

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ  
ІМЕНІ Б. ХМЕЛЬНИЦЬКОГО

Кафедра загальнонаукових та інженерних дисциплін

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загальнонаукових та  
інженерних дисциплін

працівник  Людмила БОРОВИК

"31" 08 2020

Прим. № 1

Д.п.н., професор  
Боровик Л.В.

ЛЕКЦІЯ

з дисципліни «Методи наукових досліджень»

Тема № 1. Математичне моделювання у науково-прикладних  
дослідженнях

Заняття № 1. Класифікація моделей та видів моделювання

Обговорена на засіданні  
кафедри "31" 08 2020р.  
Протокол № 1

Хмельницький  
2020

## Організаційно-методичні рекомендації щодо вивчення навчальної дисципліни

### “Методи наукових досліджень”

1. Розкрити обсяг навчального часу вивчення дисципліни “Методи наукових досліджень” та розподіл його за видами занять.

На вивчення дисципліни „Методи наукових досліджень ” відводиться 180 годин:

|                              |   |                 |
|------------------------------|---|-----------------|
| <b>Лекцій</b>                | – | <b>30 годин</b> |
| <b>Практичних занять</b>     | – | <b>14 годин</b> |
| <b>Лабораторних занять</b>   | – | <b>36 годин</b> |
| <b>Контрольних робіт</b>     | – | <b>4 години</b> |
| <b>Самостійної роботи</b>    | – | <b>45 годин</b> |
| <b>Індивідуальної роботи</b> | – | <b>45 годин</b> |
| <b>Екзамен</b>               | – | <b>6 годин</b>  |

2. Довести порядок вивчення та форми звітності з навчальної дисципліни „Методи наукових досліджень”:

- дисципліна „Методи наукових досліджень” ад’юнктами вивчається протягом двох семестрів.

У першому семестрі ад’юнкти виконують п’ять лабораторних робіт, одну аудиторну контрольну роботу, одну індивідуальну розрахунково-графічну роботу.

У другому семестрі ад’юнкти виконують тринадцять лабораторних робіт, одну аудиторну контрольну роботу, одну індивідуальну розрахунково-графічну роботу та наприкінці семестру здають екзамен.

Вивчення дисципліни завершується складанням екзамену.

Оцінювання знань, вмінь та навичок ад’юнктів здійснюється згідно “Положення про систему поточного і підсумкового оцінювання знань слухачів і ад’юнктів Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького”. Обов’язковими для оцінки знань умінь та навичок є заняття [2/3, 2/4, 2/5, 3/3, 3/5, 3/6, 3/8, 4/3, 4/6, 4/7, 5/2, 5/4, 5/5, 6/2, 6/3, 6/5, 6/7, 6/9, 7/2, 7/4].

Довести мету вивчення дисципліни і відмітити, що ад’юнкти повинні знати та вміти в результаті її вивчення.

**Мета вивчення навчальної дисципліни** – опрацювання ад’юнктами методики застосування методів математичного моделювання у наукових дослідженнях, основних методів пошуку, накопичення та обробки експериментальних даних.

**Завдання вивчення навчальної дисципліни** – вивчення основних понять, положень, понять і методів математичного моделювання для отримання достовірних результатів наукових досліджень, а також методів статистичної обробки експериментальних даних.

#### **Результати навчання.**

Ад’юнкт, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен:

*знати:*

- основні загальнонаукові методи досліджень, а саме прикладну математику, математичного програмування, теорії ігор, теорії ймовірностей і математичної статистики;

*уміти:*

- проводити аналіз, систематизацію та опис вихідної інформації про досліджувану систему та умови експерименту для побудови математичної моделі,
- розв'язувати тематичні задачі та будувати математичні моделі, впроваджувати результати наукових досліджень і оцінювати їх ефективність,
- досліджувати побудовані математичні моделі, оцінювати їх адекватність,
- прогнозувати поведінку моделі при зміні умов експериментального дослідження та з плином часу, застосовувати прикладне програмне забезпечення для обробки експериментальних даних та дослідження математичних моделей.

*ознайомитись:*

- з історією та перспективами розвитку різних розділів природничих наук.

**Зміст навчальної дисципліни.** Математичне моделювання у науково-прикладних дослідженнях. Елементи прикладної математики. Ймовірнісні методи наукових досліджень. Статистичні методи. Теорія планування експерименту та обробки експериментальних даних. Оптимізаційні методи наукових досліджень. Спеціальні методи наукових досліджень.

**Форми (методи) навчання:** лекції (з використанням методів проблемного навчання і візуалізації); лабораторні заняття (з використанням методів комп'ютерного та математичного моделювання), практичні заняття (групові та індивідуальні форми), самостійна робота (індивідуальні завдання), словесні та наочні методи.

**Форми оцінювання результатів навчання:** усне та письмове опитування, тестування, захист лабораторних робіт, модульний контроль, підсумковий контрольний захід.

**Вид семестрового контролю:** екзамен.

### **МЕТОДИ ЗДІЙСНЕННЯ КОНТРОЛЮ**

#### **Поточний контроль:**

Обов'язковими для оцінки знань, умінь та навичок є заняття:

- 3/2, 3/6 – самостійна робота за індивідуальними картками;
- 2/3, 2/4, 2/5, 3/5, 3/6, 3/8,4/3, 4/6, 4/7, 5/2, 5/4, 5/5, 6/2, 6/3, 6/5, 6/7, 6/9, 7/2, 7/4 – захист звітів з лабораторних робіт;
- Модульний контроль №1,2 – письмове опитування.

#### **Підсумковий контроль:**

З дисципліни проводиться:

- 2 семестр – екзамен – в усній формі.

### **СХЕМА НАРАХУВАННЯ БАЛІВ**

#### **ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ**

Оцінювання знань при поточному контролі здійснюється за чотирьохбальною шкалою. Оцінка ад'юнкту (слухачу, студенту) за усну відповідь, письмову роботу, практичні дії і виконання робіт виставляється:

«відмінно» – якщо ад'юнкт (слухач, студент): показує повні, міцні, глибокі та системні знання програмного матеріалу; грамотно та логічно поєднує частини навчального матеріалу разом, щоб одержати ціле з новою системною властивістю; оцінює важливість матеріалу для вирішення стандартних, нестандартних практичних ситуацій та творчих завдань; демонструє високий рівень виконання прийомів роботи зі спеціальними технічними засобами («не роздумуючи»), при цьому навички поєднуються, упорядковуються та виконуються стабільно і легко;

«добре» – якщо ад'юнкт (слухач, студент): знає програмний матеріал і

використовує його у нових ситуаціях; розбиває інформацію на компоненти, розуміє їх взаємозв'язки та організаційну структуру, бачить помилки й огріхи у логіці міркувань, різницю між фактами і наслідками, оцінює значимість даних; виконує завдання при невеликій кількості помилок і робить це точніше без наявності фахової допомоги; координує серію дій за допомогою поєднання двох або більше навичок, які можуть модифікуватися, щоб відповідати певним вимогам або для вирішення завдання;

«задовільно» – якщо ад'юнкт (слухач, студент): розуміє знання програмного матеріалу; уміє пояснити факти, правила, принципи; перетворити словесний матеріал професійні вирази і терміни; прогнозує майбутні наслідки на основі отриманих знань; виконує певні дії зі спеціальними технічними засобами за допомогою інструкцій та практичних навичок або копіюючи дії іншої особи;

«незадовільно» – якщо ад'юнкт (слухач, студент) допустив грубі помилки, відповідає неправильно, не може застосовувати одержані знання на практиці.

Загальну оцінку за аудиторну, самостійну (індивідуальну) роботу необхідно вираховувати як середньоарифметичну з поточних оцінок, шляхом ділення суми оцінок (5,4,3,2), на кількість оцінок отриманих протягом модуля (семестру, періоду вивчення дисципліни), яка визначена робочою програмою навчальної дисципліни. Для розрахунку, кількість поточних оцінок повинна бути не менше чотирьох, для заочної форми навчання – не менше двох.

Середньоарифметична оцінка з поточних оцінок складається з оцінок за аудиторну та індивідуальну роботи і проставляється окремою графою в журналі обліку навчальних занять навчальної групи з округленням до 0,01 після останнього заняття з модуля, дисципліни, семестру.

До оцінок за аудиторну роботу відносяться оцінки за заняття, під час яких здійснювалось обов'язкове оцінювання та оцінки, одержані на інших заняттях.

За матеріалами пропущених занять, під час яких здійснювалось обов'язкове оцінювання, ад'юнкт (слухач, студент) зобов'язаний відзвітувати до модульного контролю. За кожне пропущене заняття або відсутність оцінки на занятті, під час якого здійснювалось обов'язкове оцінювання, при обчисленні середньоарифметичної оцінки з поточних оцінок рахується «0» балів.

Сумарна кількість балів за модуль є сумою від середньоарифметичної поточних оцінок, помноженої на ваговий коефіцієнт 0,8, та оцінки за модульний контроль, помноженої на 0,2. У відповідності до набраної сумарної кількості балів, оцінка за модуль визначається за національною шкалою, 100-бальною шкалою і шкалою ЄКТС за допомогою «Таблиці відповідності шкал оцінювання» та «Шкали переведення національної системи і системи ЄКТС в 100-бальну систему».

