

КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ТЕПЛИЦЬКИЙ Ілля Олександрович

УДК 37.01:007+37.025.7+681.51.001.57

РОЗВИТОК ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ ШКОЛЯРІВ  
ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

13.00.02 – теорія та методика навчання інформатики

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата педагогічних наук

Науковий керівник  
СОЛОВ'ЙОВ Володимир Миколайович,  
доктор фізико-математичних наук, доцент

КРИВИЙ РІГ – 2000

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ I. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ ШКОЛЯРІВ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	15
1.1. Психолого-педагогічний аналіз сучасного стану досліджень з проблеми вивчення й розвитку творчих здібностей школярів .....	15
1.2. Філософія та методологія моделювання як методу наукового пізнання.....	39
1.3. Роль, місце та зміст комп'ютерного моделювання в системі шкільної освіти .....	64
Висновки до першого розділу.....	86
РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ ШКОЛЯРІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....	90
2.1. Методична система навчання комп'ютерного моделювання.....	90
2.2. Система задач, спрямованих на розвиток творчого мислення засобами комп'ютерного моделювання та методика їх опрацювання..	114
2.3. Організація, проведення і результати педагогічного експерименту .....	138
Висновки до другого розділу.....	158
ВИСНОВКИ.....	163
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	166
ДОДАТКИ .....	186
Додаток А .....	186
Додаток Б .....	208
Додаток В.....	216

## ВСТУП

Сьогодні загальноосвітня школа зорієнтована на вирішення проблеми гуманізації освіти, тобто на створення умов для всебічного розвитку учнів із врахуванням їх індивідуальних особливостей, на адаптацію їх до життя в інформаційному світі, на виховання активної творчої особистості, яка в умовах інформатизованого суспільства могла б вільно орієнтуватися в мінливих життєвих ситуаціях. На цьому фоні з особливою гостротою постає проблема формування інтелектуального потенціалу молоді, виховання молодшої генерації особистостей, здатних забезпечити високий рівень конструкторських розробок та технологій і тим самим створити надійне наукове підґрунтя для розв'язання актуальних проблем економіки, енергетики, екології.

Виходячи з цього, в системі освіти України має бути реалізована державна програма неперервного пошуку, виявлення, зацікавлення та залучення обдарованої молоді до науково-дослідницьких робіт із використанням сучасних методів досліджень під опікою людей науки та їх наукових шкіл. В умовах падіння престижу фізико-математичних і природничо-технічних знань – теоретичної основи сучасного матеріального виробництва, – рівень роботи з наукових досліджень серед школярів і студентів у багатьох навчальних закладах знаходиться на неналежному рівні і часто має формальний характер. Практично не вироблено науково-методичних концепцій наступності «школа (гімназія, ліцей) → університет» та «обдарований учень → студент → аспірант → науковець».

Сьогодні в Україні в навчальних закладах різного рівня навчається багато здібної молоді, яка має високий рівень знань із фундаментальних дисциплін і успішно оволодіває основами інформатики й обчислювальної техніки. Дуже важливо не дати загубитися у масовому загалі таким потенційно творчим особистостям, розвинути їх здібності, прищепити навички творчого мислення – моделювати й генерувати оригінальні ідеї, приймати обґрунтовані рішення на основі використання математичних методів у поєднанні із засобами сучасної електронно-обчислювальної техніки. Усе більш гостро відчувається потреба у спрямуванні змісту навчання на ознайомлення з методами сучасних системних

досліджень, на підвищення рівня інформаційної культури молоді, на озброєння її знаннями й навичками з комп'ютерного моделювання для глибокого вивчення, кількісного і якісного аналізу сутностей об'єктів (явищ, процесів) у різних галузях знань.

У [170, с. 18] зазначається, що інформатизація освіти створює передумови для широкого впровадження в практику результатів психолого-педагогічних розробок, що забезпечують перехід від механічного засвоєння фактологічних знань до оволодіння уміннями самостійно набувати нові знання; дозволяє підвищити рівень науковості шкільного експерименту, наблизивши його методи й організаційні форми до експериментально-дослідницьких методів виучуваних наук; забезпечує залучення учнів до сучасних методів роботи з інформацією, інтелектуалізацію учбової діяльності.

Орієнтація освіти на широке впровадження сучасних інформаційних технологій передбачає відповідну корекцію змісту, форм і методів навчання, вона є відгуком на об'єктивно існуючу суспільну потребу. І хоч серед педагогів – учених і практиків – і досі не існує загальноприйнятої думки про цілі та завдання навчального курсу інформатики, проте вже зараз проявляється стійка тенденція до прийняття *комп'ютерного моделювання* одним із провідних напрямків курсу. Про це свідчать численні публікації, що все частіше з'являються у провідних науково-методичних виданнях останніх років.

Розглядаючи комп'ютерне моделювання у двох аспектах – як сучасний метод наукових досліджень та інструмент пізнання оточуючої дійсності і як об'єкт вивчення, – слід зазначити, що воно є фактором, необхідним сьогодні для розв'язування складних навчально-педагогічних проблем. Насамперед, це проблема забезпечення змістовної основи для розвитку пізнавальних інтересів і творчої активності школярів, а також проблема здійснення міжпредметної інтеграції й формування на її основі світогляду з позицій єдиного підходу до вивчення різноманітних явищ навколишнього світу.

Вивчаючи комп'ютерне моделювання, учні моделюють реальні об'єкти й одержують результати, які є новими у їхньому суб'єктивному досвіді, а іноді й

об'єктивно новими. Враховуючи, що однією з важливих вимог до моделі є забезпечення її відкритості (як у напрямі спрощення, так і ускладнення), можна стверджувати, що процес моделювання спрямований на опрацювання задач відкритого типу (задач із нечітко сформульованою умовою), а це є важливою передумовою розвитку творчого мислення школярів. Саме такі задачі сприяють посиленню пізнавальної мотивації, підвищуючи суб'єктивну значущість для учнів дослідницької діяльності у навчанні. З позицій теорії розвиваючого навчання найбільш важливою тут є саме можливість використання комп'ютерного моделювання як засобу розвитку операційних структур мислення, пов'язаних із творчими здібностями і творчою продуктивністю.

У контексті нашого дослідження відмітимо, що значний внесок у розв'язання проблеми виявлення, вивчення й розвитку творчих здібностей належить таким відомим вітчизняним психологам і педагогам, як Л.С. Виготський, О.М. Леонтьєв, С.Л. Рубінштейн, Я.О. Пономарьов, П.Я. Гальперін, В.В. Давидов, Г.С. Костюк, В.М. Дружинін, А.В. Петровський, О.М. Матюшкін, Д.Б. Богоявленська, Н.С. Лейтес, В.О. Моляко та ін., а також зарубіжним дослідникам Ж. Піаже, А. Біне, Ч. Спірмену, Д. Векслеру, Дж. Гілфорду, Е.П. Торренсу, Г. Айзенку, Р. Стернбергу, Ж. Годфруа та ін.

Актуальністю проблем, пов'язаних з інформатизацією суспільства і, зокрема, шкільної освіти, обумовлено ту глибоку зацікавленість і увагу до них, що її проявляли на протязі останніх десятиліть провідні вчені – фахівці, філософи й педагоги. Так, філософські й соціальні проблеми інформатики знайшли своє відображення в працях В.М. Глушкова, М.М. Моїсеєва, В.С. Михалевича, Л.П. Вікторова, М.В. Донського, В.А. Штоффа, І.Б. Новика, Б.А. Глинського, К.Є. Морозова та ін. Питання формування й удосконалення змісту й методики вивчення основ інформатики в середніх навчальних закладах розробляли В.С. Ледньов, А.П. Єршов, В.М. Монахов, М.П. Лапчик, В.Г. Житомирський, Г.В. Лебедев, В.А. Каймін, А.А. Кузнєцов, А.Г. Кушниренко, М.І. Жалдак, Ю.С. Рамський, А.Ф. Верлань, В.М. Касаткін, Н.В. Апатова, Н.В. Морзе, О.І. Бочкін та ін. Психолого-педагогічний та дидактичний аспекти комп'юте-

ризації навчального процесу досліджували Ю.І. Машбиць, В.П. Зінченко, Н.Ф. Тализіна, Г.В. Габай, А.Д. Ревунов, І.В. Роберт, Т. Гергей, Л. Клінберг. Так само не залишалися поза увагою дослідників і проблеми прикладної спрямованості шкільного курсу інформатики. Тут, зокрема, широко відомі результати досліджень А.П. Єршова, В.М. Монахова, А.А. Кузнєцова, М.І. Жалдака, Ю.С. Рамського, В.Г. Разумовського, Ю.А. Первина, Н. Пешель, А.Ю. Уварова, А.Н. Шляго, М. Сапіра, та ін.

Важливим результатом вивчення курсу інформатики більшість дослідників справедливо вважають розширення й поглиблення виучуваної предметної галузі за рахунок надання учням можливості моделювання, імітації виучуваних процесів і явищ, організації на цій основі експериментально-дослідницької діяльності школярів, уміння створювати й досліджувати математичні комп'ютерні моделі. При цьому велике значення навчанню прийомів роботи з ними приділене в роботах О.А. Самарського, О.П. Михайлова А.Ф. Верланя, В.Б. Распопова, А.Б. Горстко, О.А. Матюшкіна-Герке, Х. Гулда, Я. Тобочника, Дж. Ендрюса, Р. Мак-Лоуна, Т.В. Малкової, В.К. Белошапки, А.С. Лесневського, С.А. Ракова, А.В. Водолаженка, Ю.В. Тріус, Ю.О. Жука, Т.І. Чепрасової, Г.Ю. Цибко та ін.).

Огляд вітчизняної й зарубіжної навчально-методичної літератури з комп'ютерного моделювання доводить, що існуючі видання й публікації являють собою або глибоко спеціалізовані посібники з певних дисциплін, або ж окремі розрізнені статті. Систематизованого навчально-дидактичного комплексу (посібника для учнів і методичних рекомендацій для вчителів), на основі якого можна було б організувати систематичну цілеспрямовану роботу з вивчення основ технології комп'ютерного моделювання в урочній та позаурочній діяльності, сьогодні немає. Таким чином, існує протиріччя між потенціалом (можливостями) інформатизованої методичної системи розвитку творчого мислення учнів у процесі вивчення комп'ютерного моделювання і реальною педагогічною практикою. Усунення цього протиріччя є соціально значущою проблемою, що обумовлює **актуальність** даного дослідження. Останнє передбачає розробку науково обґрунтованої методичної системи засобів комп'ютерного моделювання з

метою розвитку творчого мислення учнів.

**Об'єктом дослідження** є навчальна діяльність старшокласників при вивченні шкільного курсу інформатики.

**Предметом дослідження** є методична система організації навчально-пізнавальної діяльності старшокласників, спрямована на розвиток їх творчих здібностей засобами комп'ютерного моделювання.

**Гіпотеза дослідження** – систематичне й цілеспрямоване використання у процесі навчання інформатики науково обґрунтованої системи опанування учнями технології комп'ютерного моделювання є ефективним засобом розвитку їх продуктивного мислення, який сприятиме підвищенню мотивації учіння й формуванню на цій основі стійкого інтересу до пошукової дослідницької діяльності. При цьому найбільш природним щодо сприйняття учнями середовищем моделювання для початкового вивчення курсу є електронні таблиці, що дозволяє помітно раніше розпочати курс, оскільки ознайомлення з електронними таблицями передусє вивченню мови програмування.

**Основна мета дослідження** – розробка науково обґрунтованої методичної системи вивчення основ комп'ютерного моделювання, спрямованої на розвиток творчого мислення школярів.

У відповідності з об'єктом, предметом і метою дослідження були поставлені такі **завдання**:

1. Здійснити психолого-педагогічний аналіз сучасного стану досліджень із проблеми виявлення, вивчення й розвитку творчих здібностей з метою встановлення факторів, що сприяють їх розвитку, та з'ясування вікових обмежень стосовно можливостей вивчення комп'ютерного моделювання школярами.

2. Розглянути загальнофілософські уявлення про моделювання як один із методів теоретичного пізнання з метою з'ясування його класичної та сучасної (на основі засобів обчислювальної техніки) методології, можливостей та обмежень щодо вивчення моделювання в середній школі.

3. Опрацювати відповідну спеціальну літературу з питань, пов'язаних зі специфікою інформаційного та математичного моделювання.

4. Вивчити вітчизняний та зарубіжний педагогічний досвід навчання школярів та студентів основ комп'ютерного моделювання.

5. Дослідити доцільність вивчення інформаційного комп'ютерного моделювання як одного з пріоритетних напрямків у шкільному курсі інформатики та застосування його засобів до різних навчальних дисциплін у межах одного інтегрованого курсу «Основи комп'ютерного моделювання».

6. Обґрунтувати принципи побудови системи розвиваючих творчих задач, спрямованої на формування загальної інформаційної культури і, зокрема, культури ведення наукових досліджень.

7. Створити програмно-методичний комплекс для забезпечення курсу «Основи комп'ютерного моделювання».

8. Дослідити результати впровадження курсу комп'ютерного моделювання в практику навчально-виховної роботи закладів середньої освіти – шкіл, ліцеїв, гімназій, коледжів шляхом експериментальної перевірки ефективності розробленої методики.

Для розв'язання поставлених завдань застосовувались такі теоретичні й експериментальні **методи досліджень**:

– аналіз наукової, навчальної та методичної літератури з питань психології та педагогіки про особливості творчого процесу і способи розвитку творчих здібностей учнів, з філософських проблем теорії пізнання і, зокрема, – методу моделювання, з питань інформатики й методики її навчання в середній школі; спеціальної літератури з математичного моделювання, що у сукупності дало можливість розробити вихідні положення даного дослідження;

– аналіз результатів навчання школярів у відповідності з проблемою дослідження, цілеспрямовані педагогічні спостереження, бесіди з методистами, учителями й учнями, анкетування, тестування; аналіз досвіду роботи вчителів за основними положеннями дослідження;

– педагогічний експеримент (констатуючий, пошуковий та формуючий) із наступною статистичною обробкою результатів.

Вибір методів дослідження визначався особливостями розв'язуваних завдань.



**Методологічною основою** дослідження є

- положення теорії пізнання про пізнання як активну перетворюючу та відображуючу діяльність та про методологію моделювання (В.А. Штофф, І.Б. Новик, К.Є. Морозов, Б.О. Глинський, В.М. Глушков, М.М. Моїсеєв, та ін.);
- системно-структурний підхід до аналізу навчальної діяльності;
- положення психології та педагогіки про активність та розвиток особистості у процесі пізнання (Т.І. Шамова, Н.А. Менчинська, Г.І. Щукіна, В.А. Крутецький та ін.);
- теорія діяльнісного підходу до процесу навчання (Л.С. Виготський, О.М. Леонтьєв, С.Л. Рубінштейн та ін.);
- теорія розвиваючого навчання (В.В. Давидов, З.І. Калмикова, І.С. Якиманська, С.І. Кабанова-Меллер, М.П. Барболін та ін.);
- теорія проблемного навчання (О.М. Матюшкін, М.І. Махмутов та ін.);
- концепції формування прийомів розумової діяльності (С.І. Кабанова-Меллер, В.А. Крутецький, Н.Ф. Тализіна, Г.В. Габай та ін.);
- теорія поетапного формування розумових дій та орієнтувальної основи діяльності (Д.Б. Ельконін, П.Я. Гальперін, Н.Ф. Тализіна та ін.);
- концепції розвитку творчих здібностей (В.М. Дружинін, В.О. Моляко, Д.Б. Богоявленська, О.Ф. Єсаулов та ін.);
- основні положення вікової та педагогічної психології (Ж. Піаже, А.В. Петровський, М.С. Лейтес, І.С. Кон та ін.);
- загально-дидактичні положення (М.І. Скаткін, В. Оконь, Ю.О. Бабанський, Л. Клінберг та ін.).

У ході дослідження враховувались:

- концепції інформатизації освіти й формування основ інформаційної культури та тенденції використання нових інформаційних технологій у процесі навчання (А.П. Єршов, В.М. Монахов, М.І. Жалдак, А.А. Кузнецов, Е.І. Кузнецов, А.Г. Кушниренко, В.А. Каймін, І.В. Роберт та ін.);
- загальнодидактичні положення про структуру методичної системи навчання (А.М. Пишкало, А.А. Кузнецов, В.М. Долматов та ін.);

– результати досліджень методистів з математики та фізики про критерії відбору та принципи створення системи творчих вправ і завдань (В.Г. Разумовський, Т.В. Малкова, В.М. Монахов, Л.М. Фридман, А.О. Матюшкин-Герке, Р.І. Малафєєв, Л.Р. Калапуша, Ю.О. Жук, М.Л. Фокін та ін.).

– рекомендації вчених-методистів про роль, місце й зміст комп'ютерного моделювання у шкільному курсі інформатики (Н.Л. Буланова, Д.В. Волков, В.Б. Хозієв, П.Д. Ширков, А.О. Матюшкин-Герке, Ю. С. Рамський, О.І. Бочкін, О.М. Островська та ін.).

**Наукова новизна дослідження** полягає у тому, що:

– визначено окремий напрямок удосконалення методики вивчення шкільного курсу інформатики з метою підвищення його навчаючої, розвиваючої та виховної функцій;

– запропоновано й обґрунтовано цілісний підхід до вивчення основ комп'ютерного моделювання, спрямований на розвиток творчих здібностей школярів у нерозривному зв'язку з формуванням елементів їх інформаційної культури та підготовки до майбутньої дослідницької діяльності;

– розроблено окремі необхідні компоненти науково-методичного і дидактичного забезпечення процесу навчання основ комп'ютерного моделювання – навчально-методичний комплекс (посібник для учнів, методичні рекомендації для вчителів, програмні засоби тощо).

**Теоретична значущість дослідження** визначається тим, що:

– встановлено прийнятні співвідношення між предметною діяльністю й творчістю і на цій основі обґрунтовано можливість і доцільність розвитку творчих здібностей на основі широкого використання засобів комп'ютерного моделювання;

– доведено можливість застосування теорії поетапного формування розумових дій для розвитку творчих компонентів мислення;

– встановлено доцільність проектування творчої діяльності учнів із комп'ютерного моделювання у відповідності до циклічного процесу наукової творчості;

- визначено критерії відбору завдань для розвитку творчих здібностей учнів на основі систематичного використання засобів обчислювальної техніки;
- у процесі навчально-пізнавальної діяльності з комп'ютерного моделювання розкрито гуманітарний потенціал інформатики, пов'язаний з формуванням наукового світогляду на основі інтеграції знань із різних дисциплін, розвитком творчого мислення, розумінням глобальних проблем, що стоять перед людством, усвідомленням власної ролі в оточуючому світі;
- систематизовано стратегії й тактики мислительної діяльності при розв'язуванні творчих задач теоретичного і прикладного змісту;
- виявлено позитивний вплив вивчення курсу основ комп'ютерного моделювання на рівень творчих здібностей учнів.

**Практичне значення дослідження** визначається тим, що:

- виявлено напрямки удосконалення навчально-виховного процесу й активізації учбової діяльності за рахунок використання нової інформаційної технології навчання та прикладної спрямованості дослідження;
- розроблено методичні основи розвитку творчих здібностей школярів в урочній та позаурочній навчальній діяльності з інформатики засобами комп'ютерного моделювання, що сприяє формуванню наукового світогляду, виробленню дослідницьких умінь та навичок, гуманізації та гуманітаризації навчально-виховного процесу;
- висунуті теоретичні положення доведені до практичної реалізації у вигляді навчального посібника для учнів та методичних рекомендацій для вчителів;
- запропонована методична система впроваджується в практику роботи шкіл, ліцеїв та гімназій.

**Особистий внесок здобувача.** У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати:

- складено алгоритми та здійснено комп'ютерну реалізацію моделей у середовищі електронних таблиць;
- розроблено факультативний курс основ комп'ютерного моделювання;

– створено програмно-методичний комплекс (навчальний посібник і поурочне планування в друкованому та електронному варіантах) для комп'ютерної підтримки курсу «Основи комп'ютерного моделювання».

**На захист виносяться** такі положення:

1. Комп'ютерне інформаційне моделювання в урочній та позаурочній діяльності є ефективним засобом розвитку творчих здібностей учнів, воно стимулює їх пізнавальну активність, сприяє актуалізації та поглибленню міжпредметних зв'язків, забезпечує єдиний методологічний підхід до розв'язування широкого спектру задач, формує культуру ведення дослідницької роботи і створює реальну основу підвищення практичної значущості шкільного курсу інформатики.

2. Найбільш природним та близьким до користувача середовищем для початкового вивчення комп'ютерного моделювання є електронні таблиці, які здатні забезпечити дискретизацію моделі, легкість введення задачі в середовище моделювання, мають зручний інтерфейс користувача, багатоекранну пам'ять, широкий арсенал вказівок і функцій (у тому числі для розв'язування задач оптимізації та математичної статистики), розвинуті засоби ділової графіки й довідкової інформації, що забезпечує сприятливі умови для успішної роботи. Використання у якості середовища електронних таблиць дозволяє розпочати вивчення комп'ютерного моделювання майже на рік раніше, не чекаючи ознайомлення з програмуванням.

**Обґрунтованість та вірогідність** результатів і висновків дисертаційного дослідження забезпечується методологічними основами дослідження, відповідністю методів дослідження його меті й завданням, аналізом значного обсягу теоретичного та емпіричного матеріалу, результатами статистичного аналізу даних, отриманих у ході масового педагогічного експерименту, широким впровадженням результатів дослідження у навчально-виховній діяльності.

**Апробація роботи.** Результати дослідження обговорювались на:

- Всеукраїнській науковій конференції «Актуальні проблеми підготовки педагогічних кадрів до творчої професійної діяльності» (Київ, 1993);
- Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в освіті» (Дніпропет-

- ровськ, 1994)
- IV Українській науково-методичній конференції «Нові інформаційні технології навчання в учбових закладах України» (Одеса, 1995);
  - II Всеукраїнській конференції «Проблеми фундаментальної екології» (Кривий Ріг, 1997);
  - Всеукраїнській науково-практичній конференції «Допрофесійна педагогічна підготовка учнівської молоді в контексті реалізації цільової комплексної програми «Вчитель»» (Кривий Ріг, 1998);
  - Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми електронної промисловості у перехідний період» (Луганськ, 1998);
  - Міжнародній науково-практичній конференції «Формування творчої особистості в навчальному процесі» (Кривий Ріг, 1998);
  - III Всеукраїнській конференції «Охорона довкілля: екологічні, освітянські, медичні аспекти» (Кривий Ріг, 1998);
  - Всеукраїнському семінарі «Нові інформаційні технології навчання» при кафедрі інформатики (НПУ ім. М.П. Драгоманова, Київ, 1998);
  - Всеукраїнській науково-практичній конференції «Фізика. Математика. Нові технології навчання» (Кіровоград, 1999);
  - Всеукраїнській конференції «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності» (Кривий Ріг, 1999);
  - Всеукраїнському науково-методичному семінарі «Інформаційні технології у навчальному процесі» (Одеса, 1999);
  - VII міжнародній конференції «Математика. Комп'ютер. Образование» (Дубна, 2000);
  - Всеукраїнській конференції «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології у природничих науках» (Кривий Ріг, 2000);
  - Круглому столі журналу «Комп'ютер у школі та сім'ї» (Київ, 2000);
  - Міському постійно діючому науково-методичному семінарі «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності» (Кривий Ріг,

1998–2000);

- лекціях на курсах підвищення кваліфікації та методичних семінарів учителів інформатики в обласному інституті освіти (Дніпропетровськ, 1994–1999).
- у роботі за навчальним посібником, розробленим дисертантом.

Результати дослідження впроваджувались в роботі факультативу з основ комп'ютерного моделювання при Центрально-Міській гімназії м. Кривого Рога (1996–2000 рр.), у процесі експериментального вивчення основ комп'ютерного моделювання в школах м. Кривого Рога (1998–2000 рр.) за навчальним посібником, розробленим автором, на секції фізики Дніпропетровського обласного відділення МАН (1996–1999 рр.), при проведенні занять із методів математичного моделювання зі студентами фізико-математичного факультету Криворізького державного педагогічного університету при вивченні шкільного курсу інформатики та методики його викладання (1996–2000 рр.), при керівництві курсовими та дипломними роботами.

**Публікації.** За матеріалами дослідження опубліковано 22 роботи, із них: навчальних посібників – 1, методичних розробок – 2, статей у збірниках наукових праць – 10, матеріалів та тез конференцій – 9.

## РОЗДІЛ I. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ ШКОЛЯРІВ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### **1.1. Психолого-педагогічний аналіз сучасного стану досліджень з проблеми вивчення й розвитку творчих здібностей школярів**

Для розробки науково обґрунтованої методики розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання необхідно з'ясувати психологічні особливості творчого процесу й природу творчих здібностей. Але здійснити це без розуміння сутності творчості неможливо, і саме з цього питання існує багато суджень, думок, теорій тощо. «Можна було б навести певні положення і дати визначення деяких важливих понять, аніж розглядати погляди різних авторів на творчість. Проте, – зазначає В.М. Дружинін, – зробити це важко хоч би тому, що, можливо, жодна інша психологічна проблема не є настільки значущою для психологів» [50, с. 156]. Йдеться не про спеціальну наукову розробку понять *здібності*, *загальні здібності*, *творчі здібності* тощо, а саме про їх робоче визначення і з'ясування того головного їх змісту, який дає змогу здійснити аналіз відповідного матеріалу.

Практичне розв'язання проблеми розвитку творчих здібностей стикається з рядом серйозних труднощів. До їх числа, за визнанням психологів [10, 50, 126 та ін.], насамперед, слід віднести недостатню теоретичну розробку проблеми творчості: не існує єдиної загально визнаної теорії творчості, задовільного пояснення особливостей розвитку й виховання творчої особистості, слабо вивчені питання стимулювання творчості й розвитку творчих здібностей. І хоч існує чимало наукових робіт із загальних питань психології творчості, але майже немає відповідної літератури, спеціально призначеної для вчителів та старшокласників.

У літературі творчі компоненти розумової діяльності називають по-різному. Як синоніми до поняття «творче мислення» часто вживають терміни: продуктивне, самостійне, евристичне, креативне мислення. Синонімами до ре-

продуктивного мислення є терміни: словесно-логічне, дискурсивне, рецептивне та ін.

Творче мислення характеризується високим ступенем новизни одержуваного на його основі продукту, його оригінальністю. Це мислення з'являється тоді, коли людина, спробувавши вирішити задачу на основі її формально-логічного аналізу з прямим використанням відомих їй способів, переконується в безплідності таких спроб і в неї виникає потреба у нових знаннях, які дозволяють вирішити проблему. Ця потреба і забезпечує високу активність суб'єкта. Усвідомлення самої потреби говорить про виникнення у людини проблемної ситуації [111].

Сучасна психологія здібностей найбільш загальною категорією вважає *активність*. При цьому поведінська активність розглядається як зовнішній (позасуб'єктний) прояв активності психіки у взаємодії суб'єкта з об'єктом. У свою чергу, поведінська активність розглядається у двох формах: адаптивній і перетворюючій. У першому випадку суб'єкт пристосовується до об'єкта (оточуючого світу), асимілює його якості, включає об'єкт до системи своєї активності і змінює свої власні якості. Адаптивна поведінка поділяється на два підтипи: 1) реактивну (за реакцією на зміну середовища) і 2) цілеспрямовану. Перетворююча форма також має два підтипи: 1) творча поведінка, яка створює нове середовище, інакше – конструктивна активність і 2) руйнівна, дезадаптивна поведінка, яка не створює нового середовища, а руйнує попереднє. Усі типи людської поведінки в однаковій мірі є спеціалізованими і опосередкованими або зовнішніми, або внутрішніми засобами. Тому реактивна поведінка й діяльність відрізняються не наявністю тих або інших культуральних засобів, а джерелом активності, яке й визначає поведінку.

