаты x_j^0 могут соответствовать номинальным значениям параметров или выбираться в центре области их изменения, подлежащей изучению.

Интервал варьирования устанавливают симметрично относительно основного уровня и определяют для каждого из факторов по формуле $I_{x_j} = \frac{x_{j\max} - x_{j\min}}{2}$.

Интервал варьирования выбирается из прогнозируемых значений выходного параметра и условий технической осуществимости вариаций входных воздействий с учетом затрат на выполнение работ.

ПФП составляют в виде матрицы планирования, используя кодированную (безразмерную) систему координат.

Переход к безразмерной системе координат осуществляется по формулам

$$\frac{x_{j\max} - x_j^0}{I_{x_j}} + 1; \frac{x_{j\min} - x_j^0}{I_{x_j}} - 1.$$

В кодированной системе верхний уровень изменения любого фактора равен +1, нижний -1, а координаты центра плана равны нулю и совпадают с началом координат.

Свойство симметричности относительно центра опыта заключается в том, что алгебраическая сумма элементов вектор-столбцов каждого из факторов равна нулю

Условие нормировки подтверждается равенством суммы квадратов элементов каждого столбца числу опытов.

Свойство ортогональности определяется равенством нулю произведений любых двух вектор-столбцов.

Предполагается, что при перемножении элементов с одноименными знаками получаем +1, с разноименными -1.

Свойство ортогональности позволяет резко уменьшить трудоемкость вычислений коэффициентов регрессии, так как матрица нормальных уравнений становится диагональной, причем ее диагональные элементы равны числу испытаний N , заданных матрицей ПФП.

Рассмотренные ПФП являются оптимальными в том смысле, что при их реализации для данного числа испытаний N определитель матрицы ошибок $(X^T X)^{-1}$ минимален.

Геометрически это означает, что сведен к минимуму объем эллипсоида рассеивания оценок параметров. Важным свойством полученных планов является также **ротатабельность**, которая заключается в том, что точность предсказания значений выходной характеристики y одинакова на равных расстояниях от центра плана и не зависит от направления.

Дробные факторные планы испытаний. Планирование испытаний

Можно сократить число испытаний, если от ПФП перейти к дробным факторным планам, или **дробным репликам**, от полного факторного эксперимента. При переходе от ПФП к ДФП важно сохранить ортогональность матрицы планирования. С этой целью в качестве реплики (ДФП) пользуются ПФП для меньшего числа факторов. Такая возможность существует, поскольку в ПФП число испытаний значительно превосходит количество определяемых коэффициентов линейной модели.

Общее правило перехода от ПФП к ДФП сводится к следующему: для сокращения числа испытаний новому фактору присваивается вектор-столбец, принадлежащий взаимодействию, которым можно пренебречь. Формула ДФП имеет вид 2^{k-p} , где p – количество факторов, введенных посредством замещения исключаемых из рассмотрения взаимодействий. В зависимости от соотношения чисел k и p реализуются 1/2, 1/4, 1/8 и т.д. реплики ПФП.

Соотношение, показывающее, с каким из эффектов смешан рассматриваемый эффект, называют **генерирующим**.

Определяющим контрастом называется символическое обозначение произведения столбцов.

Если замещению подлежат все взаимодействия, то план называют **насыщенным**. В этом случае в модели учитываются только линейные взаимодействия.

Последовательность формирования ДФП включает: уяснение количества факторов и допустимого числа N , выбор реплики, построение опорного плана, установление генерирующих соотношений, нахождение определяющего контраста (обобщенного контраста), уяснение системы смешивания.

Выбор системы смешивания осуществляется на основе анализа физической сущности процесса, изучения конструкторской документации и данных предшествующих этапов испытаний.

В общем случае стремятся отсеивать взаимодействия относительно высоких порядков.

Анализ результатов испытаний

Завершающим этапом испытаний по полному или дробному факторному плану является статистический анализ полученных данных, который включает: оценку воспроизводимости результатов испытаний; оценку значимости коэффициентов регрессии и уточнение вида модели; проверку адекватности модели.