Ад'юнкт (слухач, студент), який отримав середньоарифметичну оцінку з поточних оцінок за аудиторну роботу менше 2,0, не відзвітував за контрольні, лабораторні роботи та визначений робочою програмою навчальної дисципліни вид індивідуальної роботи до модульного контролю не допускається.

Він вважається таким, що не виконав вимоги робочої програми навчальної дисципліни і йому виставляється оцінка за модуль «незадовільно» за національною шкалою, 35 балів за 100 бальною шкалою і FX за шкалою ЄКТС.

Ад'юнктам (слухачам, студентам), які пропустили заняття, де було передбачено оцінювання, з об'єктивних причин, надається індивідуальна консультація та можливість ліквідувати заборгованість шляхом: обов'язкової звітності за матеріалами всіх пропущених занять, під час яких здійснювалось обов'язкове оцінювання, звітування за контрольні, лабораторні роботи та визначений робочою програмою навчальної дисципліни вид індивідуальної роботи, що дає можливість отримати максимально можливу середньоарифметичну оцінку з поточних оцінок; визначення мінімального рівня володіння ад'юнктом (слухачем, студентом) всього матеріалу модуля спеціально призначеній комісії з числа науково-педагогічних працівників кафедри. Комісія призначається рішенням начальника кафедри.

Мінімальний рівень оцінюється «здав» - «не здав». Якщо ад'юнкт (слухач, студент) отримав позитивну оцінку, то його середньоарифметична оцінка з поточних оцінок за модуль складає 2,60 бали.

Якщо мінімальний рівень знань ад'юнкта (слухача, студента) оцінено як «не здав», то він вважається таким, що не виконав вимоги робочої програми навчальної дисципліни, йому виставляється оцінка за модуль «незадовільно» за національною шкалою, 35 балів за 100-бальною шкалою і FX – за шкалою ЄКТС.

У випадку, якщо ад'юнкт (слухач, студент) має заборгованість за індивідуальну роботу з об'єктивних причин, модульний контроль знань здійснюється після ліквідації заборгованості, але не пізніше наступного модульного контролю.

Якщо ад'юнкт (слухач, студент) не виконав вимоги робочої програми навчальної дисципліни з модуля або отримав під час складання модульного контролю

оцінку «незадовільно», за рішенням начальника кафедри (факультету) йому встановлюється індивідуальний термін повторного складання модульного контролю, але не пізніше наступного модульного контролю. Якщо ад'юнкт (слухач, студент) не ліквідував заборгованість за модуль до наступного модульного контролю, чи після двох спроб не склав модульний контроль, питання про його подальше навчання розглядається на засіданні Вченої ради факультету і академії.

Результати модульного контролю відображаються в «Журналі обліку навчальних занять навчальної групи» з виставленням загальної кількості балів, набраних ад'юнктом (слухачем, студентом) за вивчення модуля, відповідної оцінки за національною шкалою, 100-бальною шкалою і шкалою ЄКТС.

### **СЕМЕСТРОВИЙ КОНТРОЛЬ**

Семестровий контроль здійснюється з метою оцінки результатів навчання з навчальної дисципліни (групи навчальних дисциплін) на певному освітньому рівні або на окремих його завершених етапах за національною шкалою, 100-бальною шкалою і шкалою ЄКТС.

Семестровий контроль забезпечує оцінку результатів навчання ад'юнктів (слухачів, студентів) на проміжних або заключному етапах їх навчання у формі семестрового екзамену, диференційованого заліку або заліку з конкретної навчальної дисципліни в обсязі навчального матеріалу визначеного робочою програмою навчальної дисципліни, в терміни, встановлені навчальним планом, графіком-календарем освітнього процесу і розкладом екзаменаційної сесії, в окремих випадках індивідуальним навчальним планом ад'юнкта (слухача, студента).

Підсумкова оцінка за дисципліну виставляється за результатами модульних контролів, якщо немає модулів з середньоарифметичної оцінки з поточних оцінок, та оцінки одержаної на семестровому контролі.

Ад'юнкт (слухач, студент) допускається до семестрового контролю (семестрового екзамену, диференційованого заліку, заліку), якщо він склав всі модулі, виконав всі види завдань, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни.

Ад'юнкт (слухач, студент), який не склав хоча б одного модуля, курсової роботи (проекту), отримав середньоарифметичну оцінку з поточних оцінок за аудиторну роботу менше 2,0, не відвідував за контрольні, лабораторні роботи індивідуальну роботу, не допускається до семестрового контролю.

У разі коли ад'юнкт (слухач, студент) не виконав умови допуску до складання семестрового контролю, то він вважається таким, що не виконав вимоги робочої програми навчальної дисципліни і в відомості обліку успішності екзаменатор проставляє – «не допущений», а в графі «підсумкова оцінка», йому виставляється оцінка «незадовільно» за національною шкалою, 35 балів за 100-бальною шкалою і FX – за шкалою ЄКТС.

Ад'юнкту (слухачу, студенту), який не виконав умови допуску до складання семестрового контролю, отримав середньоарифметичну оцінку з поточних оцінок менше

2,00, результати вивчення навчального матеріалу з навчальної дисципліни не зараховуються і в графі «підсумкова оцінка», відомості обліку успішності, виставляється оцінка «незадовільно» за національною шкалою, 0-34 бали за 100-бальною шкалою і F – за шкалою ЄКТС (додаток 1). В такому випадку ад'юнкт (слухач, студент) представляється на засідання Вченої ради факультету, академії і йому пропонується пройти повний курс повторно. У разі відмови розглядається питання про його відраховування з академії.

Якщо ад'юнкт (слухач, студент) не виконав умови допуску до складання семестрового контролю з об'єктивних причин (хвороба, відрадження тощо, і це підтверджено документально), рішенням начальника кафедри надається індивідуальна консультація та визначаються терміни можливості ліквідувати заборгованість шляхом: обов'язкової звітності за матеріалами всіх пропущених занять, під час яких здійснювалось обов'язкове оцінювання, звітування за контрольні, лабораторні роботи та визначений робочою програмою навчальної дисципліни вид індивідуальної роботи, що дає можливість отримати максимально можливу середньоарифметичну оцінку з поточних оцінок; визначення мінімального рівня володіння ад'юнктом (слухачем, студентом) всього матеріалу навчальної дисципліни спеціально призначеній комісії з числа науково-педагогічних працівників кафедри. Комісія призначається рішенням начальника кафедри. Мінімальний рівень оцінюється «здав» - «не здав». Якщо ад'юнкт (слухач, студент) отримав позитивну оцінку, то його середньоарифметична оцінка з поточних оцінок за дисципліну складає 2,60 бали і він допускається до складання семестрового контролю.

Умови допуску мають бути виконані за три дні до початку складання семестрового екзамену (диференційованого заліку, заліку) визначеного розкладом екзаменаційної сесії.

Якщо ад'юнкт (слухач, студент) не ліквідував заборгованість у визначений термін або його мінімальний рівень знань оцінено як «не здав», то він вважається таким, що не виконав вимоги робочої програми навчальної дисципліни, в відомості обліку успішності екзаменатор проставляє – «не допущений», а в графі «підсумкова оцінка» йому виставляється оцінка «незадовільно» за національною шкалою, 35 за 100-бальною шкалою і FX – за шкалою ЄКТС.

У разі, якщо дисципліна перехідна і семестровий контроль не передбачений, ліквідація заборгованості здійснюється до початку навчального року.

Ад'юнктам (слухачам, студентам), які не з'явилися на семестровий екзамен (диференційований залік, залік) з поважних причин (хвороба, відрадження, сімейні обставини тощо), і це підтверджено документально, в відомості обліку успішності екзаменатор проставляє – «не атестований», зазначає причину (хвороба, відрадження, сімейні обставини тощо), назву і реквізити документу, яким це підтверджується.

Ад'юнкта (слухача, студента) можна звільнити від складання семестрового екзамену з виставленням оцінки «відмінно» за національною шкалою, 90-100 балів за 100-бальною шкалою і A – за шкалою ЄКТС, у випадку, якщо середній бал за модулі (середньоарифметична з поточних оцінок за аудиторну, індивідуальну роботу) є не нижчою 4,51 бали. При цьому ад'юнкт (слухач, студент) виявляв активність на теоретичних і практичних заняттях, виконав всі види індивідуальних завдань, не мав поточних оцінок нижчих, ніж «задовільно», модульні контролі не перездавались.

Ад'юнкта (слухача, студента) можна звільнити від складання диференційованого заліку з виставленням оцінки в екзаменаційну відомість відповідно до таблиці відповідності шкал оцінювання, якщо середній бал за модулі (середньоарифметичну з поточних оцінок за аудиторну, індивідуальну та самостійну роботу) є не нижче 4.01. При цьому необхідно, щоб ад'юнкт (слухач, студент) виявляв активність на теоретичних і практичних заняттях, виконав всі види індивідуальних завдань, не мав поточних оцінок нижчих, ніж «задовільно», модульні контролі не перездавались.

Ад'юнкта (слухача, студента) можна звільнити від складання заліку з

виставленням оцінки в екзаменаційну відомість «зараховано», якщо він отримав середній бал не нижче 3,01 за модулі (середньоарифметичну з поточних оцінок за аудиторну, індивідуальну та самостійну роботу), при цьому виявляв активність на теоретичних і практичних заняттях, виконав всі види індивідуальних завдань, не має поточних оцінок нижчих ніж «задовільно» і повторних перездач модульних контролів.