У дослідженнях, проведених у 60–70 роках Л.І. Анциферовою, Л.В. Брушлинським, А.М. Матюшкіним та ін. під керівництвом С.Л. Рубінштейна [172], як ефективний метод, що використовується у творчому мисленні, пропонується вища форма аналізу – «аналіз через синтез». Він полягає в тому, що «у процесі мислення об'єкт включається в усе нові й нові зв'язки і в силу



цього виступає в усе нових і нових якостях, що фіксуються у нових поняттях; з об'єкта немов би вичерпується новий зміст; він немов би повертається кожного разу іншим своїм боком, у ньому виявляються невідомі раніше властивості, відносини, розкриваються їхні можливості для досягнення мети. Зазначений механізм зветься «аналізом через синтез» насамперед тому, що виділення (аналіз) нових властивостей в об'єкті виконується через поєднання досліджуваного об'єкта з іншими предметами та явищами» [230, с. 25].

Незважаючи на те, що мислення як процес узагальненого й опосередкованого пізнання дійсності завжди містить у собі елементи творчості, питома вага їх у розумовій діяльності може бути різною. Там, де вона висока, говорять про власно творче мислення. Новизна проблеми диктує новий шлях її вирішення: стрибкоподібність, включення евристичних (пошукових) спроб, велику роль семантики (змістовного аналізу проблеми).

У процесі творчого пошуку, як відзначають дослідники, нерідко має місце зовні раптове знаходження шляху розв'язання – інсайт, «ага-переживання», причому воно часто виникає тоді, коли людина безпосередньо не зайнята розв'язуванням проблеми. Процес пошуків розв'язання у значній своїй частині здійснюється інтуїтивно, під порогом свідомості, і саме тому його результат усвідомлюється як осяяння, нібито не пов'язане з раніше здійснюваною суб'єктом діяльністю, спрямованою на відкриття нових знань.

Вивчення таких іманентних, неусвідомлених (інтуїтивних) компонентів людської психіки дозволило В.Н. Пушкіну дійти висновку, що людина, вирішуючи проблему, збирає на основі аналізу наочної ситуації набагато більше інформації, ніж сама при цьому усвідомлює. «І з чим би ми не зіткнулися на протязі свого життя, малюнок предмету будується у білкових структурах нервових клітин кори навічно...» [158, с. 31].

Н.А. Менчинською [116] було встановлено, що важливу роль у вирішенні нових для суб'єкта проблем відіграє репродуктивне мислення. У цьому випадку воно виступає на початковому етапі, коли людина намагається вирішити нову для себе задачу і переконується в тому, що знайомі способи не забезпечують

успіху. Усвідомлення цього факту активізує творче мислення, яке забезпечує відкриття нових знань, формування нових систем зв'язків, нових форм психічної саморегуляції, здібностей, що веде до зрушень у розумовому розвитку.

У цьому процесі дуже важливі інтуїтивні узагальнення, які спочатку не знаходять свого адекватного відображення в слові, оскільки сам процес пошуку знаходиться поза ясним полем свідомості. Спочатку в слові знаходить вираження його результат (Ага! Знайшов! Здогадався!), а вже потім – сам шлях до нього. Подальше усвідомлення знайденого суб'єктом розв'язання, його перевірка і логічне обґрунтування знову здійснюються на основі репродуктивного мислення. Таким чином, процес самостійного пізнання навколишньої дійсності є результатом складного переплетення, взаємодії репродуктивного і продуктивного (творчого) видів розумової діяльності.

*Отже, творче мислення характеризується високою новизною свого продукту, своєрідністю процесу його одержання і, нарешті, істотним впливом на розумовий розвиток. Воно є вирішальною ланкою в розумовій діяльності, тому що забезпечує реальний рух до нових знань.*

Одним із найважливіших принципів розвитку творчого мислення є оптимальний (такий, що відповідає цілям навчання і психічним особливостям індивіда) розвиток різних видів розумової діяльності: і абстрактно-теоретичного, і наочно-образного, і наочно-діючого, практичного мислення.

Значний вплив на ефективність розв'язання проблем, як показали результати досліджень Д.Н. Узнадзе [207], може зробити наявність установки, тобто внутрішнього неусвідомлюваного стану готовності до дії.

З психологічної точки зору немає принципової різниці між творчим мисленням ученого, який відкриває об'єктивно нові, ще невідомі людству закономірності навколишнього світу, і творчим мисленням учня, який робить відкриття суб'єктивно, тому що в основі мислення обох лежать спільні психічні закономірності. Принципово різними тут є умови пошуку нових знань і рівень розумової діяльності, що приводить до відкриття. Л.Р. Калапуша з цього приводу зауважує: «Отже, навчальний процес відрізняється від наукового пізнання

відповідних явищ і законів насамперед кількістю затраченого часу, потрібного для досягнення кінцевого результату. У зв'язку з цим процес навчання певною мірою можна вважати моделлю процесу наукового пізнання» [78, с. 19].

Одне з принципових питань психології творчості стосується природи відносин творчості й діяльності. Саме тому психологи не залишають це питання осторонь своїх професійних інтересів, причому відповідь на нього трактується у всіх можливих варіантах.

За Г.С Батіщевим [4] творчість і діяльність вважаються принципово протилежними формами людської активності.

Я.А. Пономарьов [153] вважає основною ознакою діяльності як форми активності потенційну відповідність мети діяльності її результату, тоді як для творчого акту характерним є протилежне – неузгодженість між метою (задумом, програмою тощо) і результатом. Творча активність може виникнути і в процесі діяльності, але тоді вона пов'язана з породженням побічного продукту, який у підсумку і є творчим результатом. Як бачимо, Я.А. Пономарьов, хоч і протиставляє діяльність і творчість, але не в такій категоричній формі, як це має місце у попереднього автора.

Своє трактування взаємин свідомого й несвідомого у творчому акті пропонує В.Н. Пушкін. Несвідоме активно породжує творчий продукт і подає його до свідомості, свідомість при цьому пасивна і лише сприймає творчий продукт. При здійсненні раціональної і свідомо керованої діяльності, яка завжди є доцільною, реалізується інше відношення: активність свідомості і рецептивна (пасивна) роль несвідомого, яке «обслуговує» свідомість, подаючи їй інформацію, операції тощо [158, с. 23].

Деякі дослідники вбачають джерело творчості у наслідуванні зразку. Так В.М. Дружинін підкреслює, що творчість не є цілеспрямованою діяльністю; вона є спонтанним проявом людської сутності. «Щоб творити, необхідно шляхом наслідування засвоїти зразок активності людини-творця, вийти на новий рівень оволодіння культурою і самостійно спрямуватися далі» [50, с. 161]. Ідея наслідування зразка, на наш погляд, є цілком плідною в контексті розв'язання

задачі розвитку творчих здібностей.

В.М. Дружинін вважає, що першою головною ознакою творчості є не зовнішня активність, а внутрішня – акт створення «ідеалу». Зовнішня активність є лише експлікацією продуктів внутрішнього акту. Друга основна ознака творчого акту – його спонтанність, несподіваність (раптовість), незалежність від зовнішніх ситуативних причин. Діяльність здійснюється свідомо (усвідомлюються мотиви, засоби і цілі), результатом її виступає продукт діяльності. Звичайно діяльність як форма активності здійснюється за принципом негативного зворотного зв'язку: у міру досягнення цілі вичерпується цикл діяльності. Таким чином, головна особливість творчості пов'язана зі специфікою протікання процесу в цілісній психіці як системі, що породжує активність індивіда. Проте оцінка продукту як творчого відбувається за соціальними критеріями: новизна, осмисленість, оригінальність тощо.

Найбільш цілісна концепція творчості як психічного процесу належить Я.А. Пономарьову, котрий розробив структурно-рівневу модель центральної ланки психологічного механізму творчості. «Критерієм творчого акту є рівневий перехід: потреба в новому знанні формується на вищому структурному рівні організації творчої діяльності, а засоби задоволення цієї потреби – на нижніх рівнях. Вони включаються до процесу, що відбувається на вищому рівні, і це призводить до виникнення нового способу взаємодії суб'єкта з об'єктом і створення нового знання. Творчий продукт передбачає включення інтуїції (роль несвідомого) і не може бути одержаним на основі логічного виводу» [153].

З креативністю, за Я.А. Пономарьовим, пов'язані дві особистісні якості: інтенсивність пошукової мотивації і *чутливість до побічних утворень*, що виникають у процесі мислення. Творчий акт розглядається за такою схемою: на етапі постановки проблеми активною є свідомість, на етапі розв'язування – несвідоме, а на третьому етапі відбору та перевірки правильності розв'язання знов активізується свідомість. Природно, що коли мислення із самого початку логічне, то творчий продукт може з'явитися лише у якості побічного.

Таким чином, на думку ряду психологів (Г.С.Батищев, В.М. Дружинін,

дещо м'якше Я.А. Пономарьов, В.Н. Пушкін та ін.) існують принципові розбіжності між діяльністю й творчістю. «Діяльність, на відміну від творчості, виникає внаслідок зовнішніх або внутрішніх раціональних причин («для того, щоб», або «тому що»). Творчість є спонтанною, не планованою. Діяльність є доцільною, довільною, раціональною і свідомо регульованою. Творчість є недоцільною (нецілеспрямованою), мимовільною, ірраціональною і не підлягає регуляції з боку свідомості. Діяльність спонукується певною мотивацією, функціонує за принципом негативного зворотного зв'язку: досягнення результату завершує процес діяльності. В основі творчості – глибока ірраціональна мотивація, яка спрямовується тенденцією до подолання і функціонує за типом «позитивного зворотного зв'язку»: творчий продукт лише підстобує процес, перетворюючи його у намагання досягти горизонту. Творчість є життя несвідомого. Його механізм – взаємодія домінуючого несвідомого з пасивним (рецептивним), субдомінантним свідомим» [50, с. 166].

За таких розбіжностей у трактуванні зазначених понять суттєво утруднюється або навіть втрачає сенс вживання терміну «творча діяльність», який широко використовується багатьма іншими дослідниками (А.В. Петровський, І.Я. Лернер, Д.Б. Богоявленська, В.О. Моляко, Н.С. Лейтес та ін.), які не вдаються до такого жорсткого їх розмежування. Так, Д.Б. Богоявленська підкреслює, що «основне утруднення у визначенні поняття «творчість» пов'язане, у першу чергу, із відсутністю його безпосередньо операційного психологічного наповнення; саме цим і можна пояснити використання до цих пір означення творчості лише за її продуктом – створенням нового» [10, с. 35].

Протиставлення цих понять, з одного боку, ускладнює розуміння змісту терміну «творча діяльність», що є широковживаним у психологічній літературі, а, з іншого – ускладнює можливості застосування діяльнісної теорії розумового розвитку в аспекті розвитку творчих здібностей. Позитивне розв'язання цього протиріччя було нами одержано на основі його діалектичного аналізу. Будучи двома формами активності, творчість і діяльність знаходяться у діалектичній єдності, вони є взаємопов'язаними і взаємообумовленими: розвиток творчих

здібностей можливий лише у діяльності, а розвиток і удосконалення діяльності може відбуватися лише через присутні у ній творчі компоненти. При цьому творчість виходить з під контролю свідомості лише під час творчого акту, тобто на рівні його несвідомих компонентів. Ми дотримуватимемося трактування творчості у контексті діяльності і будемо розуміти творчість як діяльність, результатом якої є створення нових матеріальних і духовних цінностей.

Творчість має подвійний психологічний аспект: особистісний і процесуальний. Вона передбачає наявність в особистості відповідних здібностей, мотивації, знань та вмінь, завдяки яким і створюється творчий продукт. Вивчення цих властивостей особистості виявляє важливу роль уяви, несвідомих компонентів розумової активності, а також потреб у самоактуалізації.

Д.Б. Богоявленська пропонує інтерпретувати природу творчої продуктивності, не вдаючись взагалі до поняття творчої здібності як до пояснювального принципу. Розкриття операційного психологічного наповнення механізму творчості стає можливим лише при розгляді феномена творчості в процесуально-діяльнісній парадигмі: не особлива специфічна (творча) здібність, а позиція суб'єкта діяльності визначає можливість творчих досягнень. В основу її експериментально-дослідницької роботи покладено ідеї теорії розвиваючого навчання В.В. Давидова [44, 45], який надавав особливого значення формуванню моральної сфери й способам організації розвиваючого навчання. Принципом його системи була не жорстка установка на досягнення результату, а навчання за допомогою «квазідослідницької діяльності» як шляху формування позиції суб'єкта діяльності.

«Якість виконання діяльності завжди обумовлена цілями й мотивами. Якщо цілі особистості знаходяться поза самою діяльністю, то діяльність виконується у кращому випадку сумлінно і її результат навіть при найкращому виконанні не перебільшує нормативу. Відзначаючи в такому разі високі здібності людини, не слід говорити про її високий творчий потенціал, оскільки творчість передбачає збіг мотиву й цілі, тобто захоплення діяльністю. Лише за цієї умови новий продукт значно перевершуватиме початковий задум. В такому разі мож-

на говорити, що мав місце розвиток діяльності з ініціативи самої особистості (фактично саморозвиток діяльності), а це і є творчість» [10, с. 35]. Автор виокремлює прояви трьох якісно відмінних рівнів творчого процесу:

1. Стимульно-продуктивний – діяльність може мати *продуктивний* характер, але це кожного разу визначається дією деякого зовнішнього стимулу.

2. Евристичний – діяльність набуває *творчого* характеру. Вона суб'єктивно оцінюється учнем як новий, «свій», «власний» спосіб, який дозволить розв'язувати поставлені задачі.

3. Креативний – самостійно знайдена емпірична закономірність використовується не лише як прийом розв'язання, а виступає у якості нової проблеми. Тут дії індивіда набувають *породжуючого* характеру і все більш втрачають форму відповіді: його результат ширший, ніж вихідна ціль. «Творчість у власному розумінні слова починається там, де результат перестає бути тільки відповіддю, тільки розв'язком заздалегідь поставленої задачі. При цьому він залишається і розв'язком, і відповіддю, але разом із тим у ньому є дещо «поверх того», що й визначає його якісно новий статус» [10, с. 35].

До того ж автором експериментально підтверджено принципово важливий факт: «Невід'ємним компонентом, засобом реалізації пізнавальної самодіяльності є теоретичне мислення. Формування теоретичного мислення, переведення його в особистісну якість – шлях формування пізнавальної самодіяльності і подальшого розвитку творчих здібностей». До теоретичних умінь згідно Р.С. Немову у психології відносять такі, що «проявляються у здатності аналізувати, узагальнювати, будувати гіпотези, теорії, виконувати перетворення інформації з однієї знакової системи на іншу. Такі уміння й навички більш над усе проявляються у творчій роботі, пов'язаній з одержанням ідеального продукту мислення» [136, с. 162].

Відповідно до цього наша методична система будується на позиціях теорії поетапного формування розумових дій та діяльнісного підходу до розвитку творчих здібностей. Вона спирається на здатність учнів до теоретичного мислення і продовжує його формування на основі міжпредметної інтеграції (зовні-

шня синтезуюча складова) і за рахунок засвоєння учнями певних методологічних засад комп'ютерного моделювання (внутрішня складова). Ці обидві складові у сукупності і покликані забезпечувати формування наукового світогляду.

Виділені Д.Б. Богоявленською три рівні (назвемо їх нульовим, початковим і розвинутим) фактично є показниками тих етапів, які повинен пройти учень у напрямку розвитку творчих здібностей і одночасно вони є рівневими критеріями для оцінювання якості творчого процесу.

Наступною важливою проблемою психології творчості є виявлення здатності індивіда до творчості (креативності) та з'ясування зв'язків між творчими здібностями й інтелектом. Остаточного розв'язання цієї проблеми немає, проте результати досліджень у цьому напрямку дають певну інформацію.

Поняття «креативність» у контексті психологічного знання набуло значення лише на початку 50-х років завдяки роботам Дж. Гілфорда, але, як зазначає Ж. Годфруа [38, с. 327], внаслідок нечіткого визначення креативності як здібності та бідності тогочасного арсеналу методик щодо її тестування систематичні дослідження почалися лише наприкінці 60-х років.

Основою концепції Гілфорда щодо креативності як універсальної пізнавальної творчої здібності стала його тривимірна модель структури інтелекту:

*зміст* (4 параметри) × *операції* (5 параметрів) × *продукти* (6 параметрів), тобто 120 специфічних типів когнітивних здібностей – складових інтелекту, які характеризуються 15 параметрами.

Дж. Гілфорд звертає увагу на існування принципової відмінності між двома типами мислительних операцій: конвергенцією (сходженням) і дивергенцією (розходженням). Конвергентне мислення актуалізується, коли при розв'язуванні задачі людині треба на основі певних умов прийняти єдино правильне рішення або обмежену умовою їх кількість. Дивергентне мислення за Гілфордом визначається як тип мислення, що йде у різних напрямках. Таке мислення допускає варіювання шляхів розв'язання проблеми і часто приводить до несподіваних висновків і результатів. Інакше кажучи, існують два способи пошуків розв'язання деякої проблеми: 1) конвергентне мислення, при якому всі



зусилля концентруються на пошуку єдино правильного вирішення на основі наявних знань і логічних міркувань; 2) дивергентне мислення, яке забезпечує «віялоподібний» пошук у всіх можливих напрямках, розгляд якомога більшого числа варіантів; такий пошук найчастіше приводить до оригінальних рішень.

Очевидно, що більшість людей із самого раннього дитинства, і особливо при навчанні у школі, звикли використовувати майже виключно конвергентне мислення. З цього приводу І.В. Коробова [87, с. 2] зазначає, що необхідність розвитку цього виду мислення очевидна: воно дає змогу виявити причинно-наслідкові зв'язки, глибоко проникнути у сутність виучуваних явищ, зробити важливі логічні висновки. Але це лише один (хоча й важливий) бік творчих здібностей людини. Незважаючи на певні позитивні якості, подібний ухил (як і взагалі будь-який ухил) у шкільній педагогіці завжди був і залишається серйозним гальмом для дітей з творчим мисленням. Розвитку дивергентного мислення з різних причин у школі не приділяється належної уваги. Якщо для розвитку конвергентного мислення доцільно користуватися алгоритмами розв'язування задач, а також чітко й конкретно поставленими питаннями, то для розвитку дивергентного мислення необхідно знімати всілякі обмеження, ставити питання ширше, загальніше, менш конкретно, вчити школярів розглядати явища з різних точок зору, вміти переключатися з абстрактної моделі на реальну ситуацію і навпаки, спиратися на уяву та на здатність дітей до фантазування.

Творчим особистостям звичайно притаманне дивергентне мислення, вони схильні утворювати нові комбінації з елементів, які більшість людей знають і використовують лише якимось одним способом, або формувати зв'язки між елементами, які на перший погляд не мають нічого спільного. За Дж. Гілфордом основними особливостями (ознаками) творчого мислення є такі: оригінальність (здатність породжувати несподівані й небанальні рішення), пластичність (здатність до численних рішень), рухливість (здатність переходити від одного аспекту проблеми до іншого, не обмежуючись однією єдиною точкою зору), семантична спонтанна гнучкість (здатність висувати різноманітні ідеї у ситуаціях, що не мають орієнтирів, підказок для цих ідей) [136, с. 290]. Саме

тому метод моделювання, що найчастіше спрямований на розв'язування задач із

нечітко сформульованою умовою, створює реальну основу для розвитку продуктивного дивергентного мислення школярів.

Більшість психологів і педагогів переконані, що творцями, так само, як і інтелектуалами, не народжуються. Усе залежить від того, які можливості надає оточення для реалізації генетично закладеного потенціалу. Цитуючи М. Фергюсона, Ж. Годфруа пише: «...творчі здібності не створюються, а вивільняються. В основу будь-якої системи виховання, що її створює суспільство, покладено конформізм. Це найбільш надійний шлях до забезпечення єдності всіх членів соціальної групи, але одночасно й найбільш надійний спосіб для придушення творчого мислення. Творча особистість чужа конформізму; саме незалежність суджень дозволяє їй досліджувати шляхи, на які не наважуються решта людей. Творча людина еkleктична, допитлива і постійно намагається поєднати факти з різних галузей; її сприйняття світу неперервно поновлюється. Звичайно творчі люди – це мрійники, вони намагаються перетворити у життя свої «маревні ідеї», одночасно приймаючи та інтегруючи ірраціональні аспекти своєї поведінки» [38, с. 440].

У психогенетичних дослідженнях В.І. Кочубея [89] підтверджено, що однією з основних умов розвитку творчої особистості є взаємодія між внутрішніми й зовнішніми чинниками – генетичною обумовленістю творчої обдарованості та умовами, що їх пропонує навколишнє середовище. Якщо високий творчий потенціал має сприятливі умови, він підноситься на ще вищий рівень; у разі менших можливостей пробудити творчість можна завдяки використанню відповідних навчально-виховних засобів. Отже, вирішальну роль у виявленні й розвитку творчих здібностей відіграють освіта й виховання.

Окреме місце в психолого-педагогічних дослідженнях творчості посідає проблема редукації творчості до інтелекту. Перші тести для оцінки інтелекту – шкала інтелектуальних здібностей для школярів – були складені А. Біне (1905 р.) у відповідності із прийнятою у той час у Франції концепцією навчан-

ня. Д. Векслер у 1939 р. створив першу шкалу інтелекту для дорослих. Він вважав, що інтелект – це глобальна здібність розумно діяти, раціонально мислити і добре вправлятися з життєвими обставинами. Більшість психологів приймають саме це означення інтелекту, який розглядається як здатність індивідуума адаптуватися до зовнішнього середовища. На сьогодні набули поширення щонайменше три основних підходи до проблеми редукції творчості до інтелекту.

1. *Творчі здібності як такі не існують.* Інтелектуальна обдарованість виступає у якості необхідної, але недостатньої умови творчої активності особистості. Головну роль у детермінуванні творчої поведінки відіграють мотивація, особистісні цінності, індивідуальні риси особистості. До основних рис творчої особистості дослідники відносять когнітивну обдарованість, чутливість до проблем, незалежність у невизначених і складних ситуаціях [50, с. 168].

Дещо осторонь цих поглядів стоїть згадана вище концепція Д.Б. Богоявленської, яка вводить поняття креативної активності особистості, вважаючи, що вона обумовлена певною психічною структурою, притаманною креативному типу особистості. Творчість є ситуативною нестимульованою активністю і проявляє себе у намаганні вийти за межі заданої проблеми [11, с. 63]. Експериментальні дослідження, проведені Д.Б. Богоявленською, А.В. Петровським та ін., доводять, що на відміну від простої доцільної адаптації, *творчість має цілепокладаючий характер*. Інтелектуальна творчість є окремим випадком більш загальної властивості активності суб'єкта, його внутрішньої готовності виходити за межі ситуативної необхідності та здатності до самозміни.

2. *Творча здібність (креативність) є самостійним фактором, незалежним від інтелекту* (Дж. Гілфорд, Е.П. Торренс, Я.А. Пономарьов, Л.Ф. Бурлачук, В.М. Блейхер та ін.).

За Дж. Гілфордом інтелект визначає успішність розуміння та засвоєння нового матеріалу, а дивергентне мислення детермінує творчі досягнення. Крім того, успішність творчої активності визначена обсягом знань, який, у свою чергу, залежить від інтелекту. Він висловлює припущення, що IQ повинен визначати верхню межу успішності розв'язування задач на дивергентне мислення.

Тести креативності за Гілфордом пов'язуються з оперуванням семантичним кодом (словесною інформацією), оскільки обмежуюча роль інтелекту для них буде вищою, ніж для невербальних тестів. Дослідження виявили, що при низькому IQ практично не буває проявів творчої обдарованості, у той час, як серед людей з високим IQ зустрічаються особи як із високим, так і з низьким рівнем розвитку дивергентного мислення. У «пом'якшеному варіанті» проголошується, що між рівнем інтелекту й рівнем креативності існує незначна кореляція.

Більш розвинутою є «теорія інтелектуального порога» Е.П. Торренса, який дійшов висновку, що зв'язок між рівнем інтелекту та креативністю є однією стороною. Згідно моделі інтелектуального порогу до рівня  $IQ < 120$  креативність й інтелект утворюють єдиний фактор, а вище цього порогу фактори креативності й інтелекту проявляються незалежно. Отже, при  $IQ > 120$  творча здібність стає незалежною від інтелекту, тобто немає креативів із низьким інтелектом, але є інтелектуали з низькою креативністю. Цей висновок добре узгоджується з даними інших дослідників, згідно з якими для кожної професії існує нижній допустимий рівень розвитку інтелекту: люди з IQ, нижчим за цей рівень, не можуть оволодіти даною професією. Якщо ж IQ вищий за цей рівень, прямого зв'язку між інтелектом та рівнем досягнень немає. Тут головну роль у визначенні успішності діяльності відіграють особистісні цінності й риси характеру.

Однак, у більш пізніх дослідженнях при усуненні обмежень на час тестування, відмови від показника правильності та усуненні фактора змагальності (Коган і Воллах, В.М. Дружинін, Л.Ф. Бурлачук і В.М. Блейхер) було встановлено, що базовою умовою формування креативності та її прояву у повсякденному житті є формування в індивіда творчої мотивації. Творча активність детермінується внутрішньою творчою мотивацією і проявляється у нерегламентованих умовах життєдіяльності. Верхнім обмежувачем її прояву є рівень загального («флюїдного» за Кеттелом) інтелекту. Існує і нижній обмежувач – мінімальний рівень інтелекту, нижче якого креативність не проявляється.

Отже, інтелект індивіда виступає як верхня границя потенціальних творчих досягнень. Використовує індивід надані йому природою можливості чи ні,

залежить від його мотивації та компетентності у тій сфері творчості, яку він для себе обрав, а також від тих зовнішніх умов, які надає йому оточення і, зокрема, суспільство [50, с. 252].

3. *Високий рівень розвитку інтелекту передбачає високий рівень творчих здібностей і навпаки.* Творчого процесу як специфічної форми психічної активності не існує. Цю точку зору поділяють багато дослідників у галузі інтелекту (Д. Векслер, Г. Айзенк, Л. Термен, Р. Стернберг та ін.). Так, Г. Айзенк, спираючись на помітну (хоч і не дуже високу) кореляцію між IQ і тестами Дж. Гілфорда на дивергентне мислення, вважав, що креативність є компонентом загальної розумової обдарованості. За Р. Стернбергом інтелект приймає участь і в розв'язуванні нових задач, і в автоматизації дій. Відношення інтелектуальної поведінки до зовнішнього світу може виражатися: 1) в адаптації; 2) у виборі типу зовнішнього середовища; 3) у перетворенні зовнішнього середовища. Якщо людина реалізує третій тип відношень, то при цьому вона проявляє творчу активність.

Результати лонгітюдних експериментів показують, що ранні інтелектуали (IQ>180) не виявляють себе як виключно талановиті творці в галузі науки, мистецтва тощо, вони не роблять суттєвого внеску у розвиток світової культури. Ранні інтелектуали стають чесними громадянами, домагаються чудового соціального стану, успішно адаптуються в суспільстві. Інтелект не лише не є завадою, але виявляється необхідною умовою досягнення успіху в демократичному суспільстві. *Але високий рівень інтелекту не гарантує творчих досягнень: можна бути інтелектуалом і не стати творцем.*

Проведений аналіз проблеми взаємин інтелекту і продуктивного мислення (включаючи і його вищий ступінь – творче мислення) дозволяє зробити висновки: 1) інтелект людини, її розум характеризується мисленням, узятим в аспекті індивідуальних відмінностей; 2) найбільш істотна ознака, що відрізняє мислення від інших психічних процесів, – спрямованість на відкриття нових знань; 3) відповідно до цього основу, ядро інтелекту складають можливості людини до більш-менш самостійного відкриття нових знань, обумовлені рівнем

розвитку творчого (продуктивного) мислення.

Як зазначалося вище, розв'язування інтелектуальної задачі, що вимагає творчого підходу, часто відбувається на спонтанному й несвідомому (інтуїтивному) рівні. Визнаючи важливу роль інтуїції у творчому акті, Я.А. Пономарьов зазначає: «Питання про психологічну природу інтуїції є питанням про механізм розв'язування задач, яке не може бути прямо одержане шляхом логічного виводу. Це той випадок, коли для необхідного перетворення ситуації задачі у суб'єкта не вистачає знань» [154, с. 231]. З цього приводу В.Г. Разумовський вносить уточнення, принципово важливе у контексті нашого дослідження: «Ця характеристика правильна, але не зовсім повна. Дійсно, нерідко інтуїтивно розв'язуються задачі, які дискурсивно, шляхом послідовного перетворення ситуації розв'язати неможливо. Однак часто інтуїтивним шляхом (скорочено, згорнуто, стрибком) розв'язуються і такі задачі, які можуть бути розв'язані дискурсивним шляхом. Отже, за здатністю інтуїтивно приймати правильні рішення стоять досвід і знання. То ж, найважливіше в інтуїтивному мисленні полягає в тому, що процес зовні проявляється як короткий та несвідомий» [162, с. 28]. Та обставина, що інтуїтивне мислення, яке є важливим компонентом творчого процесу, зумовлюється не тільки ситуацією, коли не вистачає знань, приводить до висновку про можливість розвивати його в учнів у навчальному процесі.