Целью *проверки воспроизводимости* является установление однородности результатов испытаний, проводимых на различных уровнях.

В ходе опытно-конструкторских работ при проведении лабораторных и стендовых испытаний обычно используется освоенная аппаратура, обеспечивающая стабильность условий. Поэтому предварительное заключение относительно воспроизводимости ожидаемых результатов часто может быть сделано до начала испытаний. При необходимости проверки воспроизводимости содержание задачи совпадает с задачей проверки гипотезы о стабильности условий испытаний.

Проверка значимости коэффициентов регрессии позволяет лучше осмыслить математическое описание процесса, а также уточнить вид модели путем отсеивания факторов, слабо влияющих на значение выходного параметра. Проверка значимости каждого из коэффициентов производится независимо с помощью проверки гипотезы $H_0: |b_j| = 0$ по t -критерию.

Проверка адекватности заключается в подтверждении предположения, что полученная математическая модель достаточно верно описывает характер процесса. Формальное содержание гипотезы состоит в том что предсказанные уравнением (расчетные) значения выходного параметра \hat{y} отклоняются от опытных \bar{y} на величину, не превышающую некоторый наперед заданный уровень, и модель пригодна для обоснования инженерных решений. Для проверки гипотезы оценивается дисперсия адекватности.

Если дисперсия адекватности не превышает дисперсии опыта, то есть основание полагать, что модель адекватно описывает процесс. Для проверки гипотезы о дисперсиях используется F -критерий.

Модель считается адекватной процессу, если $F_p < F_{кр}(\alpha, \nu_1, \nu_2)$, где $\nu_1 = m - (k + 1)$, $\nu_2 = m(n - 1)$. Если $F_p > F_{кр}$, то для получения адекватного описания необходимо увеличить порядок аппроксимирующего полинома. Очевидно, что проверка адекватности возможна лишь в том случае, если $\nu_1 > 0$, то есть число разных испытаний m превосходит количество включаемых в модель факторов.

Если гипотеза адекватности принимается, то модель может использоваться для управления процессом (при доводочных испытаниях для определения значений факторов, при которых достигается экстремальное или заданное значение выходного параметра). Незначимые коэффициенты могут быть отброшены, однако при этом необходима основанная на анализе физической сущности явления уверенность, что эти факторы не влияют на выходной параметр. В противном случае следует стремиться продолжить испытания (расширив, если позволяют технические возможности, I_x по незначимым факторам).

Если модель неадекватна, возможны следующие решения: перейти к модели более высокого порядка (когда можно предположить, что опыты проводились в области,

близкой к оптимальной); продолжить испытания, уменьшив интервал варьирования или перенеся центр плана в другую точку.

Оптимальные планы

Если целью испытаний является изучение характера процесса, то с получением адекватной модели они могут быть завершены.

При доводочных испытаниях, когда x_j – параметры конструкции, работа продолжается для получения координат точки (x_1, x_2, \dots, x_k) в которой y соответствует заданному (или экстремальному) значению.

Рассмотрим два основных подхода к отысканию области оптимума y : крутое восхождение и симплексный метод.

Крутое восхождение (метод Бокса–Уилсона) выгодно отличается от традиционной организации многофакторного эксперимента, при проведении которого последовательно отыскивается экстремум по каждому из факторов.

Сущность крутого восхождения заключается в шаговом движении в направлении наибольшего изменения функции (направлении градиента), с корректировкой этого направления после достижения частного экстремума функции. На пути движения к экстремуму производится регулярный статистический анализ.

Определению *grad*φ служит реализация ПФП (ДФП), обеспечивающая получение адекватной модели чаще всего в виде линейного уравнения регрессии.