Оцінка навчальних досягнень ад'юнкта (слухача, студента) на семестрових екзаменах, диференційованих заліках, заліках виставляється з урахуванням окремих оцінок за відповіді на питання білета.

Оцінка навчальних досягнень ад'юнктів (слухачів, студентів) на семестрових екзаменах, диференційованих заліках, заліках методом тестового контролю виставляється з урахуванням відсотка правильних відповідей:

«відмінно» – якщо отримано не менше 90 % правильних відповідей;

«добре» – якщо отримано не менше 80 % правильних відповідей;

«задовільно» – якщо отримано не менше 60 % правильних відповідей.

Загальна оцінка семестрового контролю є сумою від середньоарифметичної суми балів за модулі, загальних балів за попередні семестрові контролі (середньоарифметичної з поточних оцінок у разі якщо дисципліну не поділено на модулі), помноженої на ваговий коефіцієнт 0,8 та оцінки за семестровий екзамен (диференційований залік, залік), помноженої на 0,2.

Якщо ад'юнкт (слухач, студент) за відповіді на семестровому контролі отримує оцінку «незадовільно», засвоєння дисципліни йому не зараховується і у відомості обліку успішності виставляється оцінка «незадовільно» за національною шкалою, 50 балів за 100-бальною шкалою і FX – за шкалою ЄКТС.

Повторне складання одного й того ж семестрового екзамену (диференційованого заліку, заліку) допускається не більше двох разів з кожної дисципліни: перший раз викладачу за рішенням начальника кафедри; другий раз – комісії, яка створюється рішенням заступника ректора академії (проректором) з навчальної роботи.

У разі отримання ад'юнктом (слухачем, студентом) незадовільної оцінки під час другого повторного складання семестрового екзамену (диференційованого заліку, заліку) комісії або отримання більше двох незадовільних оцінок під час екзаменаційної сесії, питання про їх подальше навчання розглядається на засіданні Вченої ради факультету та академії.

Ад'юнкт (слухач, студент), який під час екзаменаційної сесії не складав семестровий екзамен (диференційований залік, залік) з об'єктивних причин (хвороба, відраження тощо, і це підтверджено документально) і був «не атестований» протягом першого місяця навчання у наступному семестрі (навчальному році) повинен скласти семестровий екзамен (диференційований залік, залік) в терміни визначені начальником кафедри.

Семестровий контроль оцінюється за національною шкалою, 100-бальною шкалою та шкалою ЄКТС відповідно до «Шкали переведення національної системи і системи ЄКТС в 100-бальну систему» та «Таблиці відповідності шкал оцінювання».

**Таблиця відповідності шкал оцінювання**

| Сума кількості балів | Бал за 100-бальною шкалою | Національна шкала | Оцінка ЄКТС |
|----------------------|---------------------------|-------------------|-------------|
| 5,00-4,51            | 100-90                    | 5                 | A           |
| 4,50-4,01            | 89-82                     | 4                 | B           |
| 4,00-3,51            | 81-75                     | 4                 | C           |
| 3,50-3,01            | 74-67                     | 3                 | D           |
| 3,00-2,6             | 66-60                     | 3                 | E           |
| 2,59-2,00            | 59-35                     | 2                 | FX          |
| 1,99-0,00            | 34-1                      | 2                 | F           |

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### 1. Базова:

1.1. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. 444 с.

1.2. Боровик О.В., Боровик Л.В., Гащук І.В. Дослідження операцій: Лабораторний практикум. Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2006. 103 с.

1.3. Боровик О.В., Боровик Л.В. Основи математичного моделювання: Лабораторний практикум. Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2005. 76 с.

1.4. Нечаєв В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В., Рябушенко Н.В., Брадул О.М. Теорія планування експерименту: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2005. 232с.

1.5. Трасковецька Л.М., Стопень Г.Я. Прикладна математика: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ, 2004. 135с.

1.6. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І. Теорія ймовірностей і математична статистика.: Навч.-метод. посібник. У 2 ч. Ч.І. Теорія ймовірностей. К.: КНЕУ, 2000. 304 с.

1.7. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І. Теорія ймовірностей і математична статистика.: Навч.-метод. посібник. У 2 ч. Ч.ІІ. Математична статистика. К.: КНЕУ, 2001. 336 с.

1.8. Лабораторні роботи з вищої математики, теорії ймовірностей і математичної статистики: практикум / Л.В.Боровик, Л.О.Матохнюк. Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2011. 92 с.

### 2. Допоміжна:

2.1. Алексеєнко Б.Н. Введение в «Основы научных исследований». Хмельницький: Изд-во АПВУ, 1993. 94с.

2.2. Методика теоретичних досліджень у галузі технічних наук, Ч.1 / Під заг. ред. Олексієнка Б.М./ Хмельницький: Вид. АПВУ, 1999. 42с.

### Інформаційні ресурси в інтернеті (інтранеті)

1. Сайт бібліотеки: 10.241.24.195.

1. 2. Модульне навчальне середовище: 10.241.24.9/moodle.



## Тема № 1. Математичне моделювання у науково-прикладних дослідженнях

### План вивчення теми

|                       |   |          |
|-----------------------|---|----------|
| Усього на тему        | – | 12 годин |
| Лекцій                | – | 2 години |
| Самостійної роботи    | – | 5 годин  |
| Індивідуальної роботи | – | 5 годин  |

### Навчальна, розвиваюча та виховна мета вивчення теми

1. Ознайомити ад'юнктів з основними принципами побудови математичних моделей, поняттями “модель” та моделювання, з класифікацією моделей.
2. Розглянути з ад'юнктами загальні принципи побудови моделей, основні поняття та принципи дослідження операцій.
3. Навчити здобувачів проводити математичну обробку експериментальних даних за допомогою графічного методу, способу середніх та методу найменших квадратів.
4. Прищеплювати ад'юнктам самостійність, компетентність, вміння приймати правильні рішення.

### Загальні організаційно-методичні вказівки до вивчення всієї теми

1. Викладаючи теоретичний матеріал, опиратися на знання ад'юнктів, отримані ними під час вивчення як курсу вищої математики, так і спеціальних дисциплін.
2. Звернути увагу ад'юнктів на велике значення теми для проведення дисертаційного дослідження, отримання достовірних даних цього дослідження та обробки результатів їх науково-дослідної роботи.
3. Визначити важливість теми в межах дисципліни загалом.
4. Викладаючи теоретичний матеріал, слід звертати увагу ад'юнктів на зв'язок теми з іншими навчальними дисциплінами освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 252 БДК та її важливості для доведення достовірності результатів дисертаційного дослідження.
5. Організуючи відпрацювання практичних навичок в розв'язуванні задач на лабораторних заняттях слід звертати увагу ад'юнктів на практичне значення опрацьованого на лекційних заняттях та під час самостійної роботи матеріалу.
6. Під час проведення практичних занять звертати увагу ад'юнктів на необхідність і особливості відпрацювання завдань ІРГР.
7. Під час виконання лабораторних робіт формувати у ад'юнктів відповідні уміння і практичні навички роботи з комп'ютерною технікою та прикладним програмним забезпеченням, навички проведення розрахунків при розв'язуванні прикладних задач, окремі уміння і навички, необхідних фахівцю ДПСУ.

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

#### 1. Базова:

1.1. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. 444 с.

#### 2. Допоміжна:

2.1. Алексеенко Б.Н. Введение в «Основы научных исследований». Хмельницкий: Изд-во АПВУ, 1993. 94с.

## Тема № 1. Математичне моделювання у науково-прикладних дослідженнях

### Заняття № 1. Класифікація моделей та видів моделювання

#### Навчально-розвиваюча та виховна мета

1. Ознайомити ад'юнктів з основними поняттями математичного моделювання, класифікацією моделей та загальними принципами їх побудови..
2. Поглибити знання ад'юнктів щодо методів математичного моделювання.
3. Розвивати здібності ад'юнктів до систематизації знань з вищої математики, до логічного та творчого мислення, розвивати пам'ять та пізнавальну активність, виховувати такі професійні якості, як компетентність, самостійність, уважність.

**Час:** 80 хв.

**Місце:** навчальний клас за розкладом

**Вид заняття:** лекція

#### Навчально-матеріальне забезпечення:

1. Мультимедійний проектор, слайди (по можливості).
2. Екіпірування ад'юнктів –зошити, олівці, лінійки.
3. Дошка, крейда.

#### Література

##### 1. Базова:

1.1. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. 444 с.

##### 2. Допоміжна:

2.1. Алексеенко Б.Н. Введение в «Основы научных исследований». Хмельницкий: Изд-во АПВУ, 1993. 94с.