Психологи (С.Л. Рубінштейн [173], Я.А. Пономарьов [153], В.М. Дружинін [50], І.Я. Лернер [187], В.О. Моляко [127], О.Л. Яковлева [235] та ін.) визнають, що поняття «творчі здібності» має складну структуру. Вони виділяють його різні компоненти: мотиваційні, інтелектуально-логічні, інтелектуально-евристичні та самоорганізаційні здібності, які тісно пов'язані між собою. Провідна роль тут належить інтелектуально-евристичним здібностям. Це передусім здібність бачити різні шляхи розв'язання проблеми, генерувати ідеї, висувати гіпотези, фантазувати, асоціативно мислити, бачити суперечності, переносити знання й уміння у нові ситуації; це здатність відмовитися від нав'язуваної ідеї. Саме ця група творчих якостей, які визначають дивергентний

тип мислення, більшою мірою, ніж інші, бере участь у створенні творчого продукту.

В.О. Моляко зауважує: «Творчість може «вплітатися» у нетворчу, репродуктивну діяльність, і тоді продуктом творчості є вдосконалення. Творчість – це створення нового у різних планах і масштабах, як матеріально закріплюваного, так і матеріально не закріплюваного» [127, с. 6]. В загальній структурі творчого процесу автор виділяє ряд компонентів: сам акт творчої активності, продукт творчої активності, особистість творця, середовище та умови, в яких протікає творчість. У свою чергу в кожному з цих складників можна виділити їх основні риси. Так, творчий акт включає постановку задачі, формування і реалізацію задуму. Особистість творця характеризується здібностями, особливостями мислення, темпераментом, віком тощо. Середовище й умови – це фізичне оточення, колектив, стимулятори та бар'єри творчості.

Отже, складових творчого процесу багато. Зупинимося на деяких із них, на нашу думку, найбільш важливих, щоб простежити генезис розвитку творчої особистості й одночасно побачити важливі педагогічні аспекти щодо збереження та підтримки творчого потенціалу. Розвиток творчих здібностей людини може тривати протягом значного періоду її життя, проте в онтогенезі існують оптимальні сензитивні вікові періоди їх формування. В організації навчально-виховної діяльності, що сприяла б розвитку інтелектуально-евристичних здібностей, необхідно враховувати вікові особливості учнів [86, 99, 150]. Н.С. Лейтес [99] доводить, що формування індивідуальних особливостей відбувається в процесі вікового розвитку, і багато залежить від того, що буде взято з психічних властивостей, які виступають провідними у різні періоди дитинства, риси якого саме віку і якою мірою вплинуть на риси інтелекту. І хоч учитися ніколи не пізно, але для розвитку мислення існують жорсткі вікові обмеження.

Оскільки основною метою нашого дослідження є розробка науково обґрунтованої методичної системи засобів комп'ютерного моделювання, спрямованої на розвиток творчого мислення старшокласників, зупинимося більш докладно на особливостях розумового розвитку саме цієї вікової категорії.

Порівнюючи юнаків із підлітками, Н.С. Лейтес відзначає, що в юнаків спостерігається значний розвиток теоретичного мислення. Старшокласники частіше й наполегливіше задають питання «чому?» і висловлюють сумніви в достатності та обґрунтованості пропонованих їм пояснень, їхня мислительна діяльність є більш активною і самостійною. Їхня уява про цікавість того чи іншого навчального предмету обумовлюється потребою в самостійному осмисленні; характерним для них є потяг до узагальнень на основі окремих фактів.

Вивчення структурних зрушень у розвитку інтелекту пов'язане з психогенетичними дослідженнями Ж. Піаже [150]. Ним було виокремлено чотири співвіднесені з віком стадії: 1) до 2-х років – сенсомоторна, тут є сильною тенденція до оборотності дій; 2) від 2-х до 7 років – доопераціональна стадія, формуються мова й уявлення; 3) від 7 до 12 років – освоєння конкретних операцій, ще не розвинута формалізація операцій мислення; 4) від 12 до 15-16 років – формування «чистого» мислення, незалежного від зовнішніх операцій.

У цей четвертий період формується гіпотетико-дедуктивне мислення, здатність абстрагувати поняття від дійсності, формулювати й перебирати альтернативні гіпотези, робити предметом аналізу власну думку. В цьому віці людина вже здатна відокремлювати логічні операції від тих об'єктів, над якими вони виконуються, класифікувати твердження незалежно від змісту за їх логічним типом тощо. Стадіальний підхід до розвитку інтелекту та послідовність стадій, встановлених Ж. Піаже, не викликають заперечень з боку сучасних психологів. Однак гостро дискутуються питання про те, наскільки жорстким є зв'язок цих стадій з певним хронологічним віком і чи може перехід від конкретних операцій до формальних бути межею розділу між дитинством і юністю.

Так І.С. Кон [86] зазначає: «По-перше, опанування певних мислительних операцій неможливо відокремити від процесу навчання: адже відомі дослідження П.Я. Гальперіна, В.В. Давидова та ін. переконливо довели, що при відповідному навчанні вже третьокласники здатні розв'язувати абстрактні алгебраїчні задачі. По-друге, існує досить широкий діапазон індивідуальних відмінностей: одні люди володіють гіпотетико-дедуктивним мисленням вже у 10–11



років, інші не здатні до нього й у дорослому віці. Майже половина дорослих не вправляються із задачами, правильне розв'язання яких, за Піаже, свідчить про наявність формально-операційного мислення. По-третє, багато психологів не поділяють думку Піаже, що якісний розвиток інтелекту завершується до початку юності. З цього приводу висловлюється припущення, що за стадією вирішення проблем, якою завершується модель Піаже, йде ще одна стадія, що характеризується здатністю *знаходити й ставити проблеми*. Властивості цієї останньої фази розвитку інтелекту вбачають у такому: нестандартний підхід до вже відомих проблем, вміння включати часткові проблеми до більш загальних (родових), *постановка плідних загальних питань навіть на основі погано сформульованих задач* і т. ін.» [86, с. 45.].

З наведеного переліку можна побачити, що саме у старшому шкільному віці виникають всі необхідні психологічні передумови для здійснення цілеспрямованої навчально-педагогічної роботи з метою розвитку творчих здібностей учнів.

Аналіз літературних джерел доводить, що експериментальне дослідження креативності здебільшого проводиться серед дітей дошкільного й молодшого шкільного віку, і тут існує багато теоретичного й експериментального матеріалу. Скоріш за все, це пов'язано з тим, що в ранньому віці креативність проявляється у найбільш чистому вигляді. Тому питання про фактори, здатні впливати на прояви й розвиток креативності навіть у другому сензитивному періоді її розвитку (за Е.П. Торренсом – у 12–13 років), коли відбувається процес соціалізації особистості, визнається психологами досить складним. То ж дослідження з пошуку шляхів розвитку креативності середніх і особливо старших школярів проводяться значно рідше. Саме тому описи фундаментальних розробок такого напрямку для нас являють неабияку цінність.

Одне з таких досліджень було виконано в 60–70-х рр. В.Г. Разумовським [162, 163]. В основу цієї роботи було покладено тривимірну модель інтелекту Дж. Гілфорда. Дещо пізніше автором було показано [160, 161], що відповідно до виділених у моделі 15 факторів інтелекту «може бути визначено зміст і методи навчання, а також складено систему творчих вправ для учнів. Ці вправи

потребують застосування наукових методів пізнання: інтерпретації спостережуваних явищ, класифікації за певною ознакою, висування гіпотези, теоретичного передбачення, розв'язання конструкторських і дослідницьких проблем, моделювання, експериментальної перевірки, практичного застосування теоретичних висновків. Таким чином, учні одержують досвід творчої діяльності, необхідний для їхнього інтелектуального розвитку» [161, с. 103].

Дослідники визнають, що успішна навчальна діяльність забезпечується постійною увагою до всіх її компонентів – мотивів, учбових дій, дій самоконтролю й самооцінки (Д.Б. Ельконін [228], В.В. Давидов [44, 45]). Проте А.К. Маркова [46, 106] звертає увагу на той факт, що «психологічні характеристики навчальної діяльності – її будова, вікові особливості тощо недостатньо систематизовані, не описані самими психологами і не доведені до такого рівня, щоб бути покладеними в основу практичної роботи школи. Між тим саме послідовне відпрацювання учбової діяльності, систематично здійснюване вчителями на всіх етапах шкільної освіти, допоможе зробити принципово важливий крок до формування мотивів учіння і пізнавальних інтересів як внутрішньої характеристики самої учбової діяльності» [106, с. 4]. Отже, цілеспрямована педагогічна діяльність з метою виявлення й розвитку творчих здібностей має засновуватися на формуванні мотиваційної сфери, яка в цілому детермінує навчальну поведінку.

«Мотивація – відзначає А.К. Маркова, – виконує кілька функцій: 1) спонукує поведінку; 2) спрямовує та організовує її; 3) надає їй особистісного смислу й значення. Важливість формування всіх сторін мотиваційної сфери обумовлена тим, що лише у взаємному зв'язку і єдності вони реалізують функції мотивації: потреба, як правило, виконує функцію спонукання, ціль – спрямовуючу й організуючу функції, а мотив – смислоутворюючу. Така єдність сприяє становленню на кінець шкільного навчання основ творчої мотивації, що складається з оволодіння способами перетворення навколишньої дійсності та своєї власної діяльності» [106, с. 13]. За О.М. Леонтьєвим «смислоутворююча» функція є специфічно людською і має центральне значення для характеру мотиваційної сфери. Від того, який зміст має навчальна діяльність для конкретно-

го учня, залежать прояви решти функцій.

Всяка діяльність починається з потреб. Під потребою у психології розуміють спрямованість активності, психічний стан, що створює передумову діяльності. Будь-якій дитині притаманна потреба у нових враженнях, така, що переходить у ненасичувану пізнавальну потребу (Л.І. Божович). Без потреби не пробуджуються мотиви і людина не готова до постановки цілей. Наявність мотиву надає активності нового, більш дієвого характеру. Мотивом, найбільш адекватним навчальній діяльності, є спрямованість школяра на опанування новими способами дій. Адже саме засвоєння способів перетворення виучуваного об'єкта призводить до внутрішнього збагачення суб'єкта навчальної діяльності (учня) і тому становить специфічну відмінність такої діяльності від усіх інших видів діяльності [46, 45, 228].

Проте виникнення мотивів навчання не є достатньою умовою для ефективної учбової діяльності, якщо у школяра не сформовано уміння ставити цілі у навчальній роботі. Щоб збудити інтерес, вважав О.М. Леонт'єв, треба створити мотив, а потім відкрити школярам можливість знаходження цілі (а точніше – системи цілей) у виучуваному матеріалі. «Цікавий навчальний предмет – це і є навчальний предмет, що став «сферою цілей» учня у зв'язку з тим або іншим спонукальним мотивом» [100, с. 247].

Дослідники звертають увагу на розбіжність мотивів за емоційним тоном, за їх модальністю – позитивною або негативною. Звичайно позитивну модальність мають спонукання, що випливають із внутрішніх потреб самого учня, негативну – спонукання, що жорстко нав'язуються ззовні дорослими. Але у тих випадках, коли в результаті самоаналізу (рефлексії) негативна модальність пов'язується з проявом незадоволення учня своєю роботою, вона може розглядатися як важливий етап у становленні мотивації. Емоційне забарвлення є однією з динамічних характеристик мотивів, куди входять також сила мотиву, його інтенсивність, виразність, стійкість тощо.

У процесі вікового розвитку відбувається зміна домінуючих мотивів, а зростаючи з віком стійкість мотиваційної сфери зміцнює роль домінуючих мотивів у поведінці й розвитку школярів. Як зазначав С.Л. Рубінштейн [173],

вузлове питання – це питання про те, як мотиви, що характеризують обставини, перетворюються на те стійке, що характеризує особистість.

Психологи й педагоги (О.М. Леонтьєв, О.В. Запорожець, Л.І. Божович, І.С. Кон, Г.І. Щукіна, Н.Ф. Талізін, А.К. Маркова, П.Я. Гальперін, Д.Б. Ельконін, Д.Б. Богоявленська, Н.С. Лейтес, В.О. Моляко, О.І. Кульчицька та ін.), розглядаючи загальну картину вікової динаміки мотивів учіння, сходяться на тому, що закономірності розвитку природи і суспільства становлять для учнів неабиякий інтерес, що стимулює розвиток їх творчого мислення, розвиває творчу індивідуальність. Зокрема, за Г.І. Щукіною диференціація інтересів у старшому шкільному віці виростає «у стійку вибірково спрямованість особистості, звернену до галузі пізнання, – пізнавальний інтерес» [226, с. 13]. Сучасна вікова психологія демонструє наявність великих резервів розвитку в кожному віці і стверджує можливість створення нових типів відношення до навчання, у тому числі й формування інтересу до способів добування знань. Так, А.К. Марковою встановлено, що для підтримання стійкої мотивації необхідно: 1) здійснювати правильний відбір змісту навчального матеріалу, так щоб не викликати переважання або недовантаження школярів; 2) оптимально поєднувати сучасні методи навчання; 3) організовувати й підтримувати плідні стосунки на рівні вчитель – учень та учень – учень (група); 4) забезпечувати позитивне емоційне забарвлення від результатів навчання [105, 106, с. 15–16].

Зміст навчання виступає для учнів у вигляді тієї інформації, яку вони отримують від учителя або з навчальної літератури. Однак сама інформація як така поза потребами учня не має для нього ніякого значення і не справляє на нього будь-якого впливу, тобто є шумом, а, отже, й не спонукує до діяльності. Мотиваційний вплив здійснює лише той навчальний матеріал, інформаційний зміст якого відповідає наявним і знову виникаючим потребам. Зміст навчального матеріалу, з одного боку, має виходити з наявних знань, спиратися на них та на життєвий досвід, а з другого – бути у достатній мірі складним і важким. Інакше він не зможе задовольнити потреби психічних функцій (пам'яті, мислення, уяви), не буде викликати яскравих емоцій (позитивних і негативних). До того ж малозмістовний матеріал не сприяє виникненню й розвитку нових

потреб. Проте складність навчального матеріалу не повинна бути настільки значною, щоб відвернути учня від розв'язування досліджуваної проблеми.

Навчальний матеріал, повинен нести нову інформацію, таку, що показувала б обмеженість попереднього знання й життєвого досвіду, показувала б знайомі об'єкти з нових точок зору. А головне – показувала б, що для встановлення дійсної сутності явищ самих лише життєвих спостережень недостатньо, що відповіді на запитання «*як?*» і особливо «*чому?*» здатне дати лише теоретичне, *наукове* осмислення розглядуваного об'єкта. Саме за цієї умови в учнів може виникнути й розвинути особистісна потреба у науковому пізнанні світу.

Психолого-педагогічні дослідження й наш досвід практичної роботи доводять, що зміст навчання, орієнтований на формування науково-теоретичного стилю мислення, сприяє становленню в учнів позитивної мотивації, спрямованої на формування загальних способів та прийомів дій, характерних для наукового пізнання. Таким чином, зміст навчання повинен бути глибоко мотивованим головним чином тим, що він спрямовується на розв'язання складних проблем науково-теоретичного пізнання явищ та об'єктів навколишнього світу, на засвоєння методів такого пізнання.

Вище вже йшлося про те, що теоретичною основою нашого дослідження є, серед інших, теорія поетапного формування розумових дій П.Я. Гальперіна. Автор цієї теорії вважає, що *оскільки процес формування розумових дій повністю детермінований системою умов і прийомів, за допомогою яких він формується, то це означає можливість оволодіння, а отже, й управління ним*. Численні конкретні дослідження, проведені під керівництвом П.Я. Гальперіна [30, 31], показали, що організоване за указаним принципом формування розумових дій дозволяє ефективно управляти процесом навчання.

Характеризуючи цю теорію, В.А. Крутецький пише: «Дана концепція не визнається беззаперечно всіма психологами. Зазначається, наприклад, що неправомірно відособлювати внутрішню мову від перших двох етапів: внутрішня мова як форма внутрішнього розвитку думки є важливою на всіх етапах пізнавального процесу і є мовним засобом вираження дій» [91, с. 165].

Н.Ф. Тализіна додає, що далеко не завжди обов'язково і раціонально проходити послідовно всі зазначені етапи. «Видається недостатньо обґрунтованим

намагання так різко диференціювати й відособлювати один етап від іншого, у той час, як чітких меж між ними немає. Крім того, *ця концепція ще не розроблена з достатньою повнотою для усього процесу навчання, особливо для творчої його сторони»* [184, с. 21].

Таким чином, з одного боку, обговорювана теорія не є бездоганною, особливо у тій частині, що виділена курсивом і є основною для нашого дослідження. З іншого боку, вона є надзвичайно привабливою, оскільки дає вчителю можливість зробити процес навчання максимально керованим. Аналіз зазначеного протиріччя наводить нас на думку, що коли у якості орієнтувальної основи розумових дій виступатимуть зразки творчого мислення, то за концепцією В.М. Дружиніна про механізм розвитку творчих здібностей через наслідування згадане протиріччя розв'язується. Так, посилаючись на роботу «Проблема креативности и явление подражания» (М.: ИП РАН, 1994), виконану спільно з Н.М. Гнатко, В.М. Дружинін пише: «Для творчих особистостей характерним є, як правило, ранній (до 5 років) перший прояв творчих здібностей. Наслідування творчим зразкам як етап переходу від наївної творчості до творчості «дорослої» настає у 8–15 років. При цьому у продуктах творчості юнаків майже зникають творчі елементи (новизна, оригінальність). Але у 16–17 років творчі елементи з'являються знов. *Наслідування необхідне для оволодіння культурно закріпленим способом творчої діяльності. Тим самим наслідування є психологічним механізмом присвоювання здібностей (вторинної креативності), але базується воно на ранньому розвитку уяви, мовних здібностях, відчутті форми. У креативних учнів переважає тенденція до вибору взірця для наслідування серед професіоналів високого рівня, а некреативні учні взірця для наслідування не знаходять і не намагаються знайти. Наслідувачами-копіювальниками залишаються ті, хто наслідує погано. Для того, щоб вийти на рівень творчих досягнень, необхідно, щоб творчість стала особистісним актом, щоб потенційний творець ужився в образ іншого творця (взірець), і це емоційне прийняття іншої особистості у якості взірця є необхідною умовою подолання наслідування та виходу на шлях самостійної творчості»* [50, с. 233–239].

Отже, плануючи зміст навчання заздалегідь і подаючи учням у процесі навчання зразки творчого мислення у якості орієнтувальної основи розумових

дій, можна сподіватися на розвиток їх творчих здібностей.

## **1.2. Філософія та методологія моделювання як методу наукового пізнання**

Моделювання являє собою один з основних методів пізнання, є формою відображення дійсності і полягає у з'ясуванні чи відтворенні тих або інших властивостей реальних об'єктів (предметів і явищ) за допомогою інших об'єктів або за допомогою абстрактного опису у вигляді зображення, плану, карти, сукупності рівнянь, алгоритмів і програм [7]. Можливості моделювання, тобто перенесення результатів, отриманих у ході побудови і дослідження моделі, на оригінал засновані на тому, що модель у певному розумінні відображає (відтворює, описує, імітує) деякі риси об'єкта, що цікавлять дослідника.

Метод моделювання використовується по суті у всіх сферах пізнавальної та перетворюючої діяльності людини – від соціології та мистецтвознавства до прикладних інженерних розробок і теорії елементарних частинок. Сьогодні моделювання, збагачене досягненнями математики, інформатики, системного підходу, сприяє поглибленню людських знань про навколишній світ і переростає у засіб управління технічними системами, у засіб прийняття доцільних рішень у питаннях природокористування, економіки, державних стратегій тощо. Спостережуване в наш час зростання ролі моделювання у науковому пізнанні визначається, насамперед, внутрішньою логікою розвитку науки, необхідністю в багатьох випадках опосередкованого пізнання об'єктивної реальності. Суттєве значення в поширенні моделювання мають і економічні міркування, пов'язані з необхідністю підвищення ефективності наукових досліджень та оптимізації людської діяльності взагалі.

Для розв'язання задачі розвитку творчих здібностей школярів засобами комп'ютерного моделювання необхідно насамперед розглянути питання про особливості творчого процесу в розвитку самого методу моделювання. Процес наукової творчості у найбільш загальному вигляді описується у рамках філософського діалектичного аналізу як процес пізнання навколишнього світу.

Незважаючи на зростання інтенсивності філософських досліджень у галузі моделювання, проблематика, пов'язана з виявленням сутності цього методу сучасного наукового пізнання, меж і можливостей його застосування, є ще далеко не вичерпаною. Це обумовлено передусім тим, що метод моделювання в сучасній науці є складним і різноманітним, а головне, знаходиться в стані постійного розвитку.

Термін «*модель*» походить від латинського «*modulus*» (міра, такт, ритм, величина) і пов'язаний зі словом «*modus*» (спосіб, образ). Витоки вживання цього терміну беруть свій початок від праць давньоримського інженера й архітектора Вітрувія «Десять книг про архітектуру» (I ст. до н.е.). Протягом століть моделі використовувались без спеціального теоретичного обґрунтування в архітектурі, скульптурі і спорадично в техніці. Цей етап у розвитку методу моделювання одержав назву дотеоретичного.

Перша форма теоретичного осмислення моделювання, що спиралася на механічну подібність явищ, розроблялася в класичній фізиці XVII – XVIII століть. У природознавстві того часу розвиток наукових засад двох головних гілок моделювання – техніко-експериментальної й теоретичної – пов'язаний із творчістю І. Ньютона. Спираючись на ідею механічної схожості як на деяке узагальнення геометричної подібності, І. Ньютон закладає основи теорії подібності для техніко-експериментального моделювання й одночасно розробляє деякі передумови теоретичного моделювання. Це, зокрема, виявилось у намаганні побудувати наочну механічну модель світлових явищ і здійснити математичне моделювання явища тяжіння. Теоретичне моделювання у І. Ньютона має два різновиди. В першому з них одне явище – світло – унаочнюється за допомогою іншого – механічного руху корпускул, а у другому – в абстрактному математичному виразі закону всесвітнього тяжіння – схоплюється сутність тяжіння без з'ясування його чутливо-наочного субстрату.

В XIX ст. після відкриття закону збереження і перетворення енергії метод моделювання робить значний крок уперед, оскільки цей видатний закон природознавства перетворив ідею спільності, єдності природних сил із філософського



твердження у природознавчий факт. Адже чим повніше розкривалася об'єктивна спільність різних процесів природи, тим більшого застосування одержували міркування за аналогією, які утворювали логічну основу методу моделей.

Наступний крок у розвитку моделювання як методу теоретичного пізнання пов'язаний із працями засновника класичної електромагнітної теорії Дж. Максвелла. Система рівнянь Дж. Максвелла, яка фактично виявилася математичною моделлю електромагнітного поля, виконала видатну прогностичну функцію. З цих рівнянь випливали передбачення, яким судилося відіграти важливу роль для подальшого розуміння фізичної картини світу. У своїй творчості Дж. Максвелл приділив велику увагу проблемі побудови наочних механічних моделей для позбавлених наочності електромагнітних явищ. Оскільки у фізиці XIX ст. електромагнітні явища помилково вважалися менш фундаментальними, ніж механічні, то в плані історичної перспективи щодо розуміння фізичної картини світу ці намагання вченого виявилися марними. Однак роботи Дж. Максвелла ще у другій половині XIX ст. довели важливу роль моделювання в теоретичному пізнанні.

Для класичних форм технічного моделювання характерним є неухильне розширення трактування подібності, яке набуває при цьому все більш узагальненого вигляду. Так, наприклад, при моделюванні могли допускатися зміни масштабів оригіналу; замість геометричної подібності, коли всі деталі об'єкта змінюються в одному масштабі, могли застосовуватися різні масштаби для різних координат – афінна подібність. Теорія подібності виявилася ефективним інструментом зіставлення моделі й оригіналу. Однак апарат класичної математичної фізики – науки про математичні моделі фізичних явищ – виявився пристосованим для лінійних моделей. В широкому плані лінійність означає можливість судити про об'єкт за деяким його фрагментом. На цьому шляху в традиційній математичній фізиці досягнуто видатних успіхів, проте згадані методи виявляються непридатними при застосуванні їх до нелінійних математичних моделей. Але саме до таких моделей приводить переважна більшість реальних задач сучасного природознавства. Одна з головних причин цього

полягає в тому, що для нелінійних задач принцип подібності не виконується. Як зазначає О.А. Самарський [177, с. 39], «у сьогоденних практичних задачах подібність стала настільки рідким дарунком долі, що серйозно розраховувати на неї не доводиться». На жаль, цей факт до останнього часу не знаходить свого відображення у працях сучасних філософів.

Подальше узагальнення методу моделювання пов'язується авторами [34, 35, 137, 138] насамперед із чотирма найвидатнішими досягненнями наукового пізнання ХХ ст. – дослідним вивченням мікросвіту, тенденцією до математизації усього сучасного природознавства, розробкою кібернетичного підходу до вивчення складних систем і розвитком такого наукового напрямку, як загальна теорія систем.

Саме на етапі становлення квантової фізики повністю був усвідомлений той факт, що хоч у природознавстві й техніці значення експериментального моделювання продовжує зростати, проте однією із суттєвих рис сучасного природознавства є неухильно зростаюча роль теоретичного моделювання. Використання цього методу у фізиці елементарних частинок дозволило остаточно з'ясувати надзвичайну евристичну силу моделювання: саме у зв'язку з даною обставиною виникла науково обґрунтована впевненість у принциповій можливості пізнання різноманітних рівнів організації матерії. Фундаментальним внеском сучасної фізики у метод моделей виявилось стимулювання логіко-математичного моделювання. Відбулися докорінні зміни в розумінні тієї ролі, що її відіграє математичний апарат у пізнанні світу. Ці зміни були пов'язані з усвідомленням істинної ролі категорії відношення в об'єктивній реальності.

Структура відношень об'єктів мікросвіту не є наочною, але через логіко-математичне моделювання за допомогою позбавлених наочності моделей квантової механіки стало можливим пізнання мікросвіту. Діалектичний шлях логічного пізнання від абстрактного до конкретного нерідко виступає в сучасній фізиці як шлях від абстрактної математичної моделі до фізичної теорії, яка дає інтерпретацію моделі і висловлює фізичною мовою саму суть процесу, схоплену ще до цього в особливостях математичної моделі. За словами А. Ейнштейна,

логічна основа фізики «все більше й більше віддаляється від даних досліду, і мислений шлях від основ до теорем, що з них випливають і корелюють із чуттєвими дослідями, стає все більш важким та довгим» [227, с. 59].

Наступний етап розвитку методу моделей – кібернетичне моделювання складних систем – виступає як історично підготовлена форма моделювання. Н. Вінер [23, 24] особливо відзначав методологічну спільність моделей кібернетики й моделей фізики мікросвіту. Ця спільність має під собою глибоку основу: «і в мікрофізиці, і в кібернетиці фундаментальна роль належить узагальненню ідей статистичної фізики ХІХ століття» [23, с. 121]. Кібернетика з перших кроків формувалася як наукова дисципліна, що займається моделюванням технічних, біологічних, психічних і соціальних процесів. Кібернетика поміщає в основу методу моделювання ідею спільності неживих, живих і соціальних систем. Тут знайшов своє відображення факт належності деякої певної досліджуваної функції цілому класові об'єктів, різних за видом матеріального носія і за внутрішніми зв'язками. На цій основі статистичному характерові внутрішньої структури складних систем відповідає статистичність їх зовнішньо-поведінських функцій. Функціональний характер кібернетичного підходу й використання засобів обчислювальної техніки з метою аналізу функціональних зв'язків між компонентами складної системи різко посилює можливості методу моделювання. Завдяки використанню ЕОМ наукове пізнання одержує виключно потужний засіб реалізації модельних спроб.