Дальнейшие операции сводятся к следующему. Вычисляются произведения $b_j I_{x_j}$. Фактор, для которого имеет место $\max b_j I_{x_j}$ принимается за базовый $b_{\sigma} I_{x_{\sigma}}$. Для базового фактора, исходя из анализа физической сущности процесса, устанавливается шаг варьирования Δx_{σ} (в направлении экстремума), после чего для других x_j шаг рассчитывается пропорционально наклону поверхности отклика, характеризующемуся

величиной $b_j = \frac{\delta y}{\delta x_j} : \Delta x_j = \frac{b_j I_{x_j}}{|b_{\sigma} I_{x_{\sigma}}|} = \Delta x_{\sigma}$. Затем производятся «мысленные опыты», которые

заключаются в вычислении предсказываемых уравнением регрессии значений y в точках факторного пространства. Через несколько (обычно два-пять) шагов проводятся реальные испытания. Сравнивая опытные значения с расчетными, определяют наиболее близкие к экстремальным значения y , где и проводится новая серия испытаний, после чего при необходимости крутое восхождение продолжается. Испытания прекращаются, когда все или почти все значения b_j незначимы или близки к нулю.

Статистический анализ результатов моделирования.

Принятие решений по результатам моделирования

Методы принятия решений по результатам испытаний. Общая процедура принятия решений

Эффективность имитационных испытаний в конечном счете определяется правильностью принимаемых инженерных решений: принять образец в эксплуатацию или произвести доработку (продолжить испытания); забраковать испытанный образец или допустить его к эксплуатации и т.д. Принятию инженерного решения предшествует операция принятия статистического решения. Применение статистических методов позволяет оценить риск принятия того или иного инженерного решения, тем самым поставив процесс принятия решения на научную основу. Содержание процесса принятия статистического решения составляет *статистическая проверка гипотез* – предположений о свойствах генеральной совокупности, которые могут быть проверены по данным выборки. Статистические гипотезы выдвигаются: относительно значений характеристик систем (случайных величин и случайных функций) и относительно законов распределения параметров.

В первом случае решаются следующие основные задачи:

1) проверка соответствия полученных в ходе испытаний значений характеристик заданным в ТЗ или ТУ;

2) проверка соответствия между собой опытных значений, полученных в разных выборках.

Во втором случае:

1) проверка правомерности аппроксимации эмпирического распределения теоретическим (принадлежность выборки к известной генеральной совокупности);

2) проверка однородности распределений выборочных параметров (принадлежности двух или нескольких параметров к общей совокупности).

В дальнейшем исходную (нулевую, основную) гипотезу, выдвигаемую для проверки, будем обозначать H_0 , а альтернативную (конкурирующую) H_1 . Если гипотеза содержит только одно предположение, например $H_0: \sigma_x = \sigma_y$, то она называется простой. Гипотезу, состоящую из множества (конечного или бесконечного) гипотез, называют сложной, например $H_0: \sigma_x > \sigma_y$.

Рассмотрим последовательность решения задачи статистической проверки гипотез. На первом этапе уточняется задача исследования, после чего выбираются исходная гипотеза и одна или несколько альтернативных. Следующим этапом является *выбор критерия проверки гипотез*, под которым будем понимать свод правил, указывающих, при каких результатах наблюдений гипотеза H_0 отклоняется, а при каких принимается.

Выбранному критерию соответствует *статистика критерия* – непрерывная случайная величина с известным законом распределения, функционально связанная с результатами испытаний. Статистику критерия обозначают в соответствии с видом закона распределения (t , u , x^2 , F -критерий). Безотносительно к виду закона распределения статистику критерия обозначим K .