#### Навчальні питання і розрахунок часу

| № з/п      | Навчальні питання                      | Час (хв.) |
|------------|--|-----------|
| <b>I</b>   | <b>ВСТУПНА ЧАСТИНА</b>                 | 5         |
| <b>II</b>  | <b>ОСНОВНА ЧАСТИНА</b>                 | 70        |
|            | 1. Модель та моделювання.              | 20        |
|            | 2. Класифікація моделей.               | 20        |
|            | 3. Загальні принципи побудови моделей. | 30        |
| <b>III</b> | <b>ЗАКЛЮЧНА ЧАСТИНА</b>                | 5         |

## **Вказівки по порядку та методиці проведення лекції**

### **I. Загальні організаційно-методичні вказівки**

1. Перед початком лекції прийняти рапорт чергового та привітатись.
2. Прослідкувати, чи всі ад'юнкти мають можливість конспектувати лекцію. Якщо - не всі, то постаратись усунути цей недолік.
3. Після закінчення лекції попрощатись і відпустити ад'юнктів на перерву.
4. Заповнити журнал.

### **II. Методичні вказівки по вступній частині**

1. Привітатись.
2. Провести актуалізацію опорних знань шляхом фронтального опитування.
3. Дати коротку характеристику навчальної дисципліни, теми загалом та теми заняття. Зачитати мету заняття і план лекції.
4. Підкреслити актуальність навчальної дисципліни та теми для розв'язування в подальшому фахово-орієнтованих та військово-прикладних задач, проведенні власних наукових досліджень.

### **III. Методичні вказівки по основній частині**

1. Розглянути основні питання, що винесені на лекцію.
2. Дати можливість ад'юнктам основні положення в ході лекції законспектувати.
3. Після завершення кожного навчального питання підвести підсумок.

### **IV. Методичні вказівки по заключній частині**

1. З'ясувати, по можливості, чи ад'юнкти зрозуміли матеріал лекції.
2. Відповісти на питання.
3. Висловити свої зауваження аудиторії, якщо такі будуть.
4. Оголосити завдання на самопідготовку:
  - а) опрацювати конспект лекції;
  - б) вивчити матеріал за літературою –  
[1.1] Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. С.8-48;
  - в) підготуватись до наступного заняття – лекція 2.1. «Наближені методи розв'язування прикладних задач».
5. Оголосити закінчення заняття.

## Зміст заняття

### I. ВСТУПНА ЧАСТИНА

1. Прийняття рапорту чергового.
2. Привітання.
3. Перевірка готовності ад'юнктів до заняття.
4. Усунення виявлених недоліків.
5. Видача переліку рекомендованої літератури з теми та лекції.
6. Оголошення теми і мети заняття, плану лекції.

## Хід заняття

### II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

#### Зміст основної частини

#### *1-ше навчальне питання. Модель та моделювання*

Сьогодні на занятті ми розглянемо такі поняття, як “операція”, “рішення”, “оптимальне рішення”, “критерій” і “математична модель”.

Під **операцією** розумітимемо будь-який захід (або систему дій), що об'єднаний єдиним задумом і направлений на досягнення певної мети.

#### **Приклади операцій**

1. Планування ОСД ООДК.
2. Підготовка пропозицій щодо укомплектування підрозділів охорони ДК особовим складом і технічними засобами охорони ДК.
3. Планування облаштування ділянки ДК інженерними засобами.
4. Система заходів, що спрямована на підвищення надійності технічного пристрою.
5. Система перевезень, що забезпечує постачання.

#### **Оптимальне рішення**

Операція завжди є керованим заходом, тобто таким, на який можна впливати. Всякий певний вибір залежних від нас параметрів ми називатимемо рішенням.

Рішення можуть бути вдалими і невдалими, розумними і безглуздими. Оптимальними називаються рішення, які за певними міркуваннями кращі інших.

Основна задача дослідження операцій – попереднє кількісне обґрунтування оптимальних рішень.

Слід відзначити, що саме ухвалення рішення виходить за рамки дослідження операцій і відноситься до компетенції відповідальної особи (або групи осіб), якій надано право остаточного вибору. При цьому виборі відповідальні за нього особи можуть враховувати разом з рекомендаціями, що впливають з математичних розрахунків, ще ряд міркувань (кількісного і якісного характеру), які не були враховані в розрахунках.

Разом з основною задачею – обґрунтуванням оптимальних рішень – до області дослідження операцій відносяться і інші задачі, зокрема такі, як:

порівняльна оцінка різних варіантів організації операції; оцінка впливу на результат операції різних параметрів (елементів рішення і заданих умов); дослідження так званих “вузьких місць”, тобто елементів керованої системи, порушення роботи яких особливо сильно позначається на успіху операції.

Ці “допоміжні задачі” дослідження операцій набувають особливої ваги, якщо розглядати операцію як не ізольований, а як складовий елемент цілої системи операцій. Так званий “системний підхід” до задач дослідження операцій вимагає обліку взаємної залежності і обумовленості цілого комплексу заходів. Зрозуміло, що загалом завжди можна об’єднати систему операцій в одну складну операцію більш “високого порядку”, але на практиці це не завжди зручно (і не завжди бажано). У ряді випадків доцільно виділяти як “операції” окремі елементи системи, а остаточне рішення приймати з урахуванням ролі і місця даної операції в системі.

### **Критерії і показники ефективності**

Розглянемо деяку операцію. Роздумуючи над організацією операції, ми прагнемо зробити її найефективнішою. Під ефективністю операції розумітимемо ступінь її пристосованості до виконання завдань, що визначаються операцією. Чим краще організована операція, тим вона ефективніша.

Для того, щоб судити про ефективність операції і порівнювати між собою за ефективністю різно організовані операції, потрібно мати деякий критерій оцінки та один чи кілька показників ефективності.

Під критерієм (критерієм оптимальності, критерієм ефективності) розумітимемо ознаку, якій має задовольняти оптимальний розв’язок. Така ознака є якісною і відображає такі характеристики, як “добре – погано”, “допустиме – неприпустиме” тощо.

Під показником ефективності (показником якості, цільовою функцією) розумітимемо кількісну міру ступеня досягнення мети операції.

Показники ефективності позначаються, як правило, прописними символами латинського алфавіту, наприклад:  $Z, F, W, U, \dots$

Конкретний вид показника ефективності, яким слід користуватися при чисельній оцінці ефективності, залежить від специфіки даної операції, її цільової спрямованості, а також від задачі дослідження, яка може бути поставлена в тій чи іншій формі.

Правильний вибір показника ефективності відіграє дуже важливу роль. У ряді випадків він визначає взагалі сенс проведення дослідження.

Розглянемо ряд прикладів, в кожному з яких показник ефективності вибраний відповідно до цільової спрямованості операції.

**Приклад 1.** Задача – розподілити пошукові групи по районах таким чином, щоб продуктивність пошуку (ймовірність виявлення порушника) була найвищою.

$W$  – продуктивність пошуку ( $W \rightarrow \max$ ).

**Приклад 2.** Задача – виявити та затримати порушника ДК.

$W$  – ймовірність затримання порушника ( $W \rightarrow \max$ ).

**Приклад 3.** Задача – розподілити засоби ураження по цілях таким чином, щоб нанести найбільший збиток противнику.

$W$  – нанесення збитків противнику ( $W \rightarrow \max$ ).

**Приклад 4.** Задача – так спланувати облаштування ДК інженерними засобами, щоб закінчити його якнайшвидше.

$W$  – середній очікуваний час облаштування (є випадкові фактори) ( $W \rightarrow \min$ ).

**Приклад 5.** Задача – забезпечити заданий рівень якості при мінімальних

затратах на контроль.

$W$  – середні очікувані затрати на контроль за одиницю часу при умові, що буде забезпечено заданий рівень якості ( $W \rightarrow \min$ ).

У всіх розглянутих прикладах показнику ефективності, яким би він не був, необхідно було надати екстремального значення.

Досліджуючи проблеми забезпечення достатньої ефективності діяльності ДПС, також необхідно оперувати певними критеріями та показниками ефективності. Останні визначаються певною функцією ДПС та її окремими складовими, формами ОСД та особливостями і умовами її реалізації.

Специфічні особливості охорони кордону обумовлюють те, що на даний момент відсутня науково обґрунтована система показників ефективної діяльності органів ДПС. Цей факт констатується рядом посадових осіб і науковців, які проводять відповідні аналіз і дослідження [11, 19-21, 25, 29].

Аналіз систем показників, які приймалися окремими науковцями в своїх дослідженнях, показав, що ці системи достатньо різні і нестійкі. Це зумовлено рядом об'єктивних і суб'єктивних причин.

Таким чином, проблемним є питання визначення єдиних систем критеріїв і показників ефективності діяльності органів ДПС, які чітко б узгоджувались із функціями ДПС та її окремими складовими, формами ОСД та особливостями і умовами її реалізації.

Найважливішими вимогами, яким повинні задовольняти критерії є: представництво; критичність до досліджуваних параметрів; максимально можлива простота; об'єднання в собі за можливістю всіх основних елементів досліджуваної операції; правильний облік стохастичності (випадковості) процесу.

Розглянемо ці вимоги докладніше.

Представництво передбачає можливість здійснення оцінки ефективності рішення основної задачі операції, а не її другорядних задач. Мета операції повинна знаходити своє пряме відображення в критерії.

Неправильний вибір критерію може привести до того, що всі дослідження виявляться марними. Тому з'ясуванню мети операції і її формалізації (тобто опису в математичних символах) має бути приділена основна увага.

Критичність критерію передбачає його чутливість до змін досліджуваних параметрів: чим ця критичність вища, тим краще.