Розвиток кібернетичних засобів та прийомів моделювання й особливо удосконалення засобів електронно-обчислювальної техніки дозволяють комплексно моделювати взаємопов'язані об'єкти. Певні труднощі, що зустрічаються при створенні подібних моделей взаємодії об'єктів різної природи, долаються завдяки системному підходу. Принципи системного підходу (декомпозиції, цілісності, принцип багатоаспектності розгляду об'єкта, єдності цілей та ін.) і швидкодіючі ЕОМ дозволяють моделювати взаємодію окремих «зрізів» (страт, елементів об'єкту) між собою і усього об'єкту – із середовищем. Моделі, побудовані відповідно до цих принципів, називають імітаційними. Саме тому остан-

нім часом комп'ютерне моделювання пов'язують не тільки з фундаментальними дисциплінами, а в першу чергу із системним аналізом.

Як було, очевидно, уперше помічено професором Б.Г. Юдіним [232] і згодом уточнено академіком М.М. Моїсеєвим [125], одним із провідних фахівців у галузі системного аналізу, центральною процедурою в системному аналізі є побудова узагальненої моделі, яка відображає усі фактори і взаємозв'язки реальної ситуації, що можуть проявитися в процесі дослідження. Іншими словами, основою всього системного аналізу або головним етапом дослідження при проектуванні будь-якої системи є побудова математичних моделей.

З наведеного видно, що метод моделювання – це один із давніх методів пізнання, який має ґрунтовні традиції у розвитку природознавства, і, зокрема, фізики. Для того, щоб пов'язати ці традиції із сучасними видами моделювання і при цьому більш повно розкрити своєрідність сучасних прийомів моделювання, необхідно мати широке означення даного методу.

Перше, що звертає на себе увагу при методологічному розгляді моделювання, – це виключне розмаїття його форм та видів. Проте незалежно від форм побудови і специфічних особливостей тих галузей об'єктивного світу, що відтворюються в моделях, процедура моделювання у своїй основі залишається однаковою. Цей факт дозволяє побачити принципову можливість узагальненого філософського підходу до моделювання, що охоплює його різноманітні форми.

Як зазначає В.О. Штофф [224, 225], у всіх сферах діяльності моделювання виступає у якості деякого виду опосередкування, тобто практичне або теоретичне освоєння об'єкта дослідження здійснюється за допомогою проміжної ланки – моделі. Процес моделювання є особливою формою опосередкування, коли дослідник ставить між собою та об'єктом, що його цікавить, деяку проміжну ланку – модель. Модель у такому випадку виступає у якості представника (замінника) об'єкта. Об'єктивною основою модельного опосередкування є деяка схожість моделі й об'єкта дослідження.

Моделювання, як і будь-яка інша пізнавальна процедура, не є чисто суб'єктивним вольовим актом, що здійснюється суб'єктом пізнання (дослідни-

ком) довільно. Вирішальною об'єктивною основою операції моделювання є наявність незалежної від суб'єкта відповідності між моделлю й об'єктом, що моделюється. У найбільш абстрактному вигляді ця відповідність може трактуватися як вираження їх деякої структурної відповідності. В самому процесі встановлення відповідності виявляється єдність об'єктивного й суб'єктивного, причому об'єктивний зміст цього процесу пов'язується з деякою спільністю структур моделі й оригіналу в певному відношенні, тоді як суб'єктивний елемент пов'язаний не з довільністю суб'єкта, а з реальною практичною потребою. Ця потреба і визначає необхідність у кожному конкретному випадку зіставляти об'єкт-модель з об'єктом-оригіналом.

На основі таких міркувань формулюється основна умова теоретичного обґрунтування і практичної можливості моделювання. А саме: при моделюванні має місце деяка спільність у певному відношенні між моделлю й об'єктом, що моделюється (об'єктивний фактор обґрунтування моделювання), при цьому міра і форма даної спільності задаються тією практичною потребою, для задоволення якої здійснюється операція моделювання (практично-суб'єктивний фактор обґрунтування моделювання). Така умова повинна знайти відображення в узагальненому означенні моделювання як його найважливіша якість.

В узагальненому означенні моделювання слід також врахувати і гносеологічну умову моделювання, яка полягає у тому, що модель як самостійний предмет дослідження є одночасно і певним відображенням (за виразом В.О. Штоффа – «гносеологічним образом» [225, с. 149]) об'єкта-оригінала. При дослідженні побудована модель виступає як відносно самостійний від оригіналу «об'єкт-замінювач», що є немов би «другою дійсністю», і через посередництво якого ми досягаємо предмет дослідження. При цьому на передньому плані виявляється не «образність», а «об'єктність» моделі, її здатність слугувати предметом дослідження, замінюючи в певних межах самий об'єкт дослідження.

Отже, в узагальненому означенні моделювання слід враховувати і основну онтологічну умову моделювання, і єдність «об'єктної» та «образної» сторін моделі – гносеологічну умову моделювання.

З урахуванням обох умов І.Б. Новик пропонує таке означення:

«Моделювання – це метод практичного або теоретичного опосередкованого оперування об'єктом, в ході якого безпосередньо досліджується не сам об'єкт, а деяка проміжна система – модель, яка:

а) знаходиться в деякій об'єктивній відповідності із самим об'єктом пізнання;

б) може в ході пізнання на його відомих етапах заміщувати в певних відношеннях сам виучуваний об'єкт;

в) здатна давати в процесі її дослідження нову інформацію про самий об'єкт.

Ця допоміжна система – модель може виступати як у вигляді речовинного об'єкта, так і у вигляді деякого сполучення знаків» [137, с. 15–16].

Дещо доступнішим для розуміння учнів, на нашу думку, є означення моделі, яке пропонує В.О. Штофф:

«Модель – це мислено уявлювана або матеріально реалізована система, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна замінювати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт» [225].

Таким чином, модель містить у собі найважливіші, найістотніші для даної конкретної задачі характеристики (параметри) досліджуваного об'єкта. Вона абстрагується від неістотного, другорядного. Модель – це деяка ідеалізація дійсності, деяке спрощення її. Проте ступінь спрощення та ідеалізації при побудові моделей може з часом змінюватися у відповідності до мети дослідження. З означення моделі випливає, що вона має чимось відрізнятися від об'єкта дослідження, бо інакше перестане бути моделлю й ототожниться з ним. Усяке абстрагування відбувається шляхом нехтування якимись індивідуальними особливостями досліджуваного явища, проте в процесі абстрагування можуть виявлятися й певні закономірності. Таким чином, при створенні моделей звичайно прагнуть, щоб модель була ізоморфним або хоч би гомоморфним образом системи, що моделюється. Оригінальну характеристику гомоморфізму дає Д. Пойа: «Гомоморфізм є своєрідний систематичний переклад. Оригінал не лише перек-

ладається на іншу мову, але й скорочується, так що те, що одержується у кінцевому рахунку після перекладу і скорочення, виявляється систематично рівномірно стиснутим... Тонкощі при цьому скороченні і можуть бути втрачені, але все, що є в оригіналі, чимось представлено у перекладі, і у зменшеному масштабі співвідношення зберігаються» [151, с. 49].

Процес абстрагування при створенні моделі, тобто *включення до її опису суттєвих і виключення несуттєвих ознак (властивостей) є найбільш принциповим і складним у методології моделювання*, а тому заслуговує на більш докладне обговорення.

Розглянемо ще одне означення моделі: «Під моделлю ми будемо розуміти систему, що не відрізняється від досліджуваного об'єкта відносно деяких його властивостей, які вважаються суттєвими, і відрізняється за всіма рештою властивостей, які вважають несуттєвими» [8, с. 24]. З таким означенням можна погодитися, якщо додати, що питання про суттєві й несуттєві властивості при створенні моделі одного й того самого об'єкта розв'язується залежно від мети дослідження. Ця мета може сильно варіюватися, тому одна й та сама ознака одного й того ж об'єкта може виявитися суттєвою в одній групі задач і несуттєвою в іншій. Іноді помилково вважають, що чим докладніший опис об'єкта, тим краще. «Насправді ж, – як стверджують інші автори [139, с. 136], – відсутність у моделі несуттєвих елементів є не менш важливою, ніж наявність суттєвих». Дійсно, для будь-якого опису важлива не лише його інформативність, а й узагальненість. А усяке узагальнення потребує відкидання того, що не є суттєвим з огляду на мету дослідження. Чим менше ознак виявляються суттєвими і згадуються в описі, тим ширше коло задач, тим частіше такий опис може бути використаний. Однак вимоги інформативності й узагальненості опису антагоністичні: чим більший обсяг опису (узагальненість), тим меншим виявляється його зміст (інформативність). Це за суттю відомий тезис формальної логіки стосовно обсягу та змісту понять: у міру збільшення обсягу поняття (узагальненість висловлювання) відбувається зменшення його обсягу (кількість відомостей, якими воно визначається). Тому при моделюванні й вимагається, щоб відповід-

но до поставленої мети дослідження у її опис включалося або свідомо вводилося все суттєве і виключалося все, що для цієї мети не є суттєвим.

Включення до опису моделі якомога більшої кількості ознак об'єкта оригінала пов'язане з намаганням дослідника забезпечити достатність системи ознак, навіть не звертаючи уваги на те, чи всі вони необхідні. Цим задовольняється бажання передбачити або забезпечити певний хід експерименту. Однак для розкриття причин явищ особливо важливою є перевірка необхідності введених параметрів. Це одна з важливих вимог до наукового знання. Історія науки доводить, що не включення навіть деяких суттєвих ознак мало шкодить розвитку науки, у той час як включення несуттєвих найчастіше виявляється неприпустимим. Так, наприклад, механіка Ньютона після доповнення її новими суттєвими параметрами квантової механіки не перестала існувати як наука. Офіційна ж медицина, перевіривши заклинання до умов несуттєвих, рішуче відкинула знахарство, хоч і використовує лікування травами, введене у вжиток знахарями.

Коли проведено опис об'єкта або створено його модель, то деякі параметри (властивості) об'єкта в описі моделі вже обговорені або свідомо відтворені, а решта не згадуються або не вводяться і цієї «решти» завжди дуже багато. Проблема адекватності моделі об'єкту дослідження, тобто відповідності між моделлю й об'єктом – це найчастіше питання про те, чи не виявилось щось суттєве серед того, що не включено до опису моделі, і чи не введено в опис щось несуттєве. Питання залишається нерозв'язаним доти, доки не сформульовано мету. Перевірка відповідності між описом і спостереженням – це одна з найважливіших функцій моделі, яка полягає у з'ясуванні відповідності поведінки моделі й об'єкта за певних умов або для певної групи задач. Якщо при багаторазовому повторенні натурального експерименту відбувається варіювання у широких межах несуттєвих ознак (саме для цього експеримент і здійснюють багаторазово) і при цьому результат відтворюється у межах обговореної точності, то робиться висновок, що несуттєві ознаки дійсно не повинні враховуватися. Так само шляхом варіацій кожного із суттєвих (за припущенням) параметрів перевіряється опис «на надлишковість».



Домогтися невідтворюваності у моделі того, що не передбачено, – задача нелегка, оскільки властивості, що не повинні відтворюватися, у більшості випадків невідомі. Особливо важко це з'ясувати в матеріальних моделях, які мають безліч своїх власних характеристик. Ось чому найбільш ефективними є моделі, в яких замість копіювання суттєвих властивостей об'єкта встановлюється лише система взаємно-однозначних відповідностей між параметрами об'єкта, з одного боку, і для моделі – з іншого.

Останнє твердження відображує факт існування широкого класу моделей, до яких, зокрема, належать інформаційні та математичні моделі, які взагалі не містять жодних непередбачених властивостей, оскільки все, що не обговорене, втрачає у таких моделях сенс. Адже несхожість елементів, із яких складаються модель і об'єкт, добре гарантує від випадкового відтворення у моделі властивостей об'єкта. Так, відповідні елементи об'єкта й, наприклад, математичної моделі аж ніяк не схожі між собою. Наприклад, функціональна залежність «не схожа» на графічне зображення цієї залежності або на ті процеси, що нею описуються. «Схожість» полягає лише у наявності системи однозначних відповідностей.

Таким чином, в сучасному науковому пізнанні процедура моделювання узагальнюється, у неї постійно з'являються нові риси, невпинно зростає розмаїття видів моделей. Це узагальнення стосується об'єктивної схожості моделі й системи, що моделюється: розвиток методу моделей іде від геометричної до фізичної схожості, що розкриває певну спільність різних процесів і сил, а далі і до ще більш складних форм встановлення схожості об'єктів. Як зазначає І.Б. Новик, «процес узагальнення моделювання, що проходить через усю історію науки, має принципове значення для розуміння тенденцій розвитку всього сучасного наукового пізнання» [137, с. 12].

Серед основних функцій моделювання у науковому пізнанні дослідники виділяють такі: ілюстративну, трансляційну, замісницько-евристичну, апроксимаційну та екстраполяційно-прогностичну [34, 35]. Перші дві з них сприяють зміцненню вже існуючих теорій, а решта можуть слугувати засобами побудови

нових теорій. Саме три останні функції забезпечують найбільш важливу роль моделей для пізнання.

Однак модель – це не тільки певна абстракція відносно відповідного оригіналу, вона ще й синтезує у собі особливості багатьох різних об'єктів. «Математичні моделі наділені важливою якістю – універсальністю. Це дає можливість за допомогою однакових моделей вивчати різні за своєю природою та змістом процеси навколишнього світу. На відміну від експериментальних установок потенціал математичного моделювання (моделі, алгоритми, програми), нагромаджений при дослідженнях одного кола задач, може бути гнучко й швидко пристосований до розв'язання зовсім інших проблем» [177, с. 39–40].

Внаслідок пошуків найбільш загальних підходів до моделювання під впливом кібернетики в інформатиці сформувався поняття «інформаційна модель», введене В.М. Глушковым у [36]. Інформаційну модель об'єкта В.М. Глушков трактує як «фіксацію того чи іншого рівня пізнання цього об'єкта, яка дозволяє описати не тільки його будову, але й передбачити (із тим чи іншим ступенем наближення) його поведінку». Засобом фіксації довільної інформаційної моделі вважаються мови – і природні людські, і штучні, «які будуються в процесі і нагромадження і передавання знань (наприклад, символічна мова алгебри чи мова креслень)» [36, с. 29].

Під інформаційною моделлю сьогодні розуміють організоване за певною системою правил відображення об'єкта з поданням способів інформаційних взаємодій (відношень) між його складовими та об'єкта в цілому з навколишнім оточенням. Такі моделі «описують інформаційні процеси і використовуються в інформаційних системах» [167, с. 27], при цьому параметри моделі та її складові подано у числовій, текстовій або іншій сигнальній формі [205, с. 78]. Більш близьким до комп'ютерного моделювання є уявлення про інформаційну модель як сукупність (набір) величин, що містять всю необхідну інформацію про досліджуваний об'єкт [95].

Академік А.П. Єршов уточнює: «І хоч загальні методологічні принципи побудови інформаційних моделей можуть бути предметом інформатики, сама

побудова й обґрунтування такої моделі є задачею конкретної науки. Поняття інформаційної й математичної моделей дуже близькі одне до одного, оскільки і та, і інша є знаковими системами. Інформаційна модель – це поєднання, через яке інформатика вступає у відношення з конкретними науками, не зливаючись з ними і у той самий час не поглинаючи їх у собі» [51, с. 30].

Як зазначається в [222, с. 11], на основі інформаційної моделі об'єкта, а також раніше нагромаджених знань та досвіду у свідомості людини (суб'єкта) формується система уявлень стосовно розв'язуваної задачі – концептуальна модель. Вона символічно відбиває наближене подання основних відношень реальної системи і у процесі вивчення може уточнюватися й замінюватися новою. Одна й та сама інформаційна модель у залежності від мети дослідження породжує у свідомості суб'єкта різні концептуальні моделі. При цьому людина завжди намагається створити таку концептуальну модель, яка була б оптимально упорядкованою відносно причинно-наслідкових зв'язків у об'єкті і створювалася б за мінімальну кількість кроків пошуку інформації.

Велика розмаїтість форм моделювання стимулює здійснення наукової класифікації моделей та відповідних видів моделювання в методологічному аналізі цього методу. Однак питання це виявляється складним і у значній мірі неоднозначним. Фактично, як філософи, так і дослідники, які широко використовують у своїй діяльності метод моделювання, приділяють цьому питанню значну увагу, але єдиного спільного погляду щодо класифікації немає: майже кожен спеціаліст пропонує й аргументовано відстоює свою класифікацію.

Так, зокрема, згідно з класифікацією В.А. Венікова [17] моделювання буває мисленим (ідеальним) і матеріальним. До мисленого моделювання відносять: 1) наочно-образне (включає гіпотези, наочні аналогії, схеми), 2) знакове (упорядкований запис, топологічний запис, запис у вигляді графа), 3) математичне (схеми заміщення, програмні рішення, економічні моделі). До матеріального моделювання входять: 1) натурне (виробничий або науковий експеримент, узагальнення натурних даних, узагальнення практичного досвіду), 2) фізичне (часові моделі, просторово-часові моделі, просторові моделі), 3) математичне

моделювання (аналогові моделі, діючі структурні моделі, цифрові машини, функціональні кібернетичні пристрої). Крім того, моделювання буває: а) повним і б) неповним. Як перше, так і друге може виявитися наближеним. Обидва ці види моделювання можуть здійснюватися в реальному часі й у зміненому часі, бути детермінованими і стохастичними. Майже схожу і, на нашу думку, більш зрозумілу для початківців класифікацію пропонує А.Б. Горстко [42].

У той же час деякі інші дослідники не погоджуються з таким поділом усіх моделей на матеріальні та ідеальні, оскільки така основа класифікації, на їхню думку, веде до змішування спеціальної природничонаукової й технічної термінології з філософською. Їм, у свою чергу, заперечує К.Є. Морозов: „По-перше, ... класифікація всіх видів моделей, що ними користуються в конкретних науках, дійсно не може бути справою ні фізика, ні біолога, ні кібернетика. Це галузь методології науки взагалі, і тому це справа філософів та логіків. Якщо ж класифікацією займається той чи інший представник деякої конкретної науки (це можна лише вітати), то він на деякий час стає філософом. І, по-друге, виникає питання, чому представникам конкретних наук не можна користуватися філософськими поняттями?» с. 46-47 на думку К.Є. Морозова, заслуговує на увагу детальна класифікація, яку наводить В.О. Штофф [225, с. 23–35]. Проте, як зазначає К.Є. Морозов, на ній позначилося намагання автора виключити з числа моделей деякі їх види.

Певний інтерес у методологічному плані являє пропозиція Є.П. Нікітіна поділяти моделі не тільки за способом їх реалізації, але й «за характером відтворюваних сторін оригінала» [35, с. 109]. В результаті з'являються такі види моделей: 1) субстанціональні, 2) структурні, 3) функціональні, 4) змішані. Подібна класифікація, на думку фахівців, добре відбиває стан справ у кібернетиці.

Свою класифікацію пропонує М.М. Моїсєєв: «Дуже умовно за характером використання існуючі моделі можна поділити на чотири класи: моделі, у яких відсутнє управління (моделі некерованих процесів), оптимізаційні моделі, ігрові моделі та імітаційні моделі, або моделі типу тренажерів» [124, с. 34].

Ю.С. Рамський зазначає: «...за деякими класифікаціями крім уже згада-

них абстрактних моделей (інформаційних та математичних) виділяють клас вербальних (словесних, текстових) моделей, які для опису предметних галузей використовують формалізовані діалекти природних мов» [167, с. 27].

Таким чином, ми можемо зробити висновок про те, що спроби встановити єдину класифікацію для моделей не дають однозначного результату. Тут результати залежать від позицій авторів і здебільшого мають хоч і обґрунтований, але у значній мірі суб'єктивний характер.

Оскільки предмет нашого дослідження становлять здебільшого математичні моделі – знакові моделі, виражені математичною символікою, – наведемо класифікацію, яку поділяють багато дослідників (рис. 1).

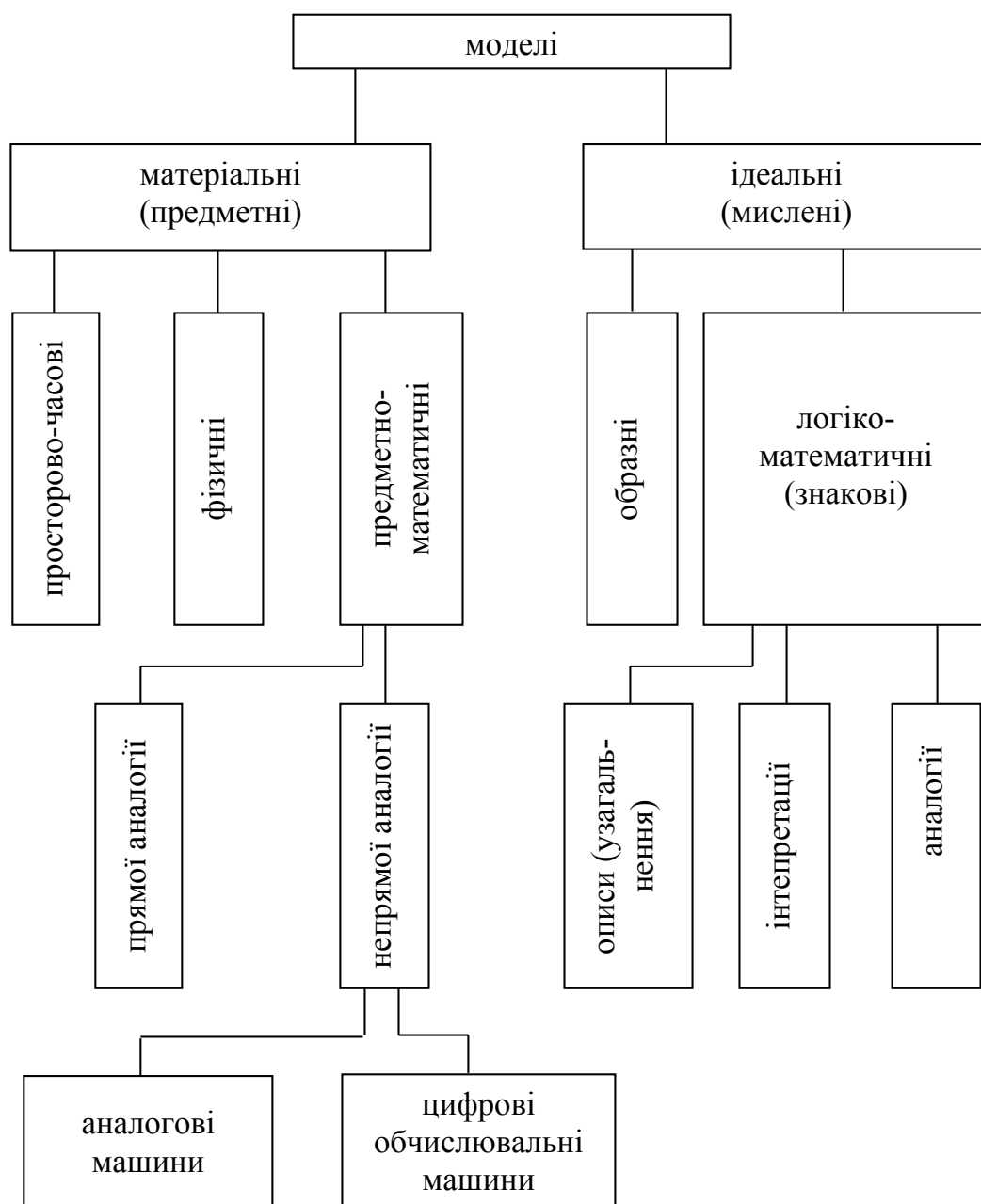


Рис. 1. Класифікація математичних моделей (за К.Є. Морозовим).

Елементи математичного моделювання як засіб вивчення властивостей об'єктів за допомогою математичних моделей існували вже у період зародження математики. Одним із прикладів чітко сформульованої математичної моделі є теорема Піфагора (VI ст. до н.е.). Ця теорема відкриває довгий ряд класичних прикладів математичних моделей, серед яких – закони руху І. Ньютона (XVII ст.), поліноми Л. Ейлера (XVIII ст.), рівняння Дж. Максвелла (XIX ст.) і, нарешті, теорія відносності А. Ейнштейна і квантова механіка Е. Шрьодінгера,

Л. де Бройля та В. Гейзенберга (XX ст.).

Відповідно до природи змінних, що фігурують у математичних моделях, розглядають детерміновані й недетерміновані (стохастичні) моделі, наприклад, як у [109]. Детермінована модель – це аналітичне подання закономірності, системи або операції, при якому для даної множини вхідних значень може бути отриманий на виході лише один єдиний результат. Стохастичною є така модель, в якій функціональні співвідношення залежать від випадкових параметрів. Результат на виході такої моделі може бути завбачений лише у ймовірнісному розумінні. В основу стохастичних моделей, створюваних із допомогою ЕОМ, покладено ймовірнісні та статистичні методи. Створенням та розвитком цих методів математична наука зобов'язана видатним математикам, серед яких Д. Бернуллі (трактат із теорії ймовірностей, біноміальний закон розподілу), К. Гаусс (метод найменших квадратів, нормальний закон розподілу), С. Пуассон (закон розподілу, що носить його ім'я), Д. Пірсон (розподіли і так звані коефіцієнти Пірсона) та ін.

Ф. Мартін зазначає: «Людська винахідливість безмежна, а мистецтво створення й комбінування різноманітних елементів невідворотно приводить до нових технічних досягнень. Саме так сполучення обчислювальних машин і моделей народило новий метод дослідження – моделювання за допомогою обчислювальної техніки» [107, с. 11]. *Сьогодні воно відоме як комп'ютерне моделювання і знаходить застосування практично для будь-яких об'єктів (процесів, явищ), що можуть бути описані кількісно і подані у вигляді математичних співвідношень.* Окрім природничих наук, з'являється можливість розв'язання ряду задач у таких галузях, як економіка, медицина, юриспруденція, бібліотечна справа, соціальні науки тощо.

Отже, використання засобів електронно-обчислювальної техніки суттєво розширило межі й можливості методу моделювання. Перші ЕОМ, що з'явилися у 50-х роках XX ст., були створені саме для «обслуговування» математичних моделей, пов'язаних із проблемами оволодіння ядерною енергією та вдоскона-

ленням ракетно-космічної техніки. Поява комп'ютерів знаменувала «друге народження» методу моделювання. Відтепер моделювання набуває нової якості: воно перетворюється на комп'ютерне в тому розумінні, що комп'ютер стає в моделюванні основним інструментом для роботи. З цього приводу А.Ф. Верлань зауважує: «Глибокий аналіз та комплексне дослідження процесів, що відбуваються у різноманітних технічних, біологічних та соціально-економічних системах, неможливі без їх моделювання, зокрема, комп'ютерного. Таке моделювання дозволяє простежити перебіг подій у складних системах при різних комбінаціях зовнішніх та внутрішніх факторів, визначити оптимальну структуру таких систем тощо. Застосування сучасних комп'ютерних технологій та відповідного програмного забезпечення значно прискорює такий аналіз і підвищує його якість» [18, с. 26].

Моделювання взагалі і комп'ютерне моделювання зокрема здатне сьогодні виконувати важливу *гуманістичну функцію*: адже можливість прогнозувати наслідки певних антропогенних факторів допомагає уникнути небажаних та небезпечних явищ аж до глобальних масштабів (зміна клімату планети, «ядерна зима», «ядерна ніч», тощо), воно у змозі впливати на формування змісту та стилю політичного мислення у сучасному світі.

Математичне моделювання складних неоднорідних систем, тобто угруповань певної (часто на практиці чималої) кількості об'єктів, що взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем, вимагає створення відповідних складних моделей. Якщо ці математичні моделі виражають фундаментальні закони природи у конкретних ситуаціях (наприклад, закони збереження), або їх параметрами є лише фундаментальні світові константи, то говорять, що «це моделі, побудовані із перших принципів. Такими, зокрема, є рівняння механіки І. Ньютона, рівняння механіки суцільних середовищ, рівняння електродинаміки Дж. Максвелла, квантово-механічне рівняння Е. Шрьодінгера і ряд інших. Якщо ж закони, яким підкоряється об'єкт, невідомі або відомі погано, то доводиться звертатися до математичних імітаційних (феноменологічних) моделей.