При принятии статистического решения возможны четыре случая, определяемые содержанием гипотез H_0 и H_1 (верна, неверна) и тем, какая из гипотез окажется принятой. Вероятность опровергнуть гипотезу H_0 , когда она верна (совершить ошибку первого рода), называют *уровнем значимости* α , а вероятность $1 - \beta$ – отвергнуть H_0 при условии ее ложности – *мощностью критерия*; β -вероятность – принять гипотезу H_0 , когда справедлива гипотеза H_1 (совершить ошибку второго рода). Мощность критерия зависит от содержания H_1 . Наиболее мощным критерием простой гипотезы H_0 относительно простой альтернативы H_1 является критерий, для которого $(1 - \beta) \rightarrow \max$. Предпочтительно выбирать равномерно наиболее мощный критерий, который является наиболее мощным относительно любой альтернативной гипотезы. Выбор уровня значимости α приводит к тому, что множество значений K разбивается на два непересекающихся подмножества: *область допустимых значений* и *критическую область*. Область допустимых значений включает совокупность значений K , при которых принимается гипотеза H_0 . Совокупность значений K при которых H_0 отвергается (принимается H_1), образует критическую область. Критическая область может быть односторонней (правосторонней, левосторонней) и двусторонней (симметричной и несимметричной). Точки, разделяющие области, называют критическими точками $K_{кр}$. Принцип проверки статистических гипотез состоит в том, что если расчетное значение K_p попадает в область допустимых значений, то принимают гипотезу H_0 . При попадании K_p в критическую область H_0 отвергается и принимается гипотеза H_1 . Заметим, что принятие H_0 не означает, что доказана ее справедливость, а свидетельствует лишь о том, что результаты испытаний выборки не противоречат выдвинутым предположениям о свойствах объекта (генеральной совокупности).

Необходимо иметь в виду, что продолжение испытаний может привести к иному заключению.

Таким образом, правильное определение вида критической области и уровня значимости наряду с выбором статистики критерия, в основном, определяют достоверность статистического решения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения материала программы предусматривает активное использование современных инновационных образовательных технологий. Формы обучения: индивидуальные и групповые. Методы обучения:

- работа с преподавателем,
- работа в коллективе обучающихся,
- самостоятельная работа.

При освоении дисциплины используются следующие виды активной и интерактивной форм обучения для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций:

- совместное погружение в проблемное поле;
- обсуждение сложных вопросов и проблем;
- работа в малых группах;
- разборы конкретных ситуаций и т.д.

Процесс освоения дисциплины предусматривает следующие работы:

1. Контактная работа (аудиторная работа: лекционные и практические занятия)
2. Самостоятельная работа;
3. Контрольные мероприятия (итоговая аттестация).

Методические указания для обучающихся по лекционным занятиям по модулю

Лекция является наиболее экономичным способом передачи учебной информации, т.к. при этом обширный материал излагается концентрированно, в логически выдержанной форме, с учетом характера профессиональной деятельности обучаемых. Лекция закладывает основы научных знаний в обобщенной форме. На лекционных занятиях преподаватель:

- знакомит обучающихся с общей методикой работы над курсом;
- дает характеристику учебников и учебных пособий, знакомит слушателей с обязательным списком литературы;
- рассказывает о требованиях к промежуточной аттестации;
- рассматривает основные теоретические положения курса;
- разъясняет вопросы, которые возникли у обучающихся в процессе изучения курса.

Лекционное занятие преследует 5 основных дидактических целей:

- информационную (сообщение новых знаний);
- развивающую (систематизация и обобщение накопленных знаний);
- воспитывающую (формирование взглядов, убеждений, мировоззрения);
- стимулирующую (развитие познавательных и профессиональных интересов);
- координирующую с другими видами занятий.

В процессе прослушивания лекций очень важно умение обучающихся конспектировать наиболее значимые моменты теоретического материала. Конспект помогает внимательнее слушать, лучше запоминать в процессе записи, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к лабораторным занятиям и промежуточной аттестации. В этой же тетради следует записывать неясные вопросы, требующие уточнения на занятии. Рекомендуется в тетради отвести место для словаря, куда в алфавитном порядке вписываются специальные термины и пояснения к ним.

Методические указания для обучающихся по практическим занятиям по модулю

Практическое занятие – форма систематических учебных занятий, с помощью которых обучающиеся изучают тот или иной раздел определенной научной дисциплины, входящей в состав учебного плана.