Щодо необхідності забезпечення максимальної простоти критерію слід відзначити, що введення в нього другорядних величин може ускладнити дослідження, не приводячи ні до яких уточнень і висновків. Одна з найбільших небезпек у дослідженні операцій “за деревами не бачити лісу”.

Особливо бажано, щоб критерій був єдиним, оскільки за наявності більшої кількості критеріїв пошук оптимального рішення є значно складнішим.

Загальна форма критерію впливає з основного постулату дослідження операцій. Він полягає в наступному. Оптимальним рішенням є таке, котре забезпечує виконання поставленої задачі при мінімумі матеріальних витрат, або таке, коли при фіксованих матеріальних витратах досягається виконання поставленої задачі з максимальною ефективністю. У військовій справі кращою є перша постановка, оскільки виконання задачі, як правило, має бути забезпечене.

Загальною формою критерію при першій постановці задачі дослідження

операцій є матеріальні витрати. Оскільки єдиною мірою людської праці є гроші, то в загальному випадку матеріальні витрати повинні виражатися в грошах. З урахуванням же того, що ці витрати є величиною випадковою, то доцільно в ролі критерію приймати математичне сподівання грошових витрат на виконання даної задачі.

При першій постановці задачі дослідження операцій у ролі критеріїв можуть виступати:

- математичне сподівання кількості витратних матеріалів на виконання задачі;
- математичне сподівання кількості засобів на виконання задачі тощо.

При другій постановці задачі дослідження операцій у ролі критеріїв можуть виступати:

- ймовірність досягнення певної мети заданою кількістю чи складом сил і засобів;
- математичне сподівання частки можливих втрат чи витрат сил і засобів;
- математичне сподівання витрат часу на досягнення певної мети тощо.

Слід відмітити, що різні форми постановки задач дослідження операцій, як правило, є еквівалентними. Це означає, що при виконанні певної сукупності умов задачі мають однакове рішення.

Вище зазначалося, що при розв'язуванні задач дослідження операцій бажаним є один критерій. Однак його не завжди вдається забезпечити, що пов'язано з наявністю несумірних величин. У військових задачах, зокрема, це втрати людей і матеріальних витрат.

Можуть виникнути й інші випадки, коли є необхідним розглядати ряд критеріїв замість одного. Зокрема, ефективність великих за об'ємом, складних операцій не може бути вичерпним чином охарактеризована за допомогою одного критерію та показника. Тому на допомогу йому доводиться привертати і інші, додаткові показники. Наприклад, при аналізі військової (прикордонної) операції, крім основного показника, що характеризує її ефективність (наприклад, математичне сподівання завданого супротивнику збитку), доводиться враховувати і ряд додаткових, зокрема таких, як власні втрати, час виконання операції, витрата боєприпасів і т.ін. Наявність великої кількості показників ефективності, з яких деякі бажано максимізувати, а інші мінімізувати, характерна для будь-якої більш-менш складної задачі дослідження операцій.

## **Математична модель операції**

### Загальні положення про моделювання та модель

Для застосування кількісних методів дослідження в будь-якій області завжди вимагається побудувати ту, чи іншу математичну модель явища. Не становить винятку і дослідження операцій. Безпосередня побудова моделі є необхідною, як правило, при вивченні складних об'єктів і процесів, в яких результуюча дія причинно-наслідкових зв'язків не очевидна, а проведення експериментів або недоцільне, або неможливе, як наприклад, для процесів збройного конфлікту. В таких випадках найбільш широко використовуються математичні моделі, що дозволяють встановити зв'язок характеристик об'єктів моделювання, що цікавлять дослідника, з безліччю параметрів об'єктів, що пов'язані між собою різними функціональними залежностями.

Реальний об'єкт моделювання завжди має нескінченну кількість

особливостей, взаємозв'язків і їх проявів. Модель об'єкта може ж відображати лише певну частину найбільш суттєвих особливостей і зв'язків. Тому при побудові математичної моделі реальний об'єкт (в нашому випадку – операція) певним чином спрощується, схематизується; з великої кількості факторів, що впливають на операцію, виділяється порівняно невелика кількість найважливіших і отримана схема описується за допомогою того або іншого математичного апарату. В результаті встановлюються кількісні зв'язки між умовами операції, параметрами рішення і результатом операції – показником ефективності (або показниками якщо їх в даній задачі декілька).

Слід відмітити, що один і той же об'єкт в залежності від цілей дослідження може мати різні моделі. Загальну ж модель об'єкта сформувавати неможливо.

Процес побудови моделі складається з наступних етапів: споглядання об'єкту моделювання, безпосередньо побудови моделі (абстрактного мислення) і перевірки її адекватності.

Результатом другого етапу є модель, що створена в відповідності з метою аналізу і на основі сформульованих гіпотез про об'єкт, який споглядався.

Заключним етапом є перевірка адекватності моделі. Однак через цілеспрямований і обмежений характер моделі її адекватність має перевірятися лише з точки зору виділених для моделювання сторін. При цьому на першому кроці перевірки необхідно встановити, в якій мірі отримана модель відповідає сформульованим гіпотезам про об'єкт, тобто задуму моделювання. Переконавшись у відповідності моделі сформульованим гіпотезам про об'єкт (в адекватності моделі і об'єкта з точністю сформульованих гіпотез), можна переходити до практичної перевірки якості моделі і її застосування. На етапі практичної перевірки і застосування моделі з її допомогою одержують деякі нові відомості про об'єкт, порівнюють їх з експериментальними даними, використовуючи один або кілька критеріїв, що дозволяють якісно або кількісно встановити ступінь співпадання прогнозованих і експериментальних даних. При виявленні істотних розбіжностей з'ясовуються їх причини, в разі необхідності розширяється об'єм властивостей, що підлягають аналізу, розширяється або змінюється перелік гіпотез про об'єкт і мети моделювання, коректується модель і т.д.

Таким чином, модель, як одна з основних категорій теорії пізнання, є засобом формування чіткого уявлення про дійсність, а процес моделювання – науково обгрунтованим методом оцінки систем довільної природи, який використовується при ухваленні рішень у всіх сферах людської діяльності.

З'явившись з потреб практики пізнання, моделювання в своєму розвитку пройшло етапи від натурального до математичного із застосуванням сучасних ЕОМ. Практично всі галузі людського знання направлені на побудову моделей об'єктів матеріального світу. І якщо на початкових етапах моделі будувалися і перевірялися для матеріальних об'єктів, то з часом стала можливою побудова моделей неіснуючих в природі об'єктів і подальший синтез таких об'єктів.

#### Кристалізація поняття математичної моделі

З наведеного можна зробити висновок, що під математичною моделлю операції розуміється система математичних залежностей і логічних правил, що дозволяють з достатньою повнотою і точністю: описувати найістотніші процеси, що властиві операції; за певними початковими даними прогнозувати можливий хід і результат операції; оцінювати ефективність варіантів рішень і планів; отримувати дані щодо оптимізації певних елементів, які відповідають меті операції.



### Види математичних моделей, які застосовуються в військовій галузі

За своїм призначенням у військовій галузі математичні моделі діляться на штабні і дослідницькі.

Штабна модель призначена для: забезпечення роботи командування і штабів в процесі: ухвалення рішень; планування операцій; забезпечення видачі в ритмі роботи штабів документів, що готові до подальшого використання в динаміці ОСД.

Дослідницька модель призначена для: розв'язання дослідницьких задач; обґрунтування вимог до певних засобів і способів їх застосування; оцінки ступеня впливу різних чинників на результати операції; дослідження областей застосування різних математичних методів; дослідження інших теоретичних питань математичного моделювання.

Основна відмінність штабних математичних моделей від дослідницьких полягає в оперативності застосування перших і деталізації їх опису.

### Вимоги до математичних моделей

Загальних способів побудови математичних моделей не існує. У кожному конкретному випадку модель будується, виходячи з цільової спрямованості операції і задачі наукового дослідження, з урахуванням необхідної точності рішення, а також точності, з якою можуть бути задані початкові дані.

Вимоги до моделі суперечливі. З одного боку, вона повинна бути достатньо повною, тобто в ній мають бути враховані всі важливі чинники, від яких істотно залежить результат операції. З другого боку модель повинна бути достатньо простою для того, щоб можна було встановити зрозумілі (бажано – аналітичні) залежності між параметрами, що входять в неї. При формуванні математичних моделей завжди підстерігають дві небезпеки: перша – зав'язнути в подробицях (“з-за дерев не побачити лісу”); друга – занадто спростити явище (“виплеснути разом з водою і дитину”). Тому вміння формувати математичні моделі є мистецтвом.

У складних випадках, коли побудова моделі викликає великий сумнів, корисною виявляється своєрідна “суперечка моделей”, коли одне і те ж явище досліджується на декількох моделях. Якщо наукові висновки і рекомендації від моделі до моделі змінюються мало, то це є серйозним аргументом на користь об'єктивності дослідження.

Сукупність вимог до математичних моделей, які використовуються в військовій галузі, можна розділити на загальні та спеціальні. Перші наведені в табл. 1.1, другі – в табл. 1.2. Слід відзначити, що ці вимоги є загальними і окремі з них стосуються не лише моделей військового призначення, а і моделей, що стосуються інших предметних областей.