У їх основу покладені спостереження за зовнішньою поведінкою об'єкта. Утім, чітку грань провести неможливо» [177, с. 24].

Спеціалісти із системного аналізу [96, 125] стверджують, що останнім часом імітаційні моделі є найбільш універсальними. Вони використовуються для кількісного передбачення властивостей будь-яких складних об'єктів, оскільки засновані на відображенні апріорних уявлень дослідника про їхню структуру та динаміку. Найбільш загальний підхід до побудови таких моделей ґрунтується на принципі декомпозиції, що веде до ієрархічної рівневої структури моделі, компонентами якої є окремі підсистеми об'єкта. Таку модель реалізують на ЕОМ у вигляді пакета прикладних програм за модульним принципом. Кожен модуль являє собою окрему модель – компоненту ієрархічної структури.

Використання комп'ютерів обумовлює певні специфічні особливості сучасної методології (технології) моделювання: 1) особливості, пов'язані з будовою і принципом дії цифрового комп'ютера і 2) особливості, пов'язані з методами роботи.

Цифровий комп'ютер за принципом дії є дискретним пристроєм (обробка інформації у ньому відбувається дискретно). При цьому пам'ять комп'ютера має скінченний обсяг, і кількість операцій в одиницю часу скінченна. Тому й математичні моделі, які підлягають опрацюванню, повинні бути дискретними (наприклад, у часі, а за потреби – і у просторі) й скінченими.

Відмітимо далі, що комп'ютери не оперують з дійсними числами нескінченної точності, вони працюють з числами, що мають скінченний набір цифр. Кількість цифр у такому наборі визначається апаратними або програмними засобами. Арифметичні операції з дійсними числами, що виконуються комп'ютером, можуть призводити до специфічних похибок – похибок округлення, походження яких спричиняється різними факторами [167, с. 25–46]. Знання причин їх виникнення дозволяє зрозуміти, по-перше, їхню невідворотність, і по-друге, той сумний факт, що вони можуть нагромаджуватися у міру зростання обсягу обчислень, так що у підсумку на деякому черговому кроці

обчислень вони здатні сягати дивовижних значень. В такому разі говорять, що обчислювальна схема є нестійкою. Щоб уникнути цього, намагаються обирати або створювати такі обчислювальні алгоритми, щоб похибка округлення помітним чином не нагромаджувалася. В нашому посібнику з вивчення основ комп'ютерного моделювання [199] зазначеному факту приділено належну увагу і для порівняння наведено докладно прокоментовані приклади обчислень за нестійкими та вдосконаленими алгоритмами.

Побудова математичної моделі вихідного об'єкта, створення обчислювального алгоритму і розробка програми обчислень на ЕОМ утворюють так звану тріаду основних понять інформатики: *«модель – алгоритм – програма»*. Ця тріада не тільки вказує на етапність, поступовість процесу моделювання, але й підкреслює зв'язок понять, що тут використовуються. Алгоритм розв'язування не можна побудувати без моделі, у термінах якої формулюється умова задачі. У свою чергу, плідною може бути лише така теоретична модель, для якої можна практично знайти або скласти алгоритми визначення одних характеристик об'єкта через інші. *Елементи цієї тріади і комп'ютер, узяті разом, утворюють теоретичну і практичну базу математичного моделювання. Найбільш уживаною для вивчення є така схема етапів циклу комп'ютерного моделювання: об'єкт – модель – алгоритм – програма – комп'ютер – управління об'єктом* [167, с. 27]. Цикл комп'ютерного моделювання схематично зображено на рис. 2.



Рис. 2. Цикл комп'ютерного моделювання

Згідно з [70, 71, 72, 96 с. 4] сучасна методологія системного аналізу складних об'єктів передбачає такі етапи побудови та використання математичної моделі:

- 1) змістовий опис об'єкта моделювання;
- 2) формулювання цілей дослідження;
- 3) аналіз попередньої інформації про об'єкт і побудова його концептуальної моделі;
- 4) побудова математичної (формалізованої, абстрактної) моделі об'єкта;
- 5) розробка моделюючого алгоритму;
- 6) побудова у відповідності до алгоритму програмної системи моделювання об'єкта;
- 7) ідентифікація (оцінювання параметрів) моделі;
- 8) перевірка адекватності моделі;
- 9) розробка сценаріїв для машинних експериментів із моделлю, які відбивають систему цілей дослідження моделі та її практичного використання;
- 10) застосування моделі для розв'язування практичних задач.

Пункти 7-9 у цьому переліку реалізуються шляхом виконання специфічного виду дослідницької роботи за допомогою комп'ютера. А.О. Самарський

назвав цей вид досліджень *обчислювальним експериментом*. На відміну від натурального в обчислювальному експерименті шукані характеристики моделі обчислюються за її параметрами.

Підсумовуючи у найбільш загальних рисах характеристику структури процесу моделювання, зазначимо такі її складові:

- актуалізація вже відомих знань про об'єкт-оригінал, зафіксованих в описі об'єкту моделювання;
- вибір інформаційної моделі з числа існуючих або створення такої моделі (матеріальної або ідеальної);
- дослідження моделі (теоретичне та / або експериментальне);
- для того, щоб модель змогла виконати роль засобу вивчення об'єкту, дані, що їх було одержано при її дослідженні, у подальшому повинні бути відповідним способом перенесені на оригінал;
- перевірка істинності даних, одержаних за допомогою моделі (адекватності моделі відносно оригіналу) і включення їх до системи знань про оригінал.

Наведений короткий аналіз розвитку методу моделювання є віддзеркаленням об'єктивно існуючої закономірності, пов'язаної з циклічним характером наукової творчості, на що звертає увагу В.Г. Разумовський [160–162]. Так, при спробі теоретичного осмислення об'єктів (явищ, процесів) кожен цикл починається з вибору групи фактів на основі спостережень. Далі висувається гіпотеза відносно їх спільності. Ця гіпотеза має евристичну властивість: вона дозволяє у подальшому передбачити інші факти, що не були передбаченими при узагальненні. Справедливість передбачення перевіряється експериментом (натурним або обчислювальним). Якщо теоретичні наслідки вихідної моделі експериментально підтверджуються, то покладена в основу теорії абстрактна модель добре (більш обережно – задовільно) відбиває властивості виучуваного об'єкта. Якщо ж експеримент дає несподіваний, не очікуваний результат, то це означає, що виявлено межі застосовності теорії, а для пояснення нових явищ стає необхідним уточнення або заміна абстрактної моделі, покладеної в основу теорії.

Таким чином, циклічний процес наукової творчості складається з окре-

мих фаз: вихідні факти → гіпотеза → модель → наслідки → експериментальна перевірка → корекція гіпотези.

Зупинимося на кожній з фаз окремо.

Щодо першої фази творчого циклу (про групу вихідних фактів) інколи виникають дискусії: може чи не може знання певної групи фактів дати закон природи? І так, і ні. Так – якщо групу фактів уже відібрано, тоді узагальнення цих фактів – справа логіки. Узагальнення фактів іде шляхом логічної операції – індукції, від окремого до загального. Але хто відбирає ці потрібні факти? У який спосіб і за якими ознаками їх можна відібрати? Аналіз філософської спадщини видатних учених-дослідників, яким належать найбільш яскраві зразки наукової творчості, доводить, що здогадка про спільність групи фактів виникає одночасно з основною ідеєю відкриття – із висуванням гіпотези.

Ще одна важлива обставина стосовно вибору суми вихідних фактів для побудови гіпотези полягає в тому, що їх кількість і особливості самих по собі (тобто взятих окремо), не є настільки суттєвими, як їхня «сума», що й дає основу для побудови гіпотези.

Необхідними якостями гіпотези є її обґрунтованість, евристична плідність і принципова можливість непрямого, опосередкованого підтвердження справедливості шляхом експериментальної перевірки логічних висновків. Цей факт знаходить своє відображення в навчальному курсі моделювання: навіть якщо немає можливості виконати за наслідками моделювання натурний експеримент, необхідно здійснити перевірку адекватності моделі на якісному рівні за технологією, що має назву «обчислювальний експеримент».

Для будь-якої ідеальної побудови, що є адекватним відображенням досліджуваного об'єкта, використовується термін «абстрактна модель». У відповідності з таким розумінням абстрактна модель трактується у двох контекстах:

- як метод модельних гіпотез, пов'язаний з побудовою наочно-образних механічних (або геометричних) моделей (модель геліоцентричної системи, модель ДНК у вигляді подвійної спіралі і т. п.);
- як методи математичних гіпотез і перших принципів, пов'язані з побу-

довою логіко-математичних знакових моделей.

Метод принципів спирається на екстраполяцію деяких дослідних даних (закон збереження і перетворення енергії, другий закон термодинаміки тощо). В основу методу математичних гіпотез покладено математичну екстраполяцію.

Образні й знакові моделі в науковій творчості часто пов'язуються між собою, обумовлюючи взаємний розвиток. Знакові моделі мають словесне, аналітичне, графічне або табличне втілення. Якщо виникає нагода знаковій моделі співставити образну, то їх спільний аналіз у процесі наукової творчості може мати евристичне значення. З цієї причини при навчанні комп'ютерного моделювання наша методична система передбачає *за найменшої нагоди разом із знаковою моделлю завжди будувати модель наочно-образну, щоб у свідомості учнів створювався відповідний чуттєвий образ.*

Четверта фаза циклу наукової творчості – одержання логічних наслідків із побудованої моделі. Це дуже відповідальний момент у творчості з двох причин. По-перше, логічне виведення теоретичних наслідків дозволяє передбачити в загальних рисах хід процесу, не вдаючись у кожному окремому випадку до його натурного відтворення. В цьому полягає велика могутність теорії, що дає людству можливість одержувати максимальний ефект у всіх сферах діяльності при мінімальних витратах наявних ресурсів. Ця обставина виступає вирішальним фактором науково-технічного прогресу. По-друге, завдяки експериментальній перевірці теоретичних висновків можна судити про ступінь адекватності моделі виучуваному явищу, тобто можна встановити межі застосування даної моделі або теорії.

З урахуванням зазначеного факту процес навчання комп'ютерного моделювання слід будувати так, щоб при роботі з кожною моделлю планувався етап її тестування з можливістю встановлення меж її застосування.

Останні дві фази наукової творчості – експеримент (у випадку моделювання – обчислювальний експеримент) слугує об'єктивній перевірці теорії з метою подальшого застосування її на практиці. Ця фаза пов'язана з практичною

інтерпретацією теоретичних висновків. Проте нерідко завершення певного наукового творчого циклу веде до початку нового циклу. Зокрема, нове дослідження може полягати у вивченні того самого об'єкта при введенні до групи вихідних фактів у якості суттєвих деяких властивостей та зв'язків об'єкту, які не увійшли в попередній розгляд. Нова модель або нова теорія стає більш повною, зростає рівень її узагальнення й адекватності об'єктові. Тут знаходять свій прояв два важливих принципи методології моделювання: 1) принцип просування від простого до складного і 2) принцип наслідування: більш повна, більш загальна модель повинна містити у собі простішу як окремий випадок при переході до попередніх умов (спеціальна теорія відносності й механіка Ньютона, рівняння стану реальних газів й ідеального газу, геометрія Рімана й Евкліда тощо).

Оскільки ці два принципи одночасно входять і до системи принципів дидактики, то цілком природно, що наш навчальний курс основ комп'ютерного моделювання не просто знайомить із численними прикладами застосувань комп'ютера для розв'язування різноманітних практичних задач за принципом «чим більше різних прикладів, тим переконливіше», а знайомить з методологією такої роботи: практично кожна модель має 3–4 версії з поступовим ускладненням.

Опанування учнями філософського змісту поняття «модель» при систематичному вивченні курсу основ комп'ютерного моделювання забезпечує формування в них теоретичного світогляду. Вивчення моделей з різних предметних галузей – фізичних, хімічних, біологічних, історичних тощо – здатне сприяти розвитку «предметного» мислення та інтеграції наукових методів пізнання у навчальній діяльності і тим самим позитивно вплинути на формування інформаційної культури школярів. Формування навичок побудови і дослідження моделей сприяє розв'язанню задачі, що має самостійну загальноосвітню цінність – розвитку системного і логічного мислення. Адже робота з комп'ютерного моделювання окрім спеціальних знань вимагає ще й особливим способом розвинутого мислення.

### 1.3. Роль, місце та зміст комп'ютерного моделювання в системі шкільної освіти

Сьогодні вже не потребує доведення той очевидний факт, що *підвищення результативності вивчення всіх без винятку шкільних навчальних дисциплін вбачається у систематичному застосуванні засобів НІТ*. Питання комп'ютеризації шкільної освіти, розробка відповідних педагогічних програмних засобів є предметом постійної уваги багатьох дослідників. Зокрема, в Україні над цими питаннями працюють М.І. Жалдак [56, 57, 61], Ю.І. Машбиць [33, 114, 115], Ю.С. Рамський [167, 168], Н.В. Морзе [61, 131], А.В. Пеньков [41, 148], Ю.В. Горошко [40, 41], С.А. Раков [63, 165, 166], О.В. Водолаженко [25], В.Д. Руденко [101, 174, 175, 176], Ю.В. Триус [14], Ю.А. Жук [62], М.С. Головань [39], Т.І. Чепрасова [219] та багато ін. Досвід запровадження НІТ в освітній діяльності переконливо свідчить про їхню ефективність у розвитку неформалізованих, творчих компонентів мислення, починаючи від постановки задачі і до її розв'язання: самостійному виробленню критеріїв добору необхідних дій, що приводять до розв'язку проблеми, формулюванню гіпотез в процесі пошуку ідеї розв'язку, що фактично є реалізацією проблемного підходу у навчанні [39, 40, 56, 104, 148, 219]. Це у значній мірі є практичним втіленням у освітню діяльність тих надій і сподівань, що в середині 80-х років поклалися на новий тоді навчальний курс «Основи інформатики та обчислювальної техніки».

Саме тоді майже одночасно з'являються роботи А.П. Єршова [51, 53, 69], В.М. Монахова [103, 129], В.Г. Разумовського [164], Т.В. Малкової [113], Н.Ф. Тализіної [183, 186], Ю.І. Машбиця [33, 114, 115], Н.Л. Буланової та ін. [110], у яких на основі теоретичного узагальнення зарубіжного й вітчизняного досвіду експериментального навчання інформатики автори розкривають соціальні, психолого-педагогічні та дидактичні аспекти використання комп'ютера у навчальній діяльності.

В плані історичної ретроспективи особливий інтерес у рамках нашого дослідження являють роботи [110, 114, 164]. Тому зупинимося на них дещо



докладніше.

Напередодні прийняття програми комп'ютеризації шкільної освіти В.Г. Разумовський висловив свої міркування стосовно педагогічних можливостей засобів ЕОТ, у яких сформулював ряд важливих методичних рекомендацій щодо практичного застосування комп'ютерів у навчально-виховному процесі [164, с. 12–16].

Автор застерігає від можливого формалізму в знаннях учнів у зв'язку з небезпекою звести комп'ютерну грамотність до знання алгоритмів, до програмування й використання комп'ютерів для розв'язування задач інформатики; він підкреслює необхідність орієнтації на вивчення великих можливостей ЕОМ у розв'язанні практичних питань: «Важливо, щоб учні могли мислено уявити весь логічний ланцюг *творчого процесу застосування ЕОМ на практиці*: явище → його математична модель → алгоритм → програма мовою ЕОМ → розв'язування задачі з допомогою ЕОМ → інтерпретація результату → область його застосування на практиці». Тобто висувається проблема вивільнення й розвитку творчого потенціалу самих учнів у процесі моделювання, вибору алгоритму та розробки програми для ЕОМ.

Формуючи раціональне алгоритмічне мислення школярів, необхідно піклуватися про те, щоб надмірна алгоритмізація учбової діяльності на основі готових вказівок не стала гальмом для розвитку творчих здібностей, пов'язаних з інтуїцією, здогадкою і пошуком скорочених шляхів розв'язування задачі на основі «нерациональних» способів мислення.

Принципово важливими є зауваження В.Г. Разумовського про те, що «з введенням комп'ютерів у навчальний процес зростають можливості багатьох методів наукового пізнання, особливо методу моделювання, який дозволяє різко підвищити інтенсивність навчання. Адже при моделюванні виокремлюється сама суть явищ і стає ясною їх спільність, тобто відбувається розвиток науково-теоретичного мислення. Однак *захоплення використанням готових моделей погрожує передчасним розривом зв'язку виучуваного явища з дійсністю*. Це трапляється нерідко, коли учням пропонують працювати з готовими моделями,

не розкриваючи процесу її створення. Оскільки об'єктами вивчення, як і раніше, повинні залишатися реальні явища, то підміна їх абстрактними поняттями й символами при недостатній базі спостережень і досвіду нерідко веде до згубного формалізму, коли за удаваними знаннями відсутня їх сутність» [164].

Окремо В.Г. Разумовським пропонується один із напрямків вирішення проблеми широкого впровадження засобів ЕОТ у різні навчальні предмети: «При вивченні фізики, хімії, біології, в трудовому навчанні комп'ютери можуть використовуватися у поєднанні з приладами й автоматично, миттєво опрацьовувати результати вимірювань і у графічній формі відображувати виучувану функціональну залежність». Іншими словами, для ефективної реалізації дидактичного потенціалу комп'ютера необхідна розробка відповідного інтерфейсу: датчиків для реєстрації та вимірювання певних фізичних величин і пристроїв-перетворювачів аналогових сигналів на дискретні і навпаки для сполучення комп'ютера з підключеним до нього обладнанням. Це, на думку вченого, дозволить учневі сформулювати гіпотезу про досліджувану закономірність і підтвердити або спростувати її на основі спостережуваних результатів. У такий спосіб процес повідомлення готових знань та їх дослідна перевірка замінюються експериментально-дослідницькою діяльністю, що забезпечує учневі можливість самостійного відкриття.

Одним із перших вітчизняних авторів, який розглянув психолого-педагогічні аспекти комп'ютерного навчання, є Ю.І. Машбиць. В роботах [33, 114], що вийшли відповідно у 1985 та 1986 рр., автор, характеризуючи дидактичні можливості комп'ютерної технології навчання, зазначає, що ніколи ще вчитель не одержував такого потужного засобу навчання, яким є комп'ютер. «Жоден технічний засіб, що використовувався досі, за своїми дидактичними можливостями не може з ним зрівнятися. Ці можливості ще не розкриті до кінця, але й те, що вже відомо, вселяє великі надії» [114, с. 11]. Серед найбільш плідних застосувань комп'ютера у навчанні Ю.І. Машбиць виокремлює такі:

- використання його як засобу управління навчальною діяльністю;

- здатність забезпечити індивідуальне навчання «у масовому порядку»;
- великі можливості в реалізації проблемного навчання;
- формування творчого мислення школярів, готовності їх до творчої праці в умовах науково-технічного прогресу (та інформатизації суспільства).

Стосовно розвитку творчих здібностей засобами комп'ютерних технологій навчання автор пише: «У ряді публікацій в якості одного з аргументів, що доводять розвиваючий характер навчання основ інформатики та обчислювальної техніки, говориться, що воно сприяє формуванню алгоритмічного мислення. У читача, знайомого з психологічною літературою, це може викликати здивування: у психологічних роботах підкреслюється, що *алгоритмічне мислення являє собою рутинний компонент мислительного процесу і його розвиваючий ефект дуже незначний*. Слід мати на увазі, що у даному випадку йдеться не про мислення за алгоритмом, а про мислительний процес, спрямований на складання алгоритму розв'язування деякої задачі. *Це творчий процес, що передбачає евристичний пошук, сміливий здогад, інтуїцію – усе те, що у найбільшій мірі характеризує творчі витoki мислительного акту. Саме ці компоненти мислення слід формувати в учнів*» [114, с. 25].

Але для того, щоб ефективно застосувати комп'ютер у навчальному процесі, необхідно розв'язати багато проблем і, у першу чергу – психолого-педагогічних. «Чимало традиційних питань педагогічної психології та дидактики потребують додаткових досліджень, спрямованих на опанування як учителями, так і учнями елементів (складників) інформаційної культури» [114, с. 14]. Згодом окреслені проблеми були ґрунтовно розроблені автором у роботі [115].

У роботі Н.Л. Буланової та ін. [110] зазначалося: «Введення нового навчального курсу «Основи інформатики та обчислювальної техніки» є першим етапом комп'ютеризації шкільної освіти, і ні в якій мірі не повинне обмежуватися оволодінням учнями новою діяльністю – алгоритмізацією та програмуванням на ЕОМ. ... У міру оснащення шкіл обчислювальною технікою та програмним забезпеченням, а також підготовки вчителів усіх без винятку спеціально-

стей, ми пропонуємо *планомірно й обґрунтовано перебудувати традиційні шкільні курси на основі поширення теоретичних і прикладних аспектів математичного моделювання з використанням засобів ОТ*. Це дозволить подолати роз'єднаність окремих предметів як природничого, так і гуманітарного циклів, сприяти розвитку й удосконаленню творчого, науково-теоретичного світогляду школярів» [110, с. 3, 8].

Значну роль у впровадженні нових інформаційних технологій в освітню діяльність відіграв спільний проект Держосвіти СРСР та фірми ІВМ «Пілотні школи» (1991 р.), що розгорнувся у всіх регіонах країни. Він прискорив зміну парадигми використання в освітній діяльності таких засобів електронно-обчислювальної техніки, як ПЕОМ. Якщо на перших етапах інформатизації працювала парадигма: «Бажаєш використовувати комп'ютер – оволодівай мовою програмування» і звідси теза: «Програмування – друга грамотність», то на початку 90-х у всьому світі ситуація різко змінилася, а саме: «Бажаєш досягти успіхів у професійній діяльності – використовуй інформаційні технології!». Науковий керівник проекту Б.Г. Кисельов писав: «...у плані розв'язування задач зміст курсу (*інформатики*) повинен бути орієнтованим на моделювання у широкому смислі. Можливість моделювання я ставлю на перше місце, тому що саме це дозволяє використати комп'ютер як принципово новий інструмент пізнання дитиною оточуючого світу. Фактично у школяра вперше з'являється реальна можливість відповісти на питання: а що буде, якщо...? ... комп'ютер дозволить йому зазирнути у минуле і з цього минулого моделювати сучасне і майбутнє» [82, с. 20].

За час, що пройшов від тієї пори, актуальність сформульованих проблем не лише не зменшилася, а, навпаки, зросла. А той факт, що ці проблеми й понині залишаються невирішеними, свідчить не лише про занадто повільні темпи, а й про їхню об'єктивну складність.

Виходячи з робочого визначення інформатики як єдності трьох компонент (технічної – *hardware*, програмної – *software* й алгоритмічної – *brainware* засоби) [49, с. 24], зазначимо, що завдяки третій компоненті – «*brainware*» – ін-

форматика не зводиться до вивчення будови ЕОМ і програмування. Цим самим підкреслюється зміст і постановка розв'язуваних задач.

І обчислювальна техніка, і програми – це лише засоби для моделювання. А тому *міркування про те, що моделювання – це справа конкретних наук і предметів або взагалі якоїсь особливої науки про моделювання, принижують інформатику до рівня вивчення своїх власних засобів із неусвідомленою загальною метою або до чисто знаряддєвого використання комп'ютера* (редагування текстів, малювання, музичення, креслення тощо). З цього приводу у [219] автор зауважує, що досить часто використання комп'ютера у навчанні інформатики реалізується виключно як практика програмування і / або вивчення прийомів роботи з окремими прикладними пакетами, тобто комп'ютер переважно використовується в якості інструмента для нагромадження фрагментарного знання й навчання окремих умінь на рівні початкуючого користувача (формування навичок натискування на кнопки). Така орієнтація майже повністю виключає можливість перенесення учнями отриманих знань і вмінь на інші сфери діяльності. За цих обставин учні одержують простий набір відомостей з інформатики, тоді, як вона повинна формувати філософію цієї науки, тобто її системну проекцію на широке коло практичних задач. Адже насправді шкільна інформатика – це нова грань дійсності, новий погляд на світ, інший спосіб мислити, нові інтелектуальні засоби, невідомі до цього можливості прийняття оптимальних рішень.

Активне впровадження ЕОМ у практику прикладних досліджень, розвиток методів обчислювального експерименту повинні супроводжуватися прогресом у розумінні його ролі й місця. Нова методологія не народжується одразу, вона формується разом з еволюцією наукового пізнання. Одна з вирішальних умов для успіху в цій важливій справі – підготовка наукових кадрів, які оволоділи новою методологією і готові розвивати її [5, с. 62].

*В навчальній діяльності, пов'язаній з опануванням школярами методології комп'ютерного моделювання, розкривається гуманітарний потенціал інформатики як науки, що інтегрує знання з різних предметних галузей і тим самим формує науково-теоретичний світогляд. Оволодіння філософським змістом*

*таких універсальних понять, якими є поняття моделі й моделювання, суттєво впливає на рівень інформаційної культури старшокласників.*

Питанням змісту інформаційної культури приділено значну увагу у працях багатьох авторів (А.П. Єршов [52], М.М. Моїсеєв [123], Ю.М. Канигін, Г.І. Калитич [81], В.Ю. Мілітарев, Є.П. Смірнов, І.М. Яглом [119], М.І. Жалдак [54] та ін.). Зокрема, М.І. Жалдак зазначає: «Одним із найважливіших компонентів культури взагалі, що характеризує матеріальний і духовний рівень розвитку суспільства, сьогодні стає інформаційна культура. Інформаційну культуру слід розглядати як досягнутий рівень організації інформаційних процесів, ступінь задоволення людей в інформаційному спілкуванні, рівень ефективності створення, збирання, збереження, опрацювання, передавання, подання й використання інформації, який забезпечує цілісне бачення світу, передбачення наслідків прийнятих рішень» [54, с. 2].

Зазначимо найважливіші, на думку дослідників, складові основ інформаційної культури.

1. Володіння основами алгоритмізації, а саме: принципами побудови алгоритмів (метод покрокової деталізації «зверху вниз»); основними базовими структурами алгоритмів. Зазначені поняття мають загальнонауковий характер і у тій чи іншій мірі розглядаються й застосовуються при вивченні основ усіх предметів. При цьому *необхідним є доцільне сполучення алгоритмічної та евристичної, творчої спрямованості навчання*, врахування важливості як образної складової мислення, що не алгоритмізується (синтезу), так і алгоритмічної складової (аналізу) [233].

2. Уміння обирати й формулювати цілі, здійснювати постановку задач, будувати інформаційні моделі досліджуваних процесів і явищ, аналізувати інформаційні моделі за допомогою автоматизованих інформаційних систем й інтерпретувати одержані результати; передбачати наслідки прийнятих рішень і робити відповідні висновки; використовувати для аналізу досліджуваних процесів і явищ сучасну інформаційну технологію (бази даних, бази знань, системи штучного інтелекту, зокрема, експертні системи, інформаційні мережі та інші

засоби збору, зберігання, опрацювання, передавання, відображення інформації) [54, с. 27]. При цьому важливими є уміння впорядкування, систематизації, структурування даних і знань, розуміння сутності інформаційного моделювання, способів подання даних і знань. Необхідне також розуміння того, що для розв'язання далеко не всіх задач потрібні автоматизовані інформаційні системи [121, с. 52].

3. Здатність людини, котра володіє необхідним інструментарієм, передбачати наслідки власних дій, уміння підкорити власні інтереси тим нормам поведінки, яких необхідно дотримуватися в інтересах суспільства, свідоме прийняття всіх тих норм і заборон, що будуть вироблятися «колективним інтелектом» [123, с. 251–282].

Розглянуті компоненти основ інформаційної культури мають загальноосвітнє й загальнокультурне значення, являють собою мінімальний обов'язковий обсяг знань, умінь і навичок у галузі інформаційної технології. Їх формування повинне здійснюватися через врахування індивідуальних інтересів, запитів учнів та рівня їх розвитку [54, с. 26–29].

Обговорюючи цілі навчання інформатики, О.І. Бочкін зазначає, що сукупність цілей практичної освіти служить формуванню комп'ютерної грамотності; цілі загальної освіти і розумового розвитку пов'язані з комп'ютерною освіченістю, а цілі виховання служать формуванню інформаційної культури. При цьому автор зауважує, що між досягнутим рівнем освоєння роботи на ЕОМ, грамотністю, освіченістю й культурою все ж немає однозначних зв'язків. «Так, користувач, який не вміє програмувати, може бути дуже ерудованим, а фанатичний програміст – не знати нічого, окрім, скажімо, улюбленого Сі. З цієї точки зору творець вірусів, скоріш за все, грамотний, можливо, навіть освічений, але культури, розуміється, у нього немає й у спомині» [13, с. 29].