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение заданий проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях обучающийся не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении заданий нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если обучающийся видит несколько путей решения проблемы, то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы. Решение проблемных заданий или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждого учебного задания должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данного задания. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение заданий данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

При подготовке к практическим занятиям следует использовать основную литературу из представленного списка, а также руководствоваться приведенными указаниями и рекомендациями. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий.

Обучающемуся рекомендуется следующая схема подготовки к занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

В процессе подготовки изучают рекомендованные преподавателем источники литературы, а также самостоятельно осуществляют поиск релевантной информации.

Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе по дисциплине (модулю)

Достижение целей эффективной подготовки обучающихся и развитие профессиональных компетенций невозможно без их целеустремленной самостоятельной работы. Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной

работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации.

Основная цель данного вида занятий состоит в обучении методам самостоятельной работы с учебным материалом, нормативно-правовыми актами, научной литературой, с ситуационными задачами, развитие способности самостоятельно повышать уровень профессиональных знаний, реализуя специальные средства и методы получения нового знания, и использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности. Состав самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекционным и практическим занятиям:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;

- работа с конспектом;

- подготовка вопросов для самостоятельного изучения

2. Подготовка к лабораторным занятиям:

- работа со справочниками и др. литературой;
- формирование отчета о выполнении лабораторного занятия;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению по результатам лабораторного занятия;

3. Подготовка к мастер-классам:

- обучающиеся должны ознакомиться с анонсом мероприятия, предусмотренных программой мастер-класса;

- необходимо предварительно ознакомиться со структурой предприятия, на базе которого будет проводиться мастер-класс, основными направлениями, которыми занимается предприятие или компания.

4. Подготовка к промежуточной и итоговой аттестациям:

- повторение всего учебного материала модуля
- аналитическая обработка текста; периодического, продолжающегося издания или сборника как составная часть его основного текста.

Методические указания для обучающихся по промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине (модулю)

В период подготовки к промежуточной и итоговой аттестации обучающихся вновь обращаются к пройденному учебному материалу. При этом они не только закрепляют полученные знания, но и получают новые. Подготовка обучающегося к аттестации включает в себя три этапа:

- самостоятельная работа в течение курса;

- непосредственная подготовка в дни, предшествующие промежуточной и итоговой аттестации по темам курса;

- подготовка к ответу на вопросы.

Подготовка к аттестации осуществляется на основании списка вопросов по изучаемому курсу, конспектов лекций, учебников и учебных пособий, научных статей, информации среды интернет. Литература для подготовки к промежуточной аттестации рекомендуется преподавателем. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух источников. Обучающийся вправе сам придерживаться любой из представленных в литературе точек зрения по спорной проблеме (в том числе отличной от преподавателя), но при условии достаточной научной аргументации.

Основным источником подготовки к промежуточной и итоговой аттестации является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде,

основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к аттестации обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем. Для подготовки к аттестации преподаватель проводит консультацию по возникающим вопросам. Промежуточная аттестация проводится по вопросам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Оценка качества подготовки обучающихся осуществляется в двух основных направлениях: оценка уровня освоения дисциплин и оценка уровня сформированности компетенций обучающихся. Предметом оценивания являются знания, умения и практический опыт обучающихся.

Положительно будет оцениваться стремление обучающихся изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.

Методические указания для обучающихся по итоговой аттестации по дисциплине (модулю) в форме зачета

При подготовке ответа на каждый вопрос следует придерживаться структуры соответствующей темы, предложенной в разделе «Содержание разделов учебной дисциплины (модуля)» Рабочей программы.

При подготовке к зачету целесообразно составить план (схему) ответа на каждый вопрос и зафиксировать его на каком-либо носителе. По отдельным этапам такого плана полезно записать основные тезисы. Не следует стараться выучить весь материал наизусть. Важно понять материал, чему будет способствовать концентрация мыслей на ключевых определениях и понятиях.