**Таблиця 1.1**

#### **Загальні вимоги до математичних моделей**

|     | <b>Вимоги</b>                         | <b>Зміст вимог</b>  |
|-----|---------------------------------------|---|
| 1   | Достовірність результатів моделювання | Достатньо точне відображення найбільш суттєвих сторін процесів і притаманних їм закономірностей                                   |
| 2   | Оперативність                         | Можливість отримання та використання результатів моделювання в задані терміни   |
| 33. | Контрольованість результатів          | Можливість контролю результатів логікою здорового глузду, що є необхідним у зв'язку з можливістю допущення помилок вхідних даних, |

|   |                                    |   |
|---|------------------------------------|---|
|   |                                    | розробки, програмування, виходу за рамки прийнятих припущень і в зв'язку зі збоями в роботі ЕОМ   |
| 4 | Відповідність керівництва рівню    | Відповідність рівню керівництва за наявністю вихідної інформації, за ступенем її деталізації і результатів моделювання, за точністю моделювання та формою представлення даних |
| 5 | Системність                        | Узгодженість з іншими моделями за метою, призначенням, показниками і критеріями ефективності, переліком факторів, які враховуються тощо                                       |
| 6 | Модульність                        | Організація виконання окремих функцій або груп функцій окремими модулями (блоками алгоритмів) з метою підвищення ефективності розробки та супроводження моделей               |
| 7 | Безпечність інформації опрацювання | Захист від несанкційованого доступу   |

**Таблиця 1.2**

**Спеціальні вимоги до математичних моделей**

|   | Зміст вимог  |
|---|--|
| 1 | Діалоговий режим використання моделі   |
| 2 | Автоматичний контроль помилок операторів   |
| 3 | Наявність програм навчання користувачів  |
| 4 | Мультипрограмний режим (до 8 користувачів одночасно)                               |
| 5 | Багатоваріантність застосування моделі   |
| 6 | Можливість повторного використання вихідних даних з коригуванням окремих елементів |

Перша загальна вимога (крім наведеного в табл. 1.1) передбачає обов'язкове тестування, верифікацію моделі, оцінку достовірності результатів моделювання, контроль адекватності моделі реальним діям. Для більшості моделей, що використовують принципи імітації ОСД, вихідними результатами повинні бути значення меж довірчих інтервалів оцінюваних параметрів і характеристик, що отрмуються з заданою довірчою ймовірністю.

Друга вимога може бути забезпечена за рахунок підвищення технологічності експлуатації моделей шляхом мінімізації трудовитрат на підготовку і введення початкових даних, наприклад, за рахунок використання вбудованих баз даних.

Для реалізації третьої вимоги в моделях доцільно передбачити наявність режиму швидкого автономного розрахунку шуканих характеристик і режиму видачі детальних результатів для аналізу причинно-наслідкових зв'язків.

Основна складність реалізації четвертої вимоги полягає в забезпеченні балансу точності і складності моделі.

**2-ге навчальне питання. Класифікація моделей**

Класифікація моделей проводиться за такими основними Класифікація математичних моделей і вибір математичного апарату для їх опису

Моделі прийнято класифікувати за найбільш характерними ознаками. Як правило їх класифікують за: способом реалізації моделей; характером процесів і явищ в об'єкті моделювання; характером тієї сторони об'єкта, яка моделюється.

Одна з класифікацій моделей, в основу якої покладено спосіб реалізації моделей, наведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Варіант класифікації моделей за способом їх реалізації

| <b>1. Абстрактні</b>  | <b>2. Матеріальні</b>  | <b>3. Змішані</b>        |
|---|--|--------------------------|
| <i>1.1. Математичні</i><br>1.1.1. Аналітичні<br>1.1.2. Статистичні<br>1.1.3. Алгоритмічні                         | <i>2.1. Фізичні</i><br>2.1.1. Просторово подібні<br>2.1.2. Фізично подібні | <i>3.1. Напівнатурні</i> |
| <i>1.2. Словесні</i>  | <i>2.2. Аналогові</i>  |                          |
| <i>1.3. Образні</i><br>1.3.1. Гіпотетичні<br>1.3.2. Макетні   | <i>2.3. Натурні</i>  |                          |
| <i>1.4. Графічні</i><br>1.4.1. Монограми<br>1.4.2. Креслення<br>1.4.3. Схеми<br>1.4.4. Графіки<br>1.4.5. Діаграми |  |                          |

1. Абстрактна модель – знакова модель.

1.1. Математична модель – модель, в якій елементи, властивості чи явища виражаються математичними засобами. Перевагами математичних моделей є: універсальність методів, що використовуються в них; універсальність апаратури для їх дослідження; можливість дослідження будь-яких процесів, включаючи ті, які неможливо здійснити фізично; простота відшукування оптимальних розв'язків.

1.1.1. Аналітична модель – модель, в якій залежності між змінними, які її описують, є математичними виразами чи їх сукупністю. При побудові аналітичних моделей можуть застосовуватись як аналітичні, так і чисельні методи. Результати аналітичних моделей є наочними і просто відображають закономірності, що притаманні модельованому процесу.

1.1.2. Статистична модель – модель, в якій залежності між змінними, які її описують, враховують ймовірнісні характеристики об'єкта моделювання. При побудові статистичних моделей можуть застосовуватись ймовірнісно-статистичні методи. Перевагами статистичних моделей є можливість врахування в них більшої кількості факторів і параметрів, а також можливість мінімізувати кількість спрощень і припущень.

1.1.3. Алгоритмічна модель – модель у вигляді деякого алгоритму чи програми для ЕОМ. Алгоритмічну модель інколи називають імітаційною моделлю. В імітаційних моделях, як правило, відтворено процес функціонування системи в часі зі збереженням логічної структури елементів системи, послідовності явищ, що відбуваються в системі, з метою отримання відомостей про стан процесу в певні моменти часу для оцінки характеристик системи. Імітаційні моделі дозволяють достатньо просто враховувати фактори, які часто являються серйозними перешкодами при використанні аналітичних методів.

1.2. Словесна (вербальна) модель – логічний об'єкт, який замінює оригінал і

виражає його властивості за допомогою певної системи знаків і символів (опис системи та процесів за допомогою тексту на звичайній мові).

1.3. Образна (іконічна) модель – модель з наочно-чуттєвих елементів, які відображають деякі властивості структури та поведінки об'єкта. Різновидами образних моделей є гіпотетичні моделі та макети.

1.3.1. Гіпотетична модель – модель, що відображає рівень знань про об'єкт і базується на деякій гіпотезі про процеси в системі, котра висувається дослідником.

1.3.2. Макетна модель – уявний макет об'єкта, функціонування якого тотожно відображає явища і процеси, що мають місце в оригіналі.

1.4. Графічна модель – графічні об'єкти, що відтворюють кількісні співвідношення і дають можливість здійснювати прогноз щодо змін параметрів реальної системи. Різновидами графічних моделей є монограми, креслення, схеми, графіки, діаграми тощо.

2. Матеріальна модель – модель, що являє собою матеріальне утворення (технічну конструкцію).

2.1. Фізична модель – технічний пристрій (система), що відтворює явища та процеси, які моделюються. Недоліком фізичних моделей є їх низька універсальність. Фізична модель створюється спеціально для певної системи і мети дослідження. Перехід до другої системи або явища вимагає, як правило, заміни всієї моделі.

2.1.1. Просторово подібна модель – модель, у якій реалізована геометрична схожість з об'єктом.

2.1.2. Фізично подібна модель – модель, у якій реалізована схожість фізичних процесів, що протікають в системі та її моделі.

2.2. Аналогова модель – модель, що має фізичну природу, яка відрізняється від природи в оригіналі, але яка описується тими ж математичними співвідношеннями, що і оригінал.

2.3. Натурна модель – реальний об'єкт, який піддається дослідженню.

3. Змішана модель – модель, що являє собою поєднання абстрактних і матеріальних моделей.

3.1. Напівнатурна модель – модель, що є сукупністю математичної моделі деяких ланок системи та реальної апаратури, що є іншими ланками системи.

Один з варіантів класифікації моделей за характером процесів і явищ в об'єкті моделювання наведений в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Варіант класифікації моделей за характером процесів і явищ в об'єкті моделювання

| <b>1. За наявністю випадкових впливів на об'єкт</b> | <b>2. В залежності від поведінки об'єкту протягом певного проміжку часу</b> | <b>3. В залежності від процесів, що протікають в об'єкті</b> |
|---|---|--|
| <i>1.1. Детерміновані</i>                           | <i>2.1. Статичні</i>  | <i>3.1. Дискретні</i>  |
| <i>1.2. Стохастичні</i>                             | <i>2.2. Динамічні</i>   | <i>3.2. Неперервні</i>                                       |
|   |   | <i>3.3. Дискретно-неперервні</i>                             |

1.1. Детермінована модель – модель, що відображає процеси, в яких відсутні випадкові дії.

1.2. Стохастична модель – модель, що відображає процеси, в яких присутні випадкові дії.

2.1. Статична модель – модель, що відображає поведінку системи в деякий момент часу, або поведінку незмінної системи.

2.2. Динамічна модель – модель, що відображає поведінку змінної системи протягом певного проміжку часу.

3.1. Дискретна модель – модель, що описує поведінку системи, в якій протікають дискретні випадкові процеси.

3.2. Неперервна модель – модель, що описує поведінку системи, в якій протікають неперервні випадкові процеси.