Провідні зарубіжні й вітчизняні спеціалісти з математичного моделювання Дж. Ендрюс, Р. Мак-Лоун [109], Х. Гулд, Я. Тобочник [43], О.А. Самарський, А.П. Михайлов [85, 177], А.Ф. Верлань, В.Б. Распопов [19, 169], В.К. Белошапка, А.С. Лесневський [6], В.Б. Хозієв, Н.Л. Буланова [110] та ін. зазнача-

ють, що існуючі підходи до визначення цілей навчання інформатики (розробка й створення алгоритмів, програмування однією або кількома мовами, вміння використовувати готове прикладне програмне забезпечення) не здійснюють у необхідній мірі підготовку молоді до життя в інформаційному суспільстві. З цього ж приводу О.А. Самарський зауважує: «Ані знання будови ЕОМ, ані вміння програмувати, ані мільйони комп'ютерів не призведуть до підвищення продуктивності праці в нашому суспільстві, якщо вони не будуть розумно використовуватись, якщо не буде змістовних задач і сучасних математичних моделей» [85, с. 12]. Те саме стверджує А.О. Матюшкін-Герке: «Найвища техніка програмування і блискуче володіння спектром найновіших засобів обробки інформації, чудове знання архітектури комп'ютера виявляться у кращому випадку (!) марними, якщо ці знання, вміння та навички не знайдуть собі правильної точки прикладання» [112, с. 10]. Саме на розв'язання цієї проблеми орієнтований наш курс комп'ютерного моделювання.

Маючи на меті запропонувати методологічну та світоглядну основу для розуміння учнями моделювання, підкреслити його виключне значення в інформатиці, її, по суті, кінцеву мету, О.І. Бочкін [13, с. 338-339] пропонує звернути увагу на такий факт: «У всі часи людина розумна, пізнаючи світ, відображувала у своєму мисленні об'єкти реальності у вигляді ідеальних, мислених моделей і діяла, виходячи з очікуваної поведінки їх прототипів (йдеться про етап первісного відображення світу в свідомості людини). З появою комп'ютера ситуація радикально змінилася: людина одержує можливість передати комп'ютеру свої знання шляхом створення комп'ютерної моделі реального об'єкта. Таким чином, відбувається друге відображення дійсності, тепер вже з мислення людини до пам'яті комп'ютера. В цьому аспекті комп'ютерний світ стає третьою реальністю: 1) матерія; 2) свідомість; 3) знов нежива матерія (комп'ютер), але тепер уже високоорганізована».

Чи є моделювання частиною інформатики, чи потрібно ним займатися саме в інформатиці? Такі і подібні до них питання стають ще подекуди предметом обговорення. Ми вважаємо, що питання ці сьогодні є вирішеними, оскільки



*модельовання являє собою практичний аспект інформатики*, про що вже йшлося вище. З педагогічної ж точки зору не важливо, де моделювати, але саме через моделювання формується системно-комбінаторне мислення й уміння розв'язувати реальні задачі. До того ж моделювання формує світогляд, наукову картину світу не тільки учня, а й учителя.

Стосовно вивчення школярами основ комп'ютерного моделювання відповідні заходи можуть бути реалізовані як шляхом введення додаткових спецкурсів із застосування комп'ютерного моделювання при вивченні деяких навчальних предметів, так і окремим факультативним курсом на основі інтегрування широкого спектру навчальних задач із різних предметних галузей. На початковому (шкільному) етапі освіти перевагу, на нашу думку, слід віддати другому напрямкові, оскільки він відкриває можливості для формування загальнонаукових уявлень про теоретичні та прикладні аспекти такого ефективного дослідницького методу, яким є моделювання. Тим більше, що й у проекті державного стандарту освіти з інформатики [57, 61] передбачено ознайомлення учнів з інформаційним і математичним моделюванням. Перший шлях, як доводить досвід, виявляється більш придатним на етапі фахової підготовки і спеціалізації майбутнього дослідника.

Аналіз вітчизняного й зарубіжного досвіду з питань поглибленого вивчення в школі основ комп'ютерного моделювання доводить, що загальноприйнятого погляду на роль, місце та зміст цього розділу в шкільному курсі інформатики поки що не вироблено. Так, принаймні в Україні, не існує цілісного навчально-методичного комплексу з вивчення методологічних основ та технології комп'ютерного моделювання. Практично всі матеріали з цієї проблеми являють собою здебільшого або окремі розрізнені публікації, або ж глибоко спеціалізовані посібники з окремих галузей наук.

Останнім часом у багатьох школах, що мають відповідну технічну базу, організовано вивчення інформатики учнями молодшого віку. Як показав С.М. Малярчук [104], цілком виправданою тут буде певна пропедевтична робота з формування основних уявлень про моделі (зрозуміло, на донауковому

рівні) Така робота набуває особливого значення, якщо надалі планується поглиблене вивчення основ комп'ютерного моделювання зі старшокласниками.

У поглядах на розміщення матеріалу, пов'язаного з моделюванням, автори більшості діючих підручників інформатики дотримуються переважно двох підходів:

1. Задачі на моделювання супроводжують весь курс інформатики. Вони вводяться поступово, у міру засвоєння учнями алгоритмічних і програмних засобів. Таким є підхід, що його реалізовано в [16, 32].

2. Матеріал, пов'язаний з моделюванням, вивчається в одному окремому розділі. За такою структурою побудовані підручники [77, 95].

Пропонована нами методична система вивчення комп'ютерного моделювання має на меті розкрити зміст усієї шкільної освіти через введення понять «модель» і «моделювання», що склалися як у конкретних науках, так і в методології науки взагалі. Поняття «модель» розглядається в декількох аспектах:

- як *центральне поняття теорії пізнання*;
- як *спосіб відображення наукою пізнаваної дійсності*;
- як *конкретний засіб людської діяльності*, який дозволяє абстрагуватися від несуттєвого у прототипі (об'єкті, що досліджується);
- як *об'єкт вивчення*.

Визначення змісту й методів навчання комп'ютерного моделювання ґрунтується на психологічній концепції поетапного формування розумової діяльності [30, 31, 44, 185], концепції періодизації психічного розвитку [26, 86, 99, 150], концепції учбової діяльності школярів шляхом формування орієнтувальної основи дій [46], концепції наслідування зразків творчої діяльності в контексті розвитку творчих здібностей [50], концепції проблемного навчання [111, 113]. Основні положення перелічених концепцій такі:

1. Теоретична складова навчального курсу спирається на певний практичний досвід навчальної діяльності і передбачає просування від абстрактного до конкретного. Така побудова уможливорює формування в учнів теоретичного

мислення й оволодіння матеріалом на рівні змістовного теоретичного узагальнення. При цьому самий зміст курсу визначає методи та способи організації навчального процесу.

2. Організація навчальної діяльності, у межах якої відбувається засвоєння учнями знань та людського досвіду, спирається на такі принципи:

- знання як результат розумової діяльності є вторинною і похідною формою від розгорнутих зовнішньо-предметних форм діяльності;

- навчання починається з пізнавального протиріччя між вимогами проблемної ситуації та присутніми у школяра засобами та способами її розв'язання;

- протягом усього навчання зберігається творчий спосіб взаємодії вчителя й учня шляхом використання різноманітних форм активного навчання, психологічно обґрунтованого чергування індивідуальних та колективних форм навчального впливу;

- засвоєння знань та оволодіння новою діяльністю здійснюється учнями в ході розв'язування творчих навчальних задач з використанням відповідних навчальних засобів;

- ефективність засвоєння забезпечується цілеспрямованим формуванням повної орієнтації учнів у засвоюваній діяльності;

- для розвитку творчих здібностей учні одержують необхідні зразки активності, засвоєння яких шляхом наслідування виводить учнів на рівень самостійної творчості.

Важлива особливість інформатики полягає в тому, що ця дисципліна не конфліктує із жодним іншим навчальним предметом, як і взагалі із жодною сучасною сферою людської діяльності. Навпаки, метод комп'ютерного моделювання здатний природним шляхом здійснювати міжпредметну інтеграцію, проникати в широкий спектр задач найрізноманітнішого змісту. Дослідження цього аспекту навчально-виховного процесу свідчить, що міжпредметні зв'язки усувають протиріччя, які об'єктивно існують при багатопредметній системі

викладання між розрізненими знаннями в окремих предметах, синтезують ці знання, сприяють комплексному застосуванню їх на практиці.

Вище вже зазначалося, що надзвичайна узагальненість поняття моделі, його тісний зв'язок із властивістю відбивання в природі призводять до того, що досить точне означення моделі не може бути простим і повинне включати ряд загальних категорій. Отже, навряд чи варто намагатися дати точне означення моделі. Найбільш доступними для школярів можуть бути такі:

Модель – це мислено уявлювана або матеріально реалізована система, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна замінювати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт [225].

І як доповнення:

Під моделлю розуміють систему, що не відрізняється від досліджуваного об'єкта відносно деяких його властивостей, що вважаються суттєвими, і відрізняється за всіма рештою властивостей, що вважають несуттєвими [8, с. 24].

Адаптація таких глибоких означень до рівня школярів при відсутності в них попереднього досвіду роботи з моделями становить непросту проблему, оскільки і об'єкт дослідження, і його модель розглядаються як системи. У свою чергу поняття системи передбачає наявність елементів – її складників; наявність зв'язків між ними; цілісність системи (видалення елемента неможливе без втрат для цілого); наявність властивостей (і у об'єкта, і у моделі), що проявляються як через відношення між елементами моделі, так і через відношення із зовнішніми об'єктами. Ось чому взагалі не варто намагатися дати точне означення поняття моделі.

Фактично на момент початкового знайомства з моделюванням в учнів існують такі передумови:

– дитячий досвід ігрового моделювання (віддаленість моделі від реальності заповнювалася уявою);

- досвід моделювання за допомогою конструкторських наборів (з'являються окремі елементи – складники системи – і відношення між ними);
- досвід комп'ютерних ігор або перегляду телепередач (моделювання виконується досить точно і докладно);
- практика роботи з готовими комп'ютерними моделями з екології («Аральське море», «Наша річка»), астрономії («Сонячна система»), фізичної географії («Клімат») і т.п.

Усе це здатне стати опорою для формування понять «система», «елементи», «відношення», наповнити їх конкретним змістом.

Не варто із самого початку вимагати від учнів записів та заучування означень, більш доцільним є обговорення. Якщо реалізується пропедевтичне ознайомлення з моделюванням, як це здійснено у [104], то у якості найпростішого прикладу можна розглянути реальний будинок і його модель – малюнок цього будинку.

Елементи: стіни, дах, двері, вікно. Вони взаємопов'язані розташуванням у просторі, а у реальному будинку ще й механічно скріплені.

Приклад суттєвої властивості: висота вікна та дверей менша за висоту стіни і у реального будинку, і у моделі (малюнка). Приклад несуттєвої властивості, яку має реальний будинок і яку втрачено у моделі: висота дверей більша за зріст людини.

До більш повного уявлення про модель учень приходять через ряд етапів, і воно формується не на початку, а у процесі діяльності. Обговорення ж з метою узагальнення значно доцільнішим виявляється наприкінці вивчення курсу або, принаймні, під час роботи при вивченні певних тем.

Отже, на початковому етапі практика повинна випереджати теорію аби забезпечити необхідний чуттєвий досвід: спочатку учень працює з простими моделями (досліджує готові, створює і досліджує власні), далі обмірковує і з допомогою вчителя усвідомлює суть своєї діяльності як моделювання, і лише після цього як підсумок обговорюється зміст понять. До речі, за таким принци-

пом побудовано посібники [43] і [133], призначені для фахівців відповідних галузей. Проте самі слова-терміни можуть вживатися досить рано і поступово наповнюватися змістом у мові вчителя й учнів в різному контексті так само, як слова «речовина», «інформація», «знак» тощо.

Комп'ютерне моделювання неминуче ставить перед дослідником питання про вибір середовища для моделювання, адекватного досліджуваній проблемі. У випадку наукових досліджень, що проводяться в певній предметній галузі, сьогодні намагаються працювати у спеціалізованих середовищах, для яких характерним є певний рівень універсальності. Схожі тенденції спостерігаються й у шкільному навчальному моделюванні. З цього приводу Х. Меллар, спеціаліст у галузі використання моделювання у навчанні (Великобританія) стверджує, що «...вже до приходу в школу діти конструюють свої власні моделі, якщо не з допомогою ЕОМ, то в голові, на папері або за допомогою інших матеріалів. Комп'ютерне чисельне моделювання також може бути використане дітьми для вираження своїх власних ідей, які таким чином стають доступними для дослідження іншим. Однак, замість того, щоб почати з тих аспектів моделювання, що знайомі учням, навчальні плани настроюють вчителів на подання дітям готових комп'ютерних моделей, створених дорослими... Після цього учням дуже складно провести паралелі між своїми власними ідеями і готовими моделями, в результаті чого втрачаються можливості навчання дітей виражати свої ідеї чисельно з допомогою комп'ютера» [134, с. 116].

Широкого визнання серед педагогів і психологів у сьогоднішньому світі одержала оригінальна концепція дитячої освіти, створена видатним американським педагогом С. Пейпертом (1963 р.) і реалізована у вигляді комп'ютерного середовища Лого [147]. Лого-система є практичним втіленням ідеї Ж. Піаже про учіння без навчання. Сам автор так характеризує основні ідеї своєї концепції: «Я розглядаю Лого як деяке перехрестя: це місце зустрічі між вивченням дітьми власно комп'ютерної науки й техніки і пошуком більш плідних особистісних підходів до самостійного індивідуального учіння за допомогою розробки проектів та проведення відкритих досліджень» [146, с. 6]. Докладний аналіз

можливостей середовища Лого для формування інформаційної культури учнів 6–7-х класів подано у [104].

Як доводить проведена автором семирічна експериментальна робота, при навчанні моделювання доцільно не обмежуватися якимось одним середовищем – раціональним є перехід від одного середовища до іншого у міру опанування школярами знань з інформатики [57]. Традиційно таке питання вирішується на користь мов програмування високого рівня. Однак такий підхід, з одного боку, ставить вивчення систематичного курсу моделювання у часову залежність від попереднього (або ж одночасного) вивчення програмування, а з другого – вимагає від учнів певних зусиль і часу для створення зручного інтерфейсу користувача і тим самим помітно відволікає від безпосередньої роботи з моделлю. Аналіз зазначеного методичного утруднення показав, що на початковому етапі цілком достатньо, щоб середовище для моделювання задовольняло таким вимогам: 1) результати дослідження мають виводитися на екран у вигляді таблиць із довільною кількістю доступних для перегляду рядків і 2) користувач повинен мати змогу за цими результатами швидко і просто одержувати графіки залежностей між характеристиками досліджуваного об'єкта.

Ці вимоги у достатній мірі задовольняються електронними таблицями, які забезпечують: 1) багатосторінкову екранну пам'ять; 2) прості засоби перетворення табличної інформації у графічну з автоматичним або ручним масштабуванням; 3) широко розвинений набір функцій, в тому числі й необхідних для розв'язування задач оптимізації; 4) мова електронних таблиць, з одного боку, відбиває програмний принцип роботи комп'ютера, але з іншого – є найбільш природною з усіх штучних. Ось чому на початку вивчення систематичного курсу навчального комп'ютерного моделювання, ми зупинили свій вибір саме на електронних таблицях. На цей час учні вже мають початкові уявлення про призначення та можливості деяких пакетів прикладних програм і володіють основними прийомами опрацювання інформації у них. Ті знання й уміння, що стосуються електронних таблиць, слід додати до зазначених вище стартових передумов.

Але при всій їх простоті та наочності електронні таблиці є ефективними для досить обмеженого кола порівняно простих і спеціально підібраних задач. Так, вже при спробах розв'язування задач, що передбачають організацію циклів із великою кількістю повторень, звичайне копіювання формул у відповідні стовпці з метою утримання даних для подальшої побудови графіків (тобто організація великих масивів даних, які в електронних таблицях доповнюються масивами формул) викликає значні утруднення, позбавляючи користувача змоги простежити динаміку зміни значень будь-якої величини переглядом відповідного стовпця. Організація циклу в межах однієї клітинки таблиці є принципово недоцільною. Нарешті, електронні таблиці стають зовсім непридатними для задач, що вимагають засобів візуального спостереження динаміки процесу. Такі задачі традиційно розв'язують з використанням середовищ, створених на основі мов програмування високого рівня. Одним із критеріїв необхідності відмови від таблиць є ситуація, коли внаслідок непомірного зростання кількості рядків сама таблиця перестає використовуватися для аналізу даних, залишаючи користувачеві лише можливість їх графічної інтерпретації. Отже, *електронні таблиці ми розглядаємо як тимчасове середовище, що дає можливість почати вивчення основ комп'ютерного моделювання раніше, до вивчення програмування.*

Розмаїття змісту реальних задач та об'єктів, з одного боку, і способів їх моделювання, з іншого, актуалізує питання про класифікацію. Більш-менш повна класифікація різних видів моделювання ускладнюється ще й у силу багатозначності самого поняття «модель», яке широко використовується не тільки в науці й техніці, але й у мистецтві, і у повсякденному житті. Проте стосовно інформатики, природничих і технічних наук, як зазначалося вище, можливості для класифікації існують. При цьому учні повинні розуміти, що будь-яка конкретна модель може одночасно мати кілька підстав та ознак для класифікації. Наведемо лише деякі, найбільш відомі: дискретність і неперервність, випадковість і детермінованість, матеріальні й ідеальні моделі, матричні й скалярні моделі, статичні й динамічні моделі, аналітичні й імітаційні моделі, концептуальні, інформаційні й математичні моделі, предметні й образно-знакові тощо.



Що ж дає знання подібних ознак для учня і вчителя? Відповіді на це й подібні питання даються багатьма авторами, але ми пропонуємо учням спочатку ознайомитися з відповідним матеріалом за книжками Я.І. Хургіна [217, 218], де доступно й водночас професійно подано корисний матеріал не лише про моделювання, а й про математичні методи опрацювання моделей.

Кожна ознака дає певне знання про властивості як моделі, так і реального об'єкта, що моделюється. Ознака може стати підказкою про спосіб моделювання, вона може говорити про якість моделі. Наприклад, відсутність у моделі явища радіоактивного розпаду фактора випадковості неприпустиме. Ознаки допомагають вибрати придатний засіб для моделювання, проте ми завжди нагадуємо учням, що лише власна практика і досвід моделювання допомагають вдало вправлятися з такою проблемою. Недарма моделювання називають мистецтвом.

У шкільному навчальному моделюванні особливого значення набуває питання про відповідний математичний апарат. Вивчення зарубіжного й вітчизняного досвіду [13, 56, 58, 112, 134, 167 та ін.] впровадження комп'ютерного моделювання у шкільну практику показує, що більшість дослідників пропонують починати таку роботу з обчислювальних моделей на основі використання чисельних методів. «Взагалі, фундаментальне значення комп'ютерного моделювання динамічних систем, – пише Дж. Огборн, – полягає у можливості розділяти розрахунок на елементарні кроки (ітерації). Це збільшує наочність і доступність розрахунку для розуміння та сприяє ліквідації розриву між формулюванням диференціального рівняння і використанням у подальшому аналітичної форми його розв'язування для розрахунків, як це звичайно робиться в курсах фізики і хімії. Більш того, чисельні моделі функціонують так само, як природа: вона нічого не знає про еліпси й параболи, але формує їх крок за кроком із плином часу, так само, як це робиться під час чисельного моделювання» [134, с. 118].

Застосування комп'ютера для розв'язання прикладних задач може суттєво спростити математичний апарат, зробити доступними школяреві задачі вузівсь-

ких курсів. Прикладом є задача про нагрівання пластини [53, с. 73–76]. Спрощення математики відбувається тим помітніше, чим раніше при розв'язуванні залучається комп'ютер. Основна причина подібних спрощень – відмова від граничних переходів, дискретність математики: похідні замінюються різницевиими відношеннями, диференціальні рівняння – рекурентними формулами, визначені інтеграли – кінцевими сумами. З цього приводу О.І. Бочкін вдається до гротеску: «Екстремісти від інформатики вважають, що якби ЕОМ існували у часи Ньютона і Лейбніца, до винаходу диференціального та інтегрального числення справа взагалі б не дійшла... Саме Ньютон запропонував чисельні, різницеві методи розв'язування диференціальних рівнянь. У нього не було лише комп'ютера» [13, с. 348]. З методичних міркувань при вивченні комп'ютерного моделювання в школі досить обмежитися співвідношеннями для кінцевих величин, а про диференціальні рівняння без крайньої потреби не згадувати.

Як відомо, в комп'ютерному моделюванні широко використовується імітація випадкових подій. Яскравий приклад – обчислення площ методом Монте-Карло. Тут є деяке пізнавальне утруднення: до цього моменту в учнів формувалося уявлення про зумовленість дій комп'ютера, повторюваність результатів. Тому не варто поспішати зі «струшуванням» датчика випадкових чисел. Нехай повторно або навіть на різних машинах з'являється той самий результат – у такий спосіб природним шляхом постане питання про комп'ютерні генератори випадкових (насправді псевдовипадкових) чисел.

Вивчення імітаційних стохастичних моделей дає можливість поступово та цілеспрямовано формувати елементи ймовірнісного мислення. З огляду про-диктованих життям вимог нової програми шкільного курсу математики щодо вивчення елементів стохастичності [59, 60], робота з подібними моделями здатна створити надійне підґрунтя для практичної підтримки цієї теми.

Говорячи про математичний апарат шкільного моделювання, не можна залишити осторонь обговорення дуже важливе питання про похибки моделей та їх оцінку. Тут ми у доступній формі використовуємо відповідні матеріали із джерел [13, 58, 167, 177]. Коротко дамо класифікацію цих похибок із розглядом

причин, що обумовлюють їх виникнення.

*Похибка постановки задачі.* У відповідності з визначенням моделі дослідник завжди повинен нехтувати «несуттєвими» властивостями об'єкта-оригінала. Це *похибка постановки задачі*. Так, у моделі про політ тіла нехтують кривою Землі. Похибку такого роду можна оцінити, лише побудувавши більш точну, проте й складнішу модель. Оскільки це не завжди можливо, то з методичної (та й методологічної) точки зору важливо обговорити, коли ці «несуттєві» властивості можуть проявитися як суттєві, тобто формувати в учнів уявлення про необхідність встановлення меж застосовності моделі. У даному прикладі при швидкості «кидання» 8 км/с тіло повинно перетворитися на супутник Землі.

*Початкова похибка (похибка вхідних даних).* Вхідні дані у задачі завжди відомі наближено. Навіть при абсолютно точних розрахунках вони внесуть похибку, яку називають *початковою*. Вона поширюється з обчисленнями, може спадати (модель епідемії) і зростати (поширення чуток). Так при кожному зіткненні більярдних куль (молекул речовини) навіть найменша неточність вимірювання їх початкових координат веде до зростання похибки за законом геометричної прогресії: куля, зміщена на 1 мм від своєї траєкторії, відіб'ється від другої зовсім під іншим кутом і, можливо, взагалі не попаде у третю, намічену гравцем. Задача такого типу (а не лише модель) зветься *нестійкою* за початковими даними. Природно, нестійкою буде й модель. Не слід вважати початковими лише дані у зв'язку зі зміною часу. Так, початковими даними для задачі про остійність корабля є його форма й положення центра мас: час тут взагалі ні при чому. Погано, якщо незначна зміна форми корабля або мале хвилювання його переверне.

За подібних обставин вихід може бути дещо іншим: трохи змінити одне з вихідних даних, скажімо, прийнявши значення прискорення вільного падіння рівним не 9,8, а 9,7. При цьому на кожному кроці розрахунку округлюватимуться зовсім інші числа. Якщо результат зміниться на досить малу величину, то можна зробити висновок, що при малій зміні вхідного даного (параметра)

мало змінюється і результат, що говорить про стійкість моделі за цим параметром. Це дуже важлива властивість: оскільки вхідні дані завжди відомі з деякою похибкою, то, змінюючи їх почергово на величину похибки, можна оцінити її вплив на остаточний результат. У разі порушення стійкості обчислювального процесу це означатиме, що або вже нагромаджуються похибки округлення (наприклад, крок прирощення часу  $\Delta t$  занадто малий і обчислень занадто багато), або причина у самому обчислювальному алгоритмі.

*Похибка методу.* Обчислювальна схема моделі характеризується кількістю кроків комп'ютерного моделювання (ітерацій). У моделях можуть з'являтися числові параметри, що походять із самих математичних методів моделювання. Аналогів цим параметрам немає у прототипу, це «витрати» моделювання. Так, обчислення площі фігури методом Монте-Карло дає точну відповідь лише у границі, коли кількість кидань прямує до нескінченості, чого реально не можна здійснити в обчислювальному експерименті. Так само модель руху тіла в полі тяжіння містить кінцевий крок зміни часу  $\Delta t$ , що замінив диференціал  $dt$ , і отже, величина  $\Delta t$  повинна прямувати до нуля. Але при цьому час обчислень необмежено зростатиме.

Існує розвинений математичний апарат для оцінки цієї похибки чисельних методів, але внаслідок його складності користування ним не лише в школі, а й на практиці становить певні утруднення. Простіший вихід вбачається у практичному дослідженні поведінки моделі при зміні її параметрів. Найчастіше застосовуваний прийом полягає у подвоєнні (або діленні пополам) деякого параметра. Так, у першому прикладі можна подвоїти число кидань і порівняти результати – два наближених значення площі фігури. Аналогічно в задачі про рух тіла можна зменшити удвічі крок зміни часу  $\Delta t$  і порівняти результати, що відповідають однаковим моментам часу. Якщо розбіжність цих результатів не буде перевершувати заздалегідь обумовлену точність, то це свідчатиме про те, що попереднє значення параметра було обрано задовільно.

В нашому навчальному посібнику цей факт має своє практичне відобра-

ження. Учням пояснюється, що у випадках реальних складних моделей іншого способу оцінки похибки методу іноді просто немає, строгі способи оцінювання похибок вдається використовувати для порівняно простих задач. До того ж такий чисельний експеримент, виконаний учнем, сприяє усвідомленню ним вторинності значень параметрів по відношенню до змісту задачі.

*Інструментальна похибка.* Це похибка самого комп'ютера, про яку вже йшлося у попередньому параграфі. Теоретично оцінити таку похибку ще складніше. На перший погляд напрошується експеримент, аналогічний попередньому випадку: змінити кількість розрядів, якими подано числа і порівняти результати двох розрахунків. Такий крок інколи може не дати бажаного результату, оскільки існують програмні середовища, у яких зміна розрядності виконується лише зовнішньо, на екрані, а у пам'яті комп'ютера зберігаються «сховані» розряди. Ми акцентуємо увагу на цій обставині саме у зв'язку з тим, що до таких середовищ належать багато електронних таблиць.

Наведені міркування ілюструють можливість заміни складного математичного апарату оцінки похибок моделювання зазначеними чисельними експериментами. Але учням треба пояснити, що одержаний висновок не є загальним і, строго кажучи, лише означає, що два результати виявилися близькими. Висновок про їхню близькість до точного розв'язку засновується на малій імовірності випадкового збігу двох розрахунків. Дійсно, якщо, наприклад, при  $\Delta t=0,1$  с і  $\Delta t=0,05$  с розбіжність у результатах незначна, то ще один розрахунок для  $\Delta t=0,025$  с може помітно додати впевненості, якщо і новий результат буде близьким до двох попередніх.

Таким чином, основним методом вивчення комп'ютерного моделювання є пошуково-дослідницький метод, особливо у тих випадках, коли натурне дослідження реально неможливо або важко виконати.

## Висновки до першого розділу

1. Творче мислення характеризується новизною та оригінальністю свого продукту, своєрідністю процесу його одержання, істотним впливом на розумовий розвиток. Воно є головною ланкою в розумовій діяльності, оскільки забезпечує реальний рух до нових знань. Його ознакою є вихід особистості за межі поставленої задачі: творчість починається там, де результат перестає бути тільки відповіддю, тільки розв'язком заздалегідь поставленої задачі.

Огляд літературних джерел виявив розбіжність між тлумаченнями творчості і цілеспрямованої діяльності. Позитивне розв'язання цього протиріччя було нами одержано на основі його діалектичного аналізу. Будучи двома формами активності, творчість і діяльність знаходяться у діалектичній єдності, вони є взаємопов'язаними і взаємообумовленими: розвиток творчих здібностей можливий лише у діяльності, а розвиток і удосконалення діяльності може відбуватися

лише через присутні у ній творчі компоненти. При цьому творчість виходить з під контролю свідомості лише під час творчого акту, тобто на рівні його несвідомих компонентів.

Творчі здібності не створюються, а вивільняються. Вирішальну роль у виявленні й розвитку творчих здібностей відіграють освіта й виховання. При цьому високий рівень інтелекту не гарантує творчих досягнень: можна бути інтелектуалом і не стати творцем. Метод моделювання, що найчастіше спрямований на розв'язування задач із нечітко сформульованою умовою, створює реальну основу для розвитку творчого (продуктивного) мислення школярів.

2. Методична система навчання комп'ютерного моделювання будується на концепціях теорії проблемного навчання та теорії поетапного формування розумових дій, що забезпечує можливість управління навчальною діяльністю і створення орієнтувальної основи дій для розвитку творчих здібностей. Вона спирається на здатність учнів до теоретичного мислення і продовжує його формування через міжпредметну інтеграцію (зовнішня синтезуюча складова) і за

рахунок засвоєння учнями певних методологічних засад комп'ютерного моделювання (внутрішня складова). Ці обидві складові у сукупності покликані забезпечувати формування наукового світогляду.

І хоч теорія поетапного формування розумових дій є нерозробленою стосовно творчого аспекту процесу навчання, ми припускаємо, що подаючи у якості орієнтувальної основи розумових дій зразки творчого мислення, можна сподіватися на розвиток творчих здібностей через механізм наслідування зразку.

Розв'язування інтелектуальної задачі, що вимагає творчого підходу, часто відбувається на спонтанному й несвідомому (інтуїтивному) рівні. Та обставина, що інтуїтивне мислення, яке є важливим компонентом творчого процесу, зумовлюється не тільки ситуацією, коли не вистачає знань, приводить до висновку про можливість розвитку його в учнів у навчальному процесі. Цей факт знаходить своє відображення у змістовому наповненні навчального посібника при аналізі ситуацій, пов'язаних із необхідністю прийняття рішень в умовах браку інформації.

3. В онтогенезі існують оптимальні сензитивні вікові періоди формування й розвитку творчих здібностей, що обумовлює необхідність врахування вікових особливостей учнів у організації навчально-виховної діяльності. На основі вікової періодизації структурних зрушень інтелекту ми встановили, що всі необхідні психологічні передумови для здійснення цілеспрямованої навчально-педагогічної роботи з метою розвитку творчих здібностей учнів засобами комп'ютерного моделювання виникають у старшому шкільному віці.

4. Цілеспрямована педагогічна діяльність з метою виявлення й розвитку творчих здібностей має засновуватися на формуванні мотиваційної сфери, яка в цілому детермінує навчальну поведінку. Зміст навчання повинен бути глибоко мотивованим головним чином тим, що він спрямовується на розв'язування складних проблем науково-теоретичного пізнання об'єктів навколишнього світу, на засвоєння методів такого пізнання.

5. Пропонована методична система навчання комп'ютерного моделювання має на меті розкрити зміст усієї шкільної освіти через введення понять

«модель» і «моделювання», що склалися як у конкретних науках, так і в методології науки взагалі. Опанування учнями філософського змісту поняття «модель» при систематичному цілеспрямованому вивченні курсу основ комп'ютерного моделювання забезпечує формування в них наукового світогляду.

*Вивчення моделей з різних предметних галузей – фізичних, хімічних, біологічних, історичних тощо – сприяє розвитку «предметного» мислення та інтеграції наукових методів пізнання у навчальній діяльності і тим самим позитивно впливає на формування основ інформаційної культури школярів. Одночас набуття навичок побудови і дослідження моделей сприяє розв'язанню задачі, що має самостійну загальноосвітню значущість – воно створює передумови для розвитку системного і логічного мислення.*

6. На початковому (шкільному) етапі поглиблене вивчення школярами моделювання доцільно організувати у вигляді окремого факультативного курсу на основі інтегрування широкого спектру навчальних задач із різних предметних галузей, оскільки такий курс відкриває можливості для формування загальнонаукових уявлень про теоретичні та прикладні аспекти методу моделювання.

Факультативне вивчення моделювання доцільно починати з обчислювальних моделей на основі використання чисельних методів. Застосування комп'ютера для розв'язування прикладних задач може суттєво спростити математичний апарат, зробити доступними школярам задачі вузівських курсів.

Систематичний курс комп'ютерного моделювання повинен приділяти значну увагу проблемі виникнення й нагромадження похибок округлення. Курс має знайомити зі способами їх зменшення.

7. У методології моделювання найбільш відповідальним і складним є процес абстрагування, тобто включення до опису моделі суттєвих і виключення несуттєвих ознак (властивостей). Однак не менш важливим є і виявлення меж застосування моделі.

Стосовно класифікації моделей і видів моделювання учні повинні розуміти, що будь-яка конкретна модель може одночасно мати кілька підстав та ознак для різної класифікації, а остаточний вибір визначається метою дослідження.



Ознака може стати підказкою про спосіб моделювання, вона може говорити і про якість моделі.

8. Внаслідок узагальнення методу моделювання сформувалося поняття «інформаційна модель». Такі моделі описують інформаційні процеси і використовуються в інформаційних системах, при цьому параметри моделі та її складові можуть мати числову, текстову або іншу сигнальну форму. Більш доступним для учнів є уявлення про інформаційну модель як сукупність (набір) даних, що містять всю необхідну інформацію про досліджуваний об'єкт.

9. Згідно дидактичного принципу наочності при навчанні комп'ютерного моделювання у методичній системі повинні передбачатися можливості за найменшої нагоди разом із знаковою моделлю завжди будувати модель наочно-образну, щоб у свідомості учнів створювався відповідний чуттєвий образ.

За принципом просування від простого до складного і принципом наслідування більш повна, більш загальна модель повинна містити у собі простішу як окремий випадок при переході до попередніх умов. Тому навчальний курс не просто знайомить із численними прикладами практичних застосувань комп'ютера, а реалізує методологію такої роботи: практично кожна модель має 3–4 версії з поступовим ускладненням.

10. При навчанні моделювання доцільно не обмежуватися якимось одним середовищем – раціональним є перехід від одного до іншого у міру опанування знань з інформатики. Створення такого середовища засобами мов програмування високого рівня, з одного боку, ставить вивчення систематичного курсу моделювання у часову залежність від вивчення програмування, а з другого – вимагає від учнів значних зусиль і часу для створення інтерфейсу користувача, що помітно відволікає від безпосередньої роботи з моделлю. Досвід переконує, що на початковому етапі цілком придатним середовищем поряд з іншими програмними засобами (наприклад, широко відомим пакетом GRAN1 [56]) є електронні таблиці. Їх можна розглядати як тимчасове середовище, що надає можливість почати вивчення комп'ютерного моделювання помітно раніше, ніж вивчення програмування.

## РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ ШКОЛЯРІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1. Методична система навчання комп'ютерного моделювання

Згідно з положеннями загальної дидактики методична система навчання будь-кого предмету складається з п'яти основних компонентів: цілей, змісту, методів, засобів і організаційних форм. У 70-х роках на основі аналізу існуючої методики навчання математики А.М. Пишкало в роботі [159] запропонував розглядати компоненти методичної системи не у загальноприйнятому на той час порядку (Рис. 3), а у вигляді своєрідного просторового графа, тобто у вигляді схеми, поданої на рис. 4.

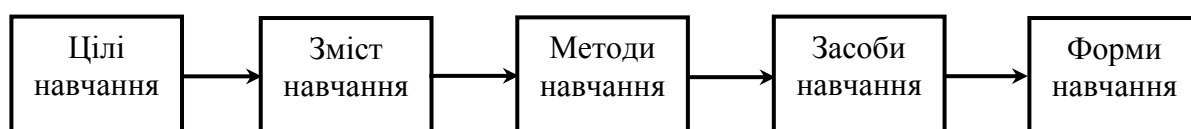


Рис. 3.

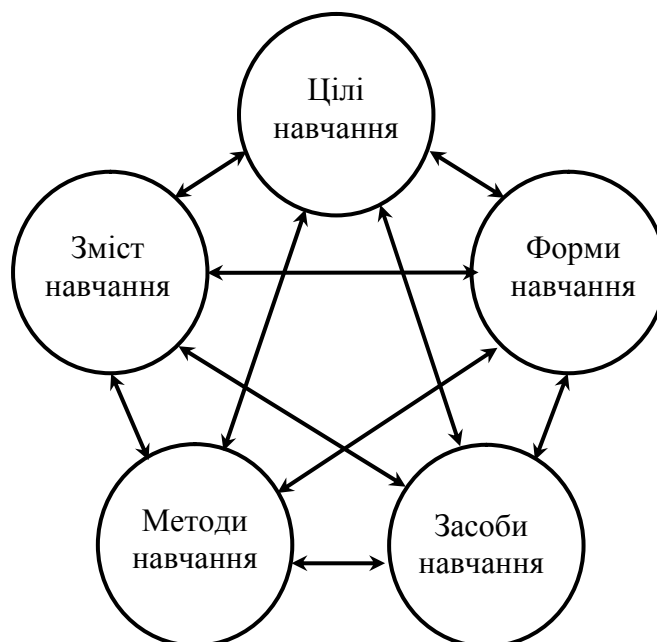


Рис. 4.

На цій схемі відображено всі можливі безпосередні зв'язки між компонентами, вона більш точно й повно описує структуру методичної системи.

«Можна говорити про те, що *поява принципово нових засобів навчання, що якісно змінюють можливості передавання інформації і розширюють можливості організації навчального процесу, приводить до перегляду змісту, форм і методів навчання і може опосередковано позначитися на цілях навчання*» [156, с. 7]. Це зауваження майже на 10 років випередило появу комп'ютерів у масовій школі, але з позицій сьогодення, можна стверджувати, що в ньому сконцентровані всі основні ідеї створення й обґрунтування методичної системи навчання інформатики: *комп'ютер як потужний сучасний дидактичний засіб у значній мірі обумовлює цілі, зміст, методи й організаційні форми навчання у сучасній школі.*

У [92] зазначається, що на відміну від інформатики методичні системи решти навчальних предметів, що складають зміст загальної середньої освіти, формувалися протягом багатьох десятиліть здебільшого емпірично, перевіряючи з шкільною практикою і зазнаючи помітних змін з періодом близько 10–15 років. Для інформатики ж у цілому, як і для окремих її практичних застосувань, характерним є більш значний динамізм у змінах методичних систем навчання.

Розробка повноцінної методичної системи відіграє ключову роль у її функціонуванні як суттєвої складової шкільного курсу інформатики. Тому актуальним є аналіз її компонентів, виявлення найбільш слабких місць і проблем, що здатні помітно погіршити її якості і без подолання яких неможливий її подальший розвиток.

Створюючи згідно [170] методичну систему вивчення основ комп'ютерного моделювання, ми намагалися:

- врахувати початковий рівень навчальної підготовки своїх учнів, їх мотиваційну готовність до майбутньої специфічної учбової діяльності;
- спрогнозувати результати педагогічного впливу, передбачаючи, які знання, уміння й навички повинен або може одержати учень, який розвиваючий вплив на нього повинен здійснити зміст навчання;
- забезпечити варіативність форм і методів з опорою на елементи проблемного навчання;

- забезпечити діяльнісний підхід до навчання;
- передбачити можливості поетапного відстеження результатів навчання.

*Головною метою* нашої методичної системи є розвиток творчих здібностей учнів засобами комп'ютерного моделювання через сукупність спеціальних знань, умінь та навичок, що забезпечують учням можливість застосовувати засоби обчислювальної техніки спочатку у навчальній, а в перспективі й у професійній дослідницькій діяльності. Зміст курсу містить сукупність двох взаємопов'язаних складових: теоретичної та практичної. Теоретична складова спрямована на формування в учнів наукового світогляду, інформаційної культури, навичок аналізу і формалізації дослідницьких предметних задач, на ознайомлення з методологією моделювання і особливостями її комп'ютерної реалізації. Практичний аспект пов'язаний з набуттям умінь щодо вибору середовища моделювання, адекватного розв'язуваній задачі, та навичок роботи у різних середовищах, підготовки задачі до розв'язування за допомогою комп'ютера в обраному середовищі, прийняття рішення про адекватність моделі досліджуваному об'єкту. У загальній структурі курсу обсяг практичних занять значно переважає над теоретичними так само, як і в базовому курсі інформатики.

В ході дослідження нами був розроблений факультативний курс (навчальний посібник і методичні рекомендації) поглибленого вивчення основ комп'ютерного моделювання, який пройшов апробацію в Центрально-Міській гімназії м. Кривого Рогу та в Криворізькому державному педагогічному університеті (1995/96–1997/98 навч. рр.), а також у гімназіях і ліцеях міста, що мають фізико-математичний, технічний або інформаційний профілі: Центрально-Міський фізико-математичний, Саксаганський, Довгинцівський гуманітарно-технічний, Криворізький обласний педагогічний ліцеї, середня школа інформаційного профілю № 114 (1998/1999–1999/2000 навч. рр.). Матеріали посібника були також викладені в курсі лекцій, прочитаних автором для вчителів інформатики під час курсової перепідготовки у Дніпропетровському обласному інституті освіти (1996–1999 рр.) та на засіданнях міського постійно діючого семінару «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній

діяльності» (м. Кривий Ріг, 1999–2000 рр.).

*Система цілей курсу:* формування навичок використання ЕОМ як специфічного засобу розв’язування навчальних і практичних задач; ознайомлення з основними принципами побудови та дослідження математичних моделей; навчання найбільш поширених методів такої роботи; формування культури дослідницької діяльності з використанням засобів ЕОТ.

*Змістова частина* методичної системи (навчальний матеріал) включає широкий спектр задач із різних предметних галузей і передбачає вивчення початкових відомостей про моделі й технологію моделювання:

- на конкретних прикладах розглянуто весь цикл моделювання: постановка задачі та її змістовий аналіз → формалізація задачі й побудова математичної моделі → складання алгоритму → обчислювальний експеримент (включаючи тестування, налагодження і перевірку моделі на адекватність) → інтерпретація результатів → удосконалення моделі;

- виходячи з природи досліджуваних явищ, виокремлюються детерміновані та стохастичні моделі і відпрацьовуються особливості побудови моделей кожного виду;

- обговорюються такі специфічні питання моделювання, як вибір придатного типу моделі та відповідного середовища для моделювання, дискретизація процесів, що моделюються, використання чисельних методів, походження похибок округлення та шляхи їх зменшення; наводяться початкові відомості про стійкість моделі та деякі прості способи її забезпечення;

- реалізовано елементи системного підходу: можливість побудови різних моделей для вивчення одного й того ж об’єкта та використання однакових моделей для вивчення різних об’єктів; побудова імітаційних моделей складного об’єкта через моделювання його окремих компонентів з їх подальшим синтезом;

- спрощений спочатку опис виучуваного явища в подальшому поглиблюється: майже кожна модель має не менше трьох версій; при цьому поступово нарощується понятійний апарат і триває опанування нових методів роботи

(однак кількість спеціальних понять і термінів зведена до мінімуму);

– матеріал посібника підпорядковано ідеї адекватного застосування комп'ютера при розв'язуванні наукових та прикладних задач: комп'ютер повинен застосовуватися лише у тих випадках, коли без нього розв'язування принципово неможливе або неефективне.

Обчислювальний експеримент із математичною моделлю (і, зокрема, імітаційною) усуває багато ускладнень, що виникають при аналітичному розв'язуванні задач. Це робить їх цілком доступними для старшокласників, що, у свою чергу, створює реальні передумови для розширення змістової частини різних навчальних предметів, оскільки з'являється можливість включати до них нові цікаві дослідницькі задачі. Ми постійно звертаємо увагу учнів на той привабливий факт, що на основі вдало побудованої моделі можна отримувати нові відомості про виучуваний об'єкт. Саме такі ситуації у процесі навчання створюють глибокий емоційний вплив на учнів, стаючи ефективним мотиваційним фактором.

Стосовно засобів навчання зазначимо, що початкове вивчення систематичного курсу основ комп'ютерного моделювання ми здійснюємо у середовищі електронних таблиць. Окрім наведеної раніше аргументації на користь такого вибору, додамо, що вивчення електронних таблиць і формування в учнів початкових уявлень про моделювання передбачено чинною програмою з інформатики. Спільне вивчення цих питань, на нашу думку, надає додаткові можливості для посилення практичної спрямованості курсу інформатики.

Оскільки межі застосування електронних таблиць нами вже було обговорено, проілюструємо зміст наведених там міркувань. Звернемося до конкретного прикладу, у якому розглянемо розв'язування задачі моделювання руху планет навколо Сонця [209, с. 167–173]. Докладне розв'язування подібної задачі на побудову траєкторії криволінійного руху в середовищі електронних таблиць наведено в [190]. З рис. 5 видно, що для моделювання руху однієї планети (Землі) необхідно 14 стовпців та близько 360 рядків (якщо крок прирощення часу  $\Delta t$  становитиме 1 добу). Це вже утруднює аналіз табличних даних, та все

ще є доцільним, оскільки звільняє користувача від програмування графічного інтерфейсу. Але для розгляду руху всіх дев'яти планет разом із Сонцем необхідно вже 62 стовпці та якнайменше 90500 рядків, що зумовлює потребу у іншому, більш ефективному середовищі, яке будуватиметься засобами програмування мовою високого рівня.

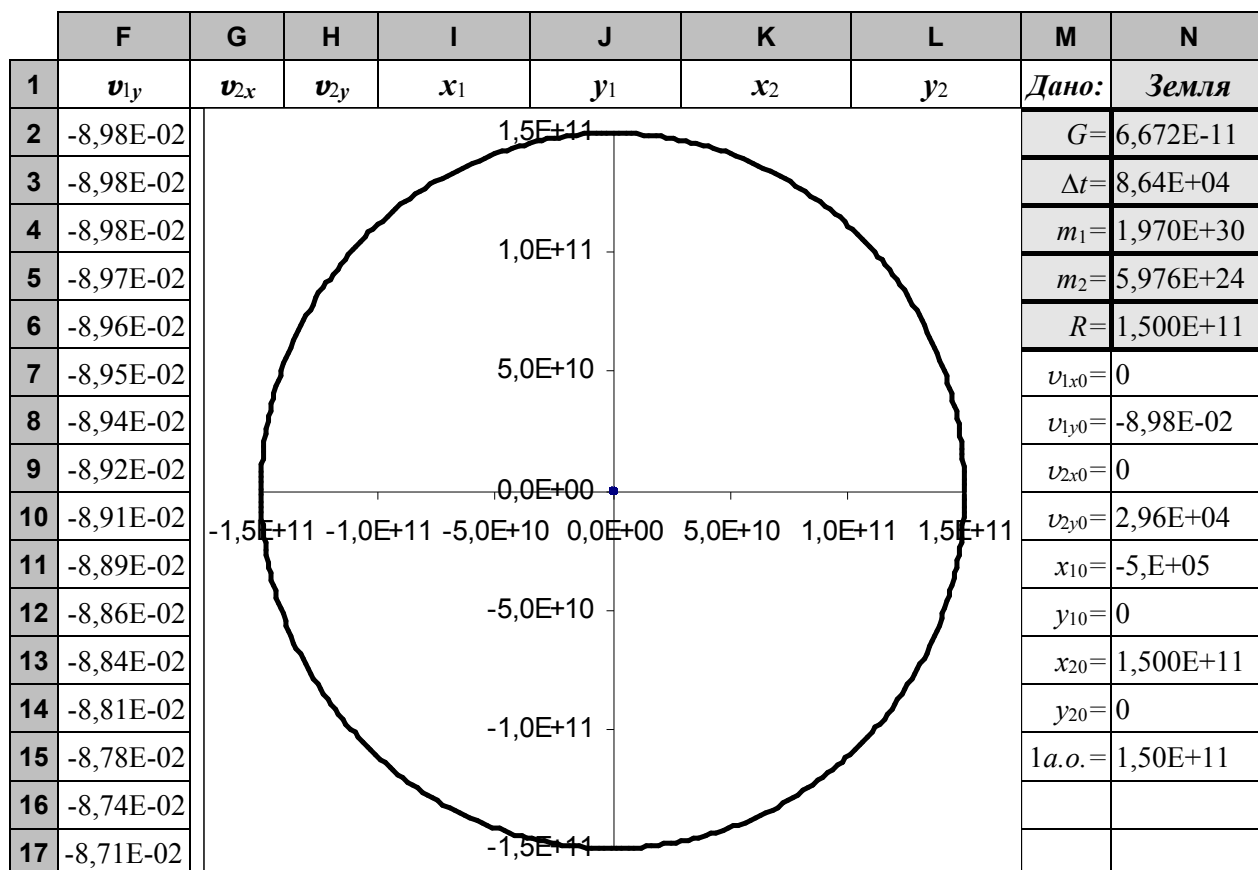


Рис. 5.

Перехід від електронних таблиць до мови програмування позбавляє зручності миттєвої зміни параметрів моделі та наочності процесу розрахунків, проте надає такі нові можливості: 1) можливість зберігати лише поточні значення змінних, не нагромаджуючи всі попередні; 2) можливість групування подібних між собою змінних у масиви; 3) зняття обмежень на кількість ітерацій (роль яких відігравали рядки таблиці) та послаблення обмежень на кількість змінних; 4) можливість графічної інтерпретації динаміки моделі в процесі розрахунків, а не після їх завершення, як в електронних таблицях.

Існує можливість, залишаючись у середовищі електронних таблиць, використати вбудовану мову програмування. Такий крок дозволяє об'єднати переваги електронних таблиць та мови програмування високого рівня, проте

орієнтація на лише одну мову програмування неминуче ставить користувача у залежність від стратегії розвитку мови, а ця стратегія обирається переважно з комерційних міркувань. До того ж, швидкість еволюції такої мови, відсутність інваріантного ядра та переобтяженість додатковими можливостями, які підвищують вимоги до техніки, утруднюють її вивчення у закладах освіти.

Ось чому повний курс основ комп'ютерного моделювання після початкового етапу включає ще дві істотні частини, пов'язані з програмуванням: вивчення методів ефективного використання ресурсів комп'ютера для розв'язування задач моделювання та вивчення об'єктно-орієнтованого підходу до моделювання динамічних систем. Таким чином, у пропонованій методичній системі навчання засоби і методи вивчення комп'ютерного моделювання в процесі навчання зазнають еволюційних змін, спрямованих на опанування учнями все більш досконалих прийомів роботи.

До засобів навчання ми відносимо і посібник для учнів. Він складається з п'яти розділів. У першому (вступному) розділі формуються й у подальшому в міру необхідності уточнюються загальні уявлення про моделі й моделювання; наводиться класифікація моделей, у якій особливу увагу приділено математичним моделям, що складають основний зміст курсу. Матеріал цього розділу спочатку вивчається в ознайомлювальному плані, проте, у міру просування курсом час від часу окремі положення уточнюються та доповнюються.

Другий розділ знайомить із технологією створення моделі та подальшою роботою з нею. Ми вважаємо, що сюжетна основа найпершої моделі у загальних рисах повинна бути добре відомою всім учням і не вимагати спеціальних знань. Нами була обрана на перший погляд проста, але насправді зовсім не тривіальна задача про поширення чуток. Перші результати роботи з украй спрощеною версією цієї моделі виявляють їх майже повну якісну невідповідність фактам, відомим із життєвих спостережень. Далі здійснюється поступове ускладнення моделі шляхом уведення до неї нових суттєвих факторів. В результаті модель дедалі стає все більш реалістичною. При цьому ми дотримуємося принципу наслідування: кожна наступна вдосконалена версія моделі



повинна містити в собі всі попередні як окремі випадки. Усього розглянуто чотири версії.

Третій розділ присвячено розв'язуванню класичних задач математичної екології. У його першій частині розглянуто чотири версії детермінованої моделі одновидової популяції. Спочатку досліджується найпростіша модель динаміки популяції за відсутності обмежень (модель Мальтуса) і як її розвиток – модель популяції з урахуванням обмежень, пов'язаних із конкуренцією (модель Ферхюльста). Її логічним продовженням є наступні дві версії промислової експлуатації популяції. Перша з них будується на основі жорсткого регулювання чисельності особин, які вилучаються з популяції – експлуатація за жорстким, директивним плануванням. Такий режим призводить до можливості появи нестійкої рівноваги та пов'язаної з цим небезпеки невідвортної загибелі популяції. У другій реалізується гнучке регулювання (модель із зворотним зв'язком), що призводить до стійких рівноважних станів. Інтерпретація результатів моделювання за двома останніми версіями виявляється корисною і в плані екологічного виховання учнів, оскільки ці результати мають стратегічний характер.

У двох наступних главах відповідно розглянуті вікова модель одновидової популяції (дискретна модель Леслі) та модель двохвидової популяції «хижак–жертва» (модель Вольтерра-Лотки). Порівняння результатів моделювання за моделями Мальтуса та Леслі доводить їхню якісну схожість. Так само якісно схожими виявляються результати при порівнянні детермінованої моделі «хижак–жертва» та відповідної готової стохастичної моделі. Таким чином, учні можуть переконатися в тому, що різні моделі одних і тих самих об'єктів здатні ефективно доповнювати одна одну, що є одним із прикладів застосування системного підходу у теоретичних дослідженнях.

Задачі, що пропонуються в четвертому розділі посібника, на відміну від попередніх, потребують спеціальних знань із курсу фізики. Для дослідження тут пропонуються приклади механічних рухів тіл під дією змінних сил, а саме таких, що залежать від координат (сила пружності й сила всесвітнього тяжіння)

та від швидкості (сила опору й аеродинамічна сила). Кінцевою метою цих задач є побудова траєкторій руху, тобто графіків залежності між координатами тіла, що змінюються з плином часу.

Головна особливість, що відрізняє такі задачі від більшості шкільних задач цієї тематики, полягає в тому, що під дією змінних сил тіла набувають змінних прискорень. При цьому швидкість руху вже не є лінійною функцією часу, а змінюється у більш складний спосіб. Ось чому точний розрахунок координат тіла у довільний момент часу методами елементарної математики стає неможливим. Так природним шляхом виникають сприятливі передумови для ознайомлення учнів із дискретизацією неперервної моделі, з найпростішими чисельними методами та похибками округлення і способами їх зменшення.

Перший об'єкт дослідження – коливальний рух тіла на пружині з урахуванням опору у вигляді сили в'язкого, а далі сухого тертя. Тестування та налагодження моделі ведеться для випадку дії на тіло однієї лише сили пружності. Закономірності такого руху добре відомі учням із шкільного курсу фізики. Основний інтерес тут являє обговорення питання про нагромадження похибок округлення та про підвищення точності обчислень шляхом покращення алгоритму. Врахування сил опору дає картини затухаючих коливань, причому помітно різні при переході від в'язкого тертя до сухого. Спеціальні питання спонукують учнів до самостійного пошуку основних закономірностей досліджуваних рухів.

Наступний об'єкт – рух тіла в полі тяжіння [209] (рух планети навколо Сонця або супутника навколо планети), а також систем типу «подвійна зірка». Основна мета даного дослідження – практично переконати учнів у існуванні меж застосування моделей. Система завдань, що пропонується тут учням, створює ситуації, коли кожна чергова модель, яка щойно давала коректні результати, при зміні початкових умов стає неадекватною досліджуваному явищу. Так, при переході від умови  $m_{\text{супутн.}} \ll M_{\text{планети}}$  (наприклад, Земля – штучний супутник) до випадку  $m_{\text{супутн.}} < M_{\text{планети}}$  (Земля – Місяць) актуалізується необхідність переходу до розгляду рухів обох тіл у системі відліку, пов'язаній зі спільним центром мас, а за умови близьких або однакових мас виявляється,

що при побудові моделі було припущено неточність при фізичному аналізі явища. Ці дослідження завершуються узагальненням задачі двох тіл на довільний дійсний показник степеня  $n$  у законі тяжіння  $F=Gm_1m_2/r^n$  [2, с. 54–56].