3.1. Дискретно-неперервна модель – модель, що описує поведінку системи, в якій протікають, як дискретні, так і неперервні випадкові процеси.

Один з варіантів класифікації моделей за характером тієї сторони об'єкта, яка моделюється, наведений в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Варіант класифікації моделей за характером тієї сторони об'єкта, яка моделюється

| Моделі структури об'єкту | Моделі поведінки об'єкту |
|--------------------------|--------------------------|
|--------------------------|--------------------------|

Слід відмітити, що у військовій галузі існує і інший підхід до класифікації моделей дослідження операцій. Моделі класифікуються за наступними ознаками: за ієрархічним місцем; за характером урахування часу; за факторами, що враховуються; за кількістю розглянутих етапів; за методами врахування дій людини; за метою дослідження. Особливий інтерес являє собою класифікація за останньою ознакою. Її варіант наведений у табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Варіант класифікації моделей військового характеру за метою дослідження

| Моделі, що призначені для розв'язання тактичних задач | Моделі, що призначені для розв'язання технічних задач  |
|---|--|
| Задачі пошуку   | Задачі підготовки рекомендацій щодо розробки певних видів техніки  |
| Задачі розподілу                                      | Задачі обґрунтування вимог до окремих видів техніки  |
| Задачі управління запасами                            | Задачі порівняльної оцінки різних проектних варіантів і розробки рекомендацій щодо вибору кращого варіанту |
| Задачі масового обслуговування                        | Задачі розробки рекомендацій щодо оптимальних режимів експлуатації техніки                                 |
| Задачі боротьби                                       | Інші задачі  |
| Задачі впорядкування                                  |  |
| Задачі заміни устаткування                            |  |

Ефективність математичної моделі значною мірою визначається математичними засобами, що можуть бути використані дослідником для опису процесів, які відбуваються в реальній системі. Математичні ж засоби визначаються об'єктом дослідження та характером процесів, що протікають у ньому. Один з варіантів вибору математичних методів в залежності від об'єкта дослідження та характеру процесів, що протікають у ньому, можна оцінити з табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Варіант вибору математичних методів в залежності від об'єкта дослідження та характеру процесів, що протікають у ньому

| Детермінована модель           |                                 | Стохастична модель           |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Статична модель                | Динамічна модель                | Модель стаціонарного процесу | Модель нестаціонарного процесу  |
| Алгебра                        | Теорія диференціальних рівнянь  | Теорія ймовірностей          | Теорія випадкових процесів      |
| Інтегральне числення           | Теорія інтегральних рівнянь     | Теорія інформації            | Теорія диференціальних рівнянь  |
| Теорія диференціальних рівнянь | Теорія автоматичного управління | Математичне програмування    | Статистичні методи              |
| Математичне програмування      | Математичне програмування       |                              | Теорія автоматичного управління |
|                                |                                 |                              | Математичне програмування       |
| Інші методи                    | Інші методи                     | Інші методи                  | Інші методи                     |

### **3-є навчальне питання. Загальні принципи побудови моделей**

#### Загальні принципи побудови математичних моделей

1. Математична модель складної системи може бути сформована у вигляді сукупності математичних моделей її елементів (підсистем) і математичної моделі взаємодії між ними.

2. При формалізації взаємодії, як правило, вважають, що остання достатньо повно і точно описується у вигляді деякого механізму обміну сигналами.

3. При формуванні математичної моделі слід забезпечити достатній рівень її деталізації. Для підвищення деталізації слід збільшити кількість факторів, параметрів, які враховуються в моделі, та більш точно врахувати взаємозв'язки між ними. Для зменшення складності математичної моделі можна: зменшити кількість факторів, параметрів, які враховуються в моделі; змінити природу змінних параметрів (змінні параметри представити у вигляді сталих, дискретні у вигляді неперервних тощо); змінити допустимим чином функціональні залежності між параметрами (нелінійні замінити лінійними тощо); змінити допустимим чином обмеження.

4. При розробці математичної моделі необхідно дотримуватись принципу співрозмірності. Це означає, що: систематична помилка при моделюванні, тобто відхилення моделі від системи, має бути співрозмірна з похибкою опису; точності

окремих елементів мають бути відповідними між собою.

5. При розробці математичної моделі необхідно дотримуватись принципу балансу помилок. Це означає, що сумарна помилка моделювання може бути зменшена за рахунок взаємної компенсації помилок, що зумовлені різними причинами.

#### Методика розробки математичних моделей (етапи моделювання)

Процес розробки та застосування моделей і їх комплексів називають моделюванням. Він включає ряд технологічних етапів і представлений на рис. 1.2 у вигляді схеми алгоритму. Слід відзначити, що в штабах і в інших органах управління моделюванням називають процес застосування моделей за призначенням.

Найскладнішими в розробці є штабні моделі, які через їх масове застосування і високу відповідальність рішень, що приймаються, повинні відрізнятися високою достовірністю і оперативністю результатів моделювання при одночасній орієнтації на користувачів з різним діапазоном кваліфікації.

Аналіз алгоритму моделювання саме для цього класу моделей дозволить використовувати його і для решти класів. Однак слід зазначити, що синтез моделей різної складності не обов'язково має передбачати реалізацію всіх пунктів алгоритму.

При розробці математичних моделей слід враховувати наступні методичні рекомендації.

1. Створення моделі розпочинається з розробки змістовного опису процесу, що моделюється (див. п.1 рис. 1.2). Це передбачає:

1.1. Ретельний аналіз процесу, що моделюється. Тому насамперед необхідно детально вивчити реальний модельований процес у всіх його можливих проявах і взаємозв'язках. Для цього використовуються різні джерела інформації і численні консультації з фахівцями в даній предметній області. При цьому передбачається кілька ступенів деталізації з використанням макро- і мікропідходу. В результаті вивчення і аналізу модельованого процесу необхідно: з'ясувати його фізичну суть; встановити перелік можливих станів процесу; вибрати характеристики станів і параметри, що визначають розвиток процесу і можуть бути кількісно описані; визначити характер процесу (випадковий, детермінований і т.ін.).

Метою з'ясування фізичної суті процесу є формування і узагальнення необхідних для створення математичної моделі відомостей про об'єкт моделювання. Об'єм накопичених відомостей повинен бути більшим, ніж необхідний для побудови моделі. Це в подальшому дозволяє обґрунтовано виключати неістотні деталі. При виборі характеристик станів необхідно в першу чергу відбирати такі, які безпосередньо впливають на оцінювані показники модельованого процесу.

1.2. Визначення об'єкту та цілей моделювання. Останнє можливе на підставі зібраної інформації. При цьому необхідно вказати перелік впорядкованих за важливістю конкретних питань, на які слід отримати відповіді в результаті моделювання.

1.3. Вибір критеріїв і показників ефективності, вимог до деталізації, достовірності, оперативності. При цьому на підставі мети моделювання необхідно встановити місце і область застосування моделі, вибрати критерії ефективності, скласти та впорядкувати за важливістю перелік показників ефективності, що використовуються при моделюванні. Достовірність результатів моделювання залежить від складу факторів і параметрів, що враховуються в моделі. Для статистичних і алгоритмічних (імітаційних) моделей точність можна

характеризувати величиною довірчого інтервалу розкиду оцінюваних показників і довірчою ймовірністю попадання оцінюваного параметра в довірчий інтервал. Оперативність моделі визначається часом на підготовку, на введення початкової інформації в ЕОМ, на виконання розрахунків, на висновок і аналіз результатів, і оцінюється ймовірністю своєчасного отримання результатів моделювання. Деталізація моделі повинна забезпечити її чутливість до керованих параметрів.

1.4. Змістовний опис модельованого процесу, його поділ на складові підпроцеси. При цьому необхідним є виявлення всіх причинно-наслідкових зв'язків. Для полегшення розробки і застосування моделі необхідно розділити модельований процес на внутрішні підпроцеси і виділити серед них ті, що повторюються. При цьому слід врахувати інформаційні і логічні зв'язки між підпроцесами.

1.5. Складання переліку гіпотез про визначальні особливості і зв'язки модельованого процесу, а також визначення переліку припущень. Це є необхідним для подальшої формалізації модельованого процесу, його спрощення та врахування бракуючої інформації.

1.6. Визначення переліку зовнішніх, внутрішніх і керованих параметрів модельованого процесу, встановлення їх розмірності, типу (детерміновані, випадкові, логічні і т.п.), діапазону зміни, взаємозв'язків, джерела отримання і точності визначення, а також формування шкали значущих факторів. Останнє може бути здійснене за допомогою методу експертних оцінок. Слід відмітити, що наявність шкали значущих факторів не гарантує охоплення всіх особливостей модельованого процесу, але дозволяє уникнути серйозних, стратегічних помилок при розробці моделі.

1.7. Визначення вимог до вихідної інформації і захисту від втрати інформації. При цьому необхідно визначити склад і форму представлення результатів моделювання.

У результаті реалізації п. 1 алгоритму моделювання має бути оформлений змістовний опис модельованого процесу, в якому мають бути стисло наведені відомості про фізичну суть, причинно-наслідкові зв'язки, якісні та кількісні характеристики процесу (сформована шкала значущих факторів), відображені впорядковані за важливістю показники, що підлягають оцінці за результатами моделювання. Послідовність викладу змістовного опису повинна відповідати послідовності зміни станів модельованого процесу.

2. Наступним етапом розробки моделі є формалізація модельованого процесу (п. 2 алгоритму), яка полягає в побудові математичної моделі та алгоритму для розрахунку шуканих показників і параметрів процесу. При цьому:

2.1. Використовуючи змістовний опис, необхідно кожний підпроцес, що описаний в п. 1.4, представити у вигляді модуля (агрегату), що зв'язує значення вхідних і вихідних величин. В результаті цього формується порівняно повна агрегатна схема (А-схема) процесу.

2.2. Використовуючи шкалу значущих факторів, далі необхідно спростити А-схему. Це досягається шляхом допустимого вилучення окремих модулів, або шляхом їх заміни узагальненими параметрами. При цьому необхідно забезпечити збереження найістотніших модулів з точки зору мети, точності, достовірності і деталізації моделювання. Вилучені модулі є потенційним резервом підвищення достовірності моделі.

Сумісне ітераційне використання А-схеми моделі, шкали значущих факторів і апроксимацій окремих агрегатів дозволяє цілеспрямовано узгодити відповідність



між вимогами щодо достовірності результатів моделювання і оперативності їх отримання. Одночасно модульна структура А-схеми дозволяє достатньо просто нарощувати можливості моделі, включаючи в її склад нові модулі.

2.3. Набір параметрів моделі, що залишилися неврахованими, необхідно піддати мінімізації шляхом виключення малоістотних параметрів і формування безрозмірних комбінацій з числа тих, які залишилися (якщо це вдається). Безрозмірні аргументи значно підвищують загальність моделі.

2.4. Використовуючи інформацію про показники ефективності, тип параметрів, а також виходячи з вимог щодо точності, достовірності і оперативності моделювання необхідно вибрати математичний апарат наповнення агрегатів моделі (див. наприклад табл. 1.7). Математичний апарат повинен забезпечити достатньо точний опис головних зв'язків модельованого процесу. Слід мати на увазі, що ознакою неправильного вибору математичного апарату є різке ускладнення моделі при невеликому ускладненні модельованого процесу і виникнення реально непереборних труднощів.

2.5. Вибір математичного апарату дозволяє записати функціональні співвідношення і рівняння, що встановлюють формальні зв'язки між параметрами, факторами і показниками ефективності в модельованому процесі. Такі співвідношення та рівняння і визначають формальну модель процесу і дозволяють одержувати шукані не очевидні результати і оцінки. Далі доцільно здійснити еквівалентні спрощення отриманих співвідношень, дослідити формальну залежність параметрів і при необхідності обґрунтувати вибір процедур апроксимації реальних залежностей.

2.6. Необхідно вибрати відповідний метод оптимізації керованих параметрів і скласти формульну блок-схему алгоритму всієї моделі.

2.7. Заключною частиною етапу формалізації є перевірка адекватності моделі та алгоритму. На даний момент кількість методів перевірки, що гарантують повну адекватність отриманої моделі реальному процесу, обмежена. При цьому існуючі методи мають обмежені можливості. Практика, досвід, як єдиний критерій істини, може лише спростувати модель і ніколи не може довести її адекватність, оскільки навіть "найпростіша істина, що отримана найпростішим шляхом (від часткового до загального), завжди неповна, оскільки досвід завжди не завершений". Тому для перевірки адекватності моделі з точністю до знань про процес, що отримані на попередніх етапах, можуть використовуватися наступні непрямі методи: порівняння результатів моделювання з реальними результатами (тестування моделі на реальних даних); порівняння результатів, що отримані на основі розробленої моделі, з результатами, що отримані на апробованих моделях; перевірка моделі на наборах параметрів, для яких результат модельованого процесу відомий наперед; верифікація моделі, що полягає в аналізі ступеня відображення в моделі основних елементів і процесів, коректності зроблених припущень, прийнятих гіпотез, використаних апроксимацій; перевірка достовірності початкових даних, розмірності і масштабування параметрів в рівняннях моделі; перевірка коректності моделі при виродженні умов моделювання (при критичних даних); аналіз наявності в моделі кількісного відображення зв'язків діалектичних категорій і законів реального модельованого процесу; метод зворотного переходу.

Для більш точної оцінки адекватності використовують основні положення "Теорії подібності" або систематичний експеримент, котрий дозволяє порівняти дані, що отримані на реальному об'єкті і моделі. При цьому кількість таких порівнянь повинна забезпечити репрезентативність.

Найбільш повну перевірку адекватності аналітичних моделей забезпечує метод зворотного переходу, що полягає в можливості повернення від кінцевих функціональних співвідношень моделі до прийнятих початкових гіпотез і особливостей процесу і далі до розгляду самого реального процесу. Якщо такий перехід виявляється можливим, то він доводить адекватність аналітичної моделі реальному процесу з точністю до прийнятих гіпотез.

При виявленні неадекватності необхідно з'ясувати її причину і скоригувати (уточнити) модель.

При перевірці точності розрахунків модель покроково нарощують, включаючи відкинуті раніше фактори та параметри. Точність моделі вважається достатньою, якщо зміни результатів моделювання за рахунок включення нового фактора чи параметра виявляються меншими від змін, що зумовлюються невизначеністю початкових даних. Облік таких факторів у моделі тоді втрачає значення. Перевірка точності моделювання дозволяє встановити склад факторів шкали значущості, які повинні бути враховані в моделі для забезпечення необхідної достовірності.

Перевірка достовірності алгоритму моделі може включати: перевірку наявності в алгоритмі всіх необхідних функцій моделі; порівняння кожної функції моделі з її реалізацією в алгоритмі; контроль наявності входу і виходу у всіх логічних циклах і в алгоритмі в цілому; перевірку наявності непередбачених циклів; зворотне переведення схеми алгоритму в схему моделі; "ручну" перевірку логіки функціонування алгоритму; перевірку правильності: зв'язків і переходів; опису алгоритму в усіх вузлових точках визначення рішень; ієрархічного розміщення елементів схеми алгоритму; модифікації параметрів і повноти опису блоків; рівнянь і розмірності величин в блоках; використання в рівняннях вихідних величин і індексів; використання специфікацій; задання констант; задання початкових значень параметрів; роботи датчиків випадкових чисел.

У результаті реалізації п. 2 алгоритму моделювання має бути оформлений і перевірений на достовірність алгоритм моделі, який є основою для розробки програми. Отриманий алгоритм може бути реалізований на різних мовах програмування. Тому необхідно зробити запис алгоритму, незалежно від конкретної мови. Алгоритм доцільно представити у вигляді графічної схеми, що містить послідовність підалгоритмів (блоків), кожний з яких представляє групу елементарних операцій. Такий запис дозволяє вільно орієнтуватися в загальній структурі алгоритму.

3. Наступним етапом розробки моделі є розробка програми, що представляє собою деталізацію алгоритму моделі з точністю до операцій мови програмування (п. 4 рис. 1.2). Для реалізації цього необхідно:

3.1. Вибрати мову програмування з застосуванням якої планується здійснення моделювання. При цьому слід врахувати тип задачі та призначення мови програмування. Далі слід скласти план програмування, в якому вказати об'єм робіт і терміни їх виконання.

3.2. Відповідно до плану скласти програми окремих модулів (підпрограми), провести їх автономну відладку. Найпоширенішим способом відладки модулів є використання контрольних тестів (задач) з наперед розрахованими вихідними і найважливішими проміжними результатами.

3.3. Відповідно до плану програмування виконати ув'язуючу відладку взаємозв'язаних підпрограм. Основну увагу слід приділити контролю

інформаційних і логічних зв'язків між підпрограмами (перевірити правильність виконання умовних і безумовних переходів, використання загальних масивів пам'яті, звернення до стандартних підпрограм і т.ін.).

Після ув'язуючої відладки підпрограм проводиться сумісна відладка всієї програми з метою перевірки її дієздатності. Перевірка достовірності програми може бути здійснена за пунктами перевірки алгоритму для ієрархічної пари алгоритм-програма.

4. Заключним етапом алгоритму моделювання є впровадження моделі, що передбачає її приймальні випробування замовником, подальшу експлуатацію та неперервне науково-технічне супроводження.

Успіх застосування моделей залежить від їх ефективності.

#### Оцінка ефективності математичних моделей

Важливим питанням, що потребує уваги, є питання оцінки ефективності математичної моделі. Математична модель вважається ефективною, якщо вона задовольняє вимогам, що висуваються до моделей (див. табл. 1.1). Основними вимогами, що визначають придатність математичної моделі до практичного застосування та її ефективність, є вимоги щодо достовірності, оперативності і контрольованості результатів. набір суттєвих відомостей;

### III. ЗАКЛЮЧНА ЧАСТИНА

1. Підвести підсумок заняття.
2. Відповісти на запитання ад'юнктів.
3. Дати завдання на самопідготовку:

Завдання на самопідготовку:

- а) опрацювати конспект лекції;
- б) вивчити матеріал за літературою –

[1.1] Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. С.8-48;

в) підготуватись до наступного заняття – лекція 2.1. «Наближені методи розв'язування прикладних задач».

4. Оголосити закінчення заняття.

Автор  
професор \_\_\_\_\_ Людмила БОРОВИК  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.