Черговий об'єкт вивчення – політ некерованого планера (паперового літачка) під дією сили тяжіння та аеродинамічної сили. Побудова відповідної моделі виконується через ряд поступових ускладнень. Спочатку розглядається рух тіла (матеріальної точки) під дією однієї лише сили тяжіння, закономірності якого відомі зі шкільного курсу. За цими закономірностями здійснюється тестування першої найпростішої версії моделі шляхом порівняння результатів розрахунків за теоретичними формулами з результатами моделювання, що засноване на системі рівнянь у вигляді скінчених різниць і не передбачає цих формул. При цьому порівнюються результати при різних початкових умовах шляхом варіювання значень початкової координати, модуля і напрямку вектора початкової швидкості. Результатом таких обчислювальних експериментів повинен стати висновок про адекватність моделі відносно припущень, прийнятих під час її побудови.

Далі до розгляду додається сила опору середовища (повітря). Це призводить до того, що, по-перше, рухоме тіло вже не розглядається як матеріальна точка, і, по-друге, виникає необхідність в експериментальному визначенні числового значення коефіцієнта опору, що становить самостійну цікаву й корисну задачу механіки. У зв'язку з тим, що внаслідок складності відповідна теорія в школі не вивчається, результати моделювання порівнювати не буде з чим, і відтепер і надалі оцінка адекватності моделі відбуватиметься лише на якісному рівні. Тут учні повинні прийняти до відому, що у практиці реальних досліджень часто буває корисним вивчення якісних моделей з метою виявлення загальних тенденцій у поведінці величин, що цікавлять дослідників. Зокрема, траєкторії руху, одержані тут як результат моделювання, корисно порівняти за виглядом із траєкторіями руху волана під час гри у бадмінтон.

У повній версії моделі враховується, що аеродинамічна сила проявляє себе через силу лобового опору та підймальну силу й обидві вони пропорційні

квадратові швидкості. Пошук прийнятних значень відповідних коефіцієнтів пропорційності (параметрів моделі) складає тут предмет спеціального обговорення, тобто більш докладно йдеться про так звану обернену задачу моделювання. Перед виконанням обчислювального експерименту бажано надати учням можливість виконати декілька натурних експериментів, поспостерігати за формами траєкторій польоту паперових літачків при різних початкових швидкостях та кутах кидання і виконати приблизні малюнки траєкторій польоту від простих до найскладніших – петлеподібних. У такий спосіб буде підготовлено відповідний емоційний фон для сприйняття результатів моделювання. Той факт, що поведінка моделі, хоч і на якісному рівні, але все ж таки гарно відтворює поведінку реального літачка, справляє на учнів глибоке враження. У таких ситуаціях учні усвідомлюють, що радість і задоволення можна одержати лише як нагороду за напружену працю. Якщо учитель створюватиме необхідні сприятливі умови, то відповідні мотиви переходитимуть в особистісну якість і цілі навчання ставатимуть особистими цілями.

Нарешті, останнім у цьому розділі об'єктом дослідження є імітаційна модель-гра «Посадка на Місяць», що свого часу (перша половина 80-х років) обійшла сторінки таких науково-популярних журналів, як «Наука и жизнь» і «Техника – молодёжи» і заслужено потрапила до пробного навчального посібника [19, с. 101–119]. Ми вважаємо цю задачу-модель цінною методичною знахідкою, яка не повинна загубитися. Ціль гри – пошук оптимальної стратегії управління, яке зводиться до регулювання витрати палива у гальмівному двигуні космічного апарату для забезпечення «м'якої» посадки. Задача розв'язується методом послідовних підстановок. Привабливість цієї задачі ми вбачаємо у такому: по-перше, ця гра настільки емоційна, що коли перед тим, як запропонувати її учням для моделювання, дати їм можливість пограти з готовою моделлю, то висока мотивація навчальної роботи забезпечується автоматично; по-друге, гра перестає бути «чорним ящиком» з таємною стратегією лише після створення математичної моделі, але одночасно втрачається інтрига, гра перестає бути цікавою, а учні одержують завдання підготувати свої пропозиції щодо її урі-

зноманітнення.

У методичному аспекті ця модель у своїх основних теоретичних (фізичних) ідеях є логічним продовженням попередніх моделей цього розділу, але одночасно вона забезпечує природний перехід до наступного розділу. Якщо в даній моделі пошук оптимальної стратегії управління здійснюється ручним способом, то у наступному п'ятому розділі розглядається автоматизоване розв'язування задач оптимізації.

Перша з них – задача на дослідження операцій в управлінні виробництвом. Визначальна особливість відповідної моделі полягає в тому, що вона є стохастичною і ґрунтується на застосуванні методу випадкової вибірки (методу Монте-Карло) для розігрування моментів відмови обладнання. Дослідження моделі доводить, що у деяких ситуаціях вдається помітно зменшити час і вартість ремонтів виключно за рахунок вибору оптимальної організації обслуговування. До того ж учні мають нагоду зрозуміти, як за допомогою рівномірно розподілених випадкових чисел і відомим експериментальним законом розподілу відносних частот відмов стає можливим моделювання реальних випадкових подій і, таким чином, оцінити ефективність методу Монте-Карло. Не менш важливим тут є і висновок про те, що вивчення таких моделей часто дозволяє відокремити потенційно продуктивні рішення від хибних.

Усі наступні задачі оптимізації з цього розділу розв'язуються методами лінійного (математичного) програмування; методика їх розв'язування в середовищі електронних таблиць добре описана в літературі [94, 143].

Особливий інтерес учнів завжди викликають геометричні імітаційні моделі. Їх будують на основі порівняно простих припущень про механізм явища, і вони ефективно імітують поведінку об'єкта дослідження. В багатьох із цих моделей досліджуване середовище подається у вигляді сітки, комірками якої моделюють структурні елементи середовища. У стохастичних моделях потреба у випадкових числах, що відповідають різним станам цих елементів, задовольняється генератором випадкових чисел. Для зручної роботи з такими моделями забезпечується діалоговий режим і можливість спостереження на

екрані динаміки процесу. Відповідно до мети моделювання результати обчислювального експерименту подаються у вигляді таблиць та графіків.

Серед великого розмаїття методів навчання з арсеналу сучасної дидактики [83, 141, 144, 178], найбільш загальними є методи викладання (як методи управління пізнавальною діяльністю учня, що ведуть до цілеспрямованої зміни його особистості) і методи навчання (як методи пізнання учнем дійсності у спеціально створеній учбовій ситуації). Відомо багато підстав для класифікації методів навчання. Зокрема, досить повний перелік підстав для класифікації наведено у роботі [141, с. 386]. У традиційній класифікації методи навчання розглядаються за такими ознаками: за способами одержання інформації – словесні, оглядові (предметні) і практичні; за способом одержання знань – теорія, практика, за способами реалізації зворотного зв'язку – контроль або самоконтроль; за мислительними операціями (логічний аспект).

Згідно змістового компоненту нашої методичної системи світ речей та зв'язки між ними учень може пізнавати через доступ до інформаційних ресурсів суспільства або через моделювання за допомогою комп'ютера. Самопізнання здійснюється через рефлексію, тобто аналіз власної діяльності, відбитої комп'ютером. Завдяки комп'ютеру миттєво стають наочними результати діяльності, що сприяє розвитку саме цієї якості мислення.

Досвід творчої діяльності формується шляхом розв'язування проблемних задач і моделювання. У цьому випадку характерним прийомом є постановка задалегідь нечітких задач, що допускають або потребують довізначення.

Метод демонстрацій у різних варіантах широко використовується в інформатиці та поза її межами. Проте, моделювання і наочне подання його результатів за допомогою ЕОМ містять певну приховану небезпеку. Справа у тому, що будь-яка комп'ютерна модель завжди простіша за реальність і може мати свої власні властивості, які відсутні у реального об'єкта. За деяких умов це може ввести учня в оману, підкріплену наочністю комп'ютерного образу. Ось чому вчителю необхідно пам'ятати самому і постійно нагадувати учням, що реальність завжди відрізняється від моделі і за деяких умов модель здатна

«відірватися» від реальності (наприклад, поза межами застосовності моделі або при втраті стійкості обчислювального алгоритму внаслідок нагромадження похибок округлення).

Не менш широко використовуються в моделюванні теоретичні і практичні методи. Тут поняття теорії і практики виявляють повну відповідність із загальнонауковими категоріями. Насамперед, метод моделювання сам є різновидом теоретичного пізнання дійсності. *В контексті моделювання теорія є засобом прогнозу, передбачення або пояснення властивостей чи поведінки об'єкта дослідження, а практика – засобом перевірки і джерелом гіпотез для теорії.* Так, процес створення моделі ґрунтується на теоретичному методі, а обчислювальний експеримент є засобом її практичної перевірки. Так само необхідним кроком у роботі з моделлю є її тестування, тобто перевірка на практиці, а система тестів повинна будуватися теоретично й охоплювати якомога більше ситуацій. Комбінованим методом роботи є налагодження алгоритму дослідження моделі, де тісно переплітаються теоретичний аналіз причин помилки і практична перевірка виправлень.

Самостійний інтерес становить розгляд методів навчання у їхньому зв'язку з мислительними операціями, оскільки ці операції відіграють вирішальну роль у розвитку творчих здібностей. Найбільш повно психологічна характеристика процесу мислення і його складників – розумових дій подана в роботі С.Л. Рубінштейна [172].

Операції *аналізу* й *синтезу* є специфічними для моделювання. Добре відомі приклади очевидних проявів цих операцій: аналіз постановки задачі, синтез моделі з відомих або бібліотечних алгоритмів. Проте досить часто трапляються і більш цікаві ситуації, наприклад, пошук помилки в алгоритмі опрацювання моделі. Учень повинен усвідомлювати зміст такого пошуку: відшукати той момент, коли прогноз поведінки алгоритму розходиться з його фактичною поведінкою. Грубий аналіз виконується з допомогою комп'ютера шляхом трасування, але *більш цінним для розумового розвитку є пошук з олівцем і папером, тобто мислене виокремлення частин, мислений аналіз.* Прикладом склад-

ного синтезу є створення учнем складної імітаційної моделі з окремих «підмоделей» – модулів.

«Аналіз і синтез, – писав С.Л. Рубінштейн, – «спільні знаменники» усього пізнавального процесу. ... Пізнавальне значення аналізу пов'язане з тим, що він виокремлює і «підкреслює», виділяє істотне» [172, с. 35].

Операція *порівняння* дає можливість виявити схожість і розбіжність близьких понять, в результаті цієї операції у свідомості відбувається їх розщеплення, і вона є обов'язковим етапом осягання змісту понять. Порівняння є потужним дидактичним прийомом, і саме з його допомогою можна вводити й удосконалювати нові поняття, звертаючи увагу спочатку на схожість, а потім на розбіжність. Прикладом може бути вирішення питання про адекватність моделі досліджуваному об'єкту.

Потреба у *класифікації* як операції мислення виникає у зв'язку з нагромадженням досить великого обсягу матеріалу. Класифікація в умовах шкільної освіти дозволяє надавати знанням специфічної якості, завдяки якій вони стають міцними. Уміння здійснювати доцільну класифікацію розглядають як одну з ознак продуктивного дивергентного мислення і розвиненого розуму. Вивчаючи моделювання, учні вже із самого початку знайомляться з класифікацією моделей і видів моделювання. До цього питання не можна відноситись формально, тут слід спільними зусиллями з'ясувати, що дає та чи інша класифікація для подальшої роботи. Використовуючи у якості середовища для моделювання електронні таблиці, ми з необхідністю знайомимо учнів із чималим переліком таблиць різних функцій різного призначення. Будь-яку з них можна за необхідності вибрати, користуючись довідковою системою, де вони наводяться у двох варіантах: за алфавітом та за призначенням. Учням, особливо у самому початку, складно запам'ятати призначення кожної з них. Але при групуванні їх, наприклад, за схожістю й відмінністю проблема помітно спрощується. Так само доцільною є класифікація часто уживаних алгоритмів.

Розвиток творчих здібностей потребує постійної уваги до актуалізації таких мислительних операцій, як *узагальнення*, *індукція* і *дедукція*, що є спосо-



бами вироблення умовиводів. Узагальнення виступає як виділення суттєвого (абстрагування) і зв'язування його з класом об'єктів. Інколи під узагальненням розуміють знаходження спільного в заданих предметах і явищах. Але С.Л. Рубінштейн довів неправомірність такого визначення узагальнення: «Узагальнення – практично значиме і науково виправдане – це не виділення взагалі яких-небудь спільних властивостей, у яких предмети або явища схожі між собою незалежно від того, що це за властивості; наукове узагальнення включає не взагалі властивості, спільні або схожі для ряду явищ, а властивості, суттєві для них» [172, с. 40]. Так, говорячи, наприклад, що модель є деяким посередником між дослідником і досліджуванним явищем, ми вдаємося до узагальнення на основі найбільш загальної спільної властивості будь-яких моделей. Узагальнення використовується у різних видах навчально-пізнавальної діяльності при вивченні комп'ютерного моделювання: при формуванні понять, при складанні алгоритмів роботи з моделлю, при формулюванні висновків за результатами моделювання. Тому вивчення прийомів правильного узагальнення – одна з важливих задач курсу моделювання. Зокрема, В.В. Давидов пише: «Формування у дітей узагальнень і понять вважається однією з головних цілей шкільного викладання» [44, с. 11].

Більш розгорнутою формою узагальнення є *індукція*. Найчастіше у моделюванні доводиться мати справу з *неповною індукцією*. Наприклад, досліджуючи властивості деякої комп'ютерної моделі, і, зокрема, встановлюючи вид математичної залежності між змінними за результатами обчислювальних експериментів, учні одержують відповідну таблицю і будують за нею графік, що має вигляд гладкої монотонно зростаючої нелінійної функції. Узявши яку-небудь пару сусідніх значень функції, учні знаходять величину їх відношення  $y_{n+1}/y_n$ , потім знаходять аналогічне відношення для деякої іншої пари і виявляють, що ці відношення однакові. Чи можна на цій підставі зробити висновок про те, що послідовність значень функції утворює геометричну прогресію? Адже для того, щоб підвести числову послідовність під поняття геометричної прогресії, треба бути впевненим, що рівність згаданих відношень має місце не

для деяких пар, а для будь-яких. Навіть, якщо взяти одну пару на початку таблиці, другу у середині і третю наприкінці і при цьому всі відношення виявляться однаковими, повної впевненості не існуватиме. І взагалі, скільки мінімально треба взяти таких пар, щоб ця впевненість нарешті з'явилася?

За наявності комп'ютера у середовищі електронних таблиць проблема легко вирішується створенням додаткового стовпця, в якому обчислюються відношення для всіх чисел, починаючи з другого. Наведений приклад потребує деяких уточнень. По-перше, графік функції матиме вигляд гладкої лінії лише за умови, що крок прирощення аргументу достатньо малий або якщо побудова графіка відбувалася в електронній таблиці, що має опцію «плавно». По-друге, якщо змінними величинами у моделі є числа, що за своєю природою можуть бути лише цілими (кількість особин у популяції, кількість виробів тощо), то вони повинні увійти до таблиці у цілочисельному форматі. В такому разі, навіть якщо вони й утворюють геометричну прогресію з першим членом, рівним, наприклад, 1, але з дробовим знаменником, візуально за кількома початковими членами побачити це практично неможливо. Нарешті, по-третє, залежність між змінними може виявитися значно складнішою, ніж щойно розглянута, і тому бажано до повного курсу моделювання ввести питання про методи апроксимації, які, до речі, використовуються в опції «плавно» або «побудувати лінію тренду».

Індукційним є також і умовивід про правильність програми, зроблений на основі скінченної кількості тестів. Неспроможність такого висновку очевидна, але так програмують усі. Стосовно неповної індукції О.І. Бочкін зауважує: «Проаналізуємо хід міркувань учня, скоріш за все, неусвідомлений. При натисканні клавіші «Стрілка вправо» за даних обставин курсор змістився вправо. Отже, і за інших обставин курсор зміститься вправо. Це схема неповної індукції, причому дуже необережної. Проте вона використовується на кожному кроці і приводить до правильних висновків, і повинна приводити, інакше ми не змогли б ступити й кроку в джунглях станів комп'ютера. Ця схема міркувань часто підтверджується практикою внаслідок таких причин:

1. Комбінаторно невичерпна множина можливих станів комп'ютера насправді влаштована дуже регулярно: однотипні комірки пам'яті, схеми, регістри, структури алгоритмів.

2. Програмні засоби також майже завжди дотримуються певних стандартів. Навряд чи сьогодні знайдеться редактор, де клавіша «Стрілка вправо» не переміщує курсор.

3. Програми-порушники неписаних стандартів не одержують поширення, непопулярні» [13, с. 134].

Роль *дедукції* у шкільному комп'ютерному моделюванні дещо скромніша внаслідок випереджаючої практики і можливості одразу перевірити правильність умовиводу дослідом безпосередньо на комп'ютері. Дедуктивною, наприклад, є задача пошуку помилки, якщо вона відшукується не покроковим виконанням, а на папері. Але й у цьому разі заключний етап усвідомлення помилки відбувається дуже швидко і практично неусвідомлено. Звичайно цей процес, на жаль, одразу ж забувається. Якщо такі ситуації не фіксувати, то одні й ті самі помилки кожного разу сприйматимуться як нові. Варто радити учням вести спеціальні записи, де реєструвати знайдені помилки. Та й учителям це не завадить.

Роль *аналогій* у засвоєнні і особливо у відкритті нових знань загальновідома. Аналогія як логічний метод наукового пізнання широко використовується у всіх науках, тобто має загальнонауковий характер. Особливого значення набуває аналогізування у методології моделювання, де виділяється навіть окремий його вид – аналогове моделювання. З іншого боку, метод аналогій відіграє одну з провідних ролей у психології творчої діяльності при постановці й розв'язуванні творчих задач. З цього приводу в [206] зазначається, що проблема аналогії відноситься скоріше до психології, ніж до логіки. З цієї точки зору аналогія являє собою один із різновидів асоціацій за схожістю, на основі якої одна думка викликає іншу. В одних випадках така асоціація допомагає досягненню істини, в інших – заважає йому, але про те, яким буде результат, нічого не можна сказати заздалегідь. Аналогія найчастіше має велику переконливість, оскільки

ки асоціація, що викликала ту чи іншу думку в однієї людини, може викликати її й в інших. Але таку переконливість не слід змішувати з доказовістю. Ось чому слід звертати увагу на випадки, коли висновки за аналогією можуть призвести до помилкових тверджень. При застосуванні методу аналогій схема міркувань може бути приблизно такою: за обставин А має місце факт В. Обставини А' у деякому розумінні подібні до обставин А. Отже, можна чекати, що і за цих обставин матиме місце факт В', подібний до В. Саме тому аналогію образно називають обережною індукцією.

Тісно пов'язані з моделюванням операції *абстракції* і *конкретизації*. Абстракція – це виділення деякого аспекту явища, який у дійсності як самостійний не існує. Абстрагування виконується для більш ретельного вивчення явища і, як правило, на основі попереднього аналізу й синтезу. Абстрагуватися можуть не лише властивості, але й дії, зокрема, засоби розв'язування задач. Їх використання й *перенесення в інші умови* можливі лише тоді, коли виділений спосіб розв'язування усвідомлюється та осмислюється безвідносно до конкретної задачі, тобто узагальнюється. Цей факт набуває особливої значущості як одна з ознак творчого стилю мислення.

Оскільки при моделюванні вихідна задача завжди ставиться більш-менш конкретно і переважно в термінах тієї галузі знань, де вона виникла, то з'являється самостійна і нелегка проблема її перекладу на мову математики й інформатики, перекладу з конкретної мови на абстрактну через прийняття системи спрощуючих припущень і формалізацію. Далі одержані результати моделювання необхідно подати мовою постановки задачі, тобто потрібен зворотний переклад – інтерпретація результатів. Уміння виконувати такі переклади є однією з ознак інформаційної культури.

*Конкретизація* є операцією, оберненою до узагальнення і в моделюванні проявляється, наприклад, при виконанні обчислювальних експериментів, де необхідно конкретизувати вхідні дані і параметри моделі або при розгляді поведінки моделі за певних умов. На протязі усього вивчення теми побудовані моделі, збагачуючись та конкретизуючись різноманітним змістом, слугують для учнів

загальним орієнтиром (орієнтувальною основою) для подальшого навчання.

Таким чином, комп'ютерне моделювання на будь-якій своїй фазі актуалізує мислительні операції і при систематичному навчанні стимулює загальний розвиток мислення, підносячи його до творчого рівня.

Ставлення учнів до власної навчальної діяльності визначається здебільшого тим, як організовано цю діяльність, яка її структура і характер. *Організаційні форми навчання* комп'ютерного моделювання обумовлені змістом і методами навчання й у значній мірі наявністю такого потужного навчального засобу, яким є комп'ютер. Загальна дидактика [83, 141, 144, 170, 178] розрізняє конкретні організаційні форми наuczительза такими ознаками: 1) за кількістю учасників сумісної діяльності – фронтальна, бригадна, індивідуальна та парна форми; 2) за роллю учасників навчального процесу (хто здійснює управлінську діяльність – вчитель чи учень). Комп'ютерне моделювання, як і будь-яка навчальна діяльність, що пов'язана з використанням комп'ютера, виявляє дві сучасні специфічні форми: 1) діяльність учнів під управлінням учителя за допомогою навчальної програми і 2) «навчання комп'ютера» у дусі мови Лого, фактично – самонавчання з негайним відображенням його результатів на екрані. Отже, *комп'ютер виступає формоутворюючим засобом навчання*.

У відповідності до цілей, змісту і засобів навчання, вікових та індивідуальних особливостей учнів, рівня їхньої попередньої підготовки з предмета визначаються як організаційні форми, так і методи навчання. Як зазначається в роботі [187], метод навчання приймає свою форму. Найчастіше конкретна форма навчання утворюється як поєднання кількох її специфічних ознак з урахуванням обраного методу, що відповідає змісту навчання.

Поєднання індивідуальних і колективних або групових форм навчальної діяльності пов'язане з намаганнями інтенсифікувати навчальний процес, зробити навчальну діяльність учнів більш ефективною. Одночасно урізноманітнення форм спільної діяльності відіграє позитивну роль і у становленні мотивації учіння, що пояснюється кількома обставинами. При індивідуальній організації навчання кожен учень постійно виконує одну й ту саму роль школяра, він від-

чуває себе лише *об'єктом* навчання й виховання. Між тим бажано, щоб учень відчув себе *суб'єктом* навчально-виховного процесу, зрозумів, що цілі й задачі цього процесу – його особисті, що він відіграє не підрядну, а досить активну й важливу роль. Досвід свідчить, що цьому може сприяти особистісно-рольова форма організації навчального процесу. За такої організації кожен учень виконує певну роль: доповідач, опонент, консультант, керівник групи. З часом ці ролі перерозподіляються.

Учбова діяльність повинна мати для учня результативно-процесуальну цінність, тобто необхідно, щоб він цінував її саму по собі, незалежно від тих благ, які вона може йому принести, щоб він цінував самий процес такої діяльності. Однак така оцінка учбової діяльності виникає не відразу й не у всіх учнів. Виникненню її можуть сприяти спостереження за чужою діяльністю (роль зразка у розвитку творчих здібностей) або за оцінкою своєї діяльності іншими (товаришами, вчителем). *Коли учень, працюючи колективно в групі і знаходячись у тісному спілкуванні, спостерігає, який інтерес викликає його діяльність, яку цінність уявляє вона для решти членів групи, він і сам починає її цінувати. Він починає розуміти, що учбова робота може мати самотійну значущість.*

Роботу з підведення підсумків вивчення теми ми організуємо так, щоб учні могли відчувати переживання емоційного задоволення від виконаної роботи, радість із приводу подолання труднощів та пізнання нового, цікавого. Це сприяє формуванню в учнів орієнтації на подібні переживання у майбутньому, що призводить до виникнення потреби у творчості, пізнанні, у наполегливій самотійній роботі, тобто до появи стійкої позитивної мотивації учбової діяльності.

Звернемося до прикладу. На завершальному етапі роботи над деякою моделлю група (звичайно 2 учні) готує письмовий звіт до майбутнього відкритого захисту. Структура звіту відповідає основним вимогам до учнівських дослідницьких робіт, що подаються на конкурс МАН: вступна частина (актуальність теми, короткий аналіз робіт попередників, особистий внесок), основна частина (постановка проблеми, створення моделі, її дослідження, результати, перевірка на адекватність), висновки (основні результати, їх практична значу-

щість, перспективи наступних досліджень). З числа учнів призначаються 2–3 опоненти, яким надається можливість заздалегідь ознайомитися з текстом звіту і підготувати свої зауваження. Вся підготовча робота здійснюється під керівництвом учителя. За допомогою локальної мережі всі матеріали, пов'язані із захистом, завантажуються на робочі місця учнів, тези звіту роздруковуються і роздаються іншим учасникам факультативної групи і гостям, які є слухачами і мають право задавати питання і брати участь в обговоренні. Таким чином, звітне заняття в цілому має особистісно-рольову форму організації. Але у той самий час відносно доповідачів – це навчальна діяльність у складі групи, відносно опонентів – індивідуальна, для решти учасників – фронтальна форма організації.

*Найважливіша перевага групової форми навчання – інтенсивний обмін інформацією, інтенсивне взаємне навчання.* Така форма може відображувати реальний розподіл діяльності в колективі, що працює над розв'язуванням однієї спільної складної задачі. Найважливіше при організації групової роботи – так розподілити ролі, щоб кожен учень виконував конкретну і неповторювану іншими частину роботи, і при цьому спільна задача не могла б розв'язатися без його особистого внеску. Отже, спільна учбова діяльність може стати мотивуючим фактором, завдяки якому вона стає необхідною і постійною потребою.

Оскільки склад факультативної групи зазнає періодичних змін, пов'язаних із закінченням школи старшими учнями, то до групи входять, як правило, школярі різного віку і різним досвідом учбової роботи. Спільна учбова діяльність дає можливість диференціювати навчання для різних категорій учнів так, щоб зробити пропоновані завдання посильними для кожного з них. Практика експериментальної роботи показала доцільність такої організаційної форми, як учбова діяльність у складі *тимчасових творчих груп*, які функціонують лише на період роботи над однією проблемою, а потім перерозподіляються. Склад таких груп формується або за бажанням учнів, або за рекомендаціями вчителя. Головне – щоб у групі були учні з різним досвідом комп'ютерного моделювання.

Стосовно індивідуальної форми роботи учня з комп'ютером слід відзна-

чити, що, на відміну від класичних докомп'ютерних форм, тут завдяки продуманому вчителем заздалегідь плану з'являється можливість суттєво підвищити пізнавальну активність учнів, що зовні має прояв самонавчання. Управління навчальною діяльністю здійснюється за проміжними результатами навчання і, таким чином, фактично учень навчається не сам.

З метою уникнення традиційних шаблонних прийомів підведення підсумків (усне опитування, контрольна робота), ми (за рекомендаціями із [106]) вдаємося до таких форм підготовки завдань, що забезпечують більш узагальнюючий характер, стимулюють огляд пройденого у межах теми шляху пізнання, виокремлення у ньому найбільш значущих віх та способів дій, так щоб учні мали можливість проявити самостійність та ініціативу. Такими, на нашу думку, є завдання типу: «Складіть структурну схему (модель) розглянутого матеріалу, у якій відбійте основні поняття, що вивчалися у темі, та зв'язки між ними», «Складіть завдання та запитання, за якими можна перевірити рівень засвоєння вивченої теми» тощо.

Ще одним методом і одночасно організаційною формою проведення факультативних занять, що його передбачає наша методична система, є *лекція*. Такі заняття ми проводимо у комп'ютерному класі з використанням локальної мережі. Тематика лекцій пов'язана з вивченням загальних методологічних питань моделювання взагалі і комп'ютерного моделювання зокрема. Згідно з рекомендаціями О.І. Бочкіна [13, с. 162] учні одержують підготовлені нами заздалегідь конспекти, що посилює самоуправління пізнавальною діяльністю, оскільки знімає побоювання не записати щось важливе. Зручна форма конспекту: зліва у вигляді тез друкується головне, праворуч залишено місце для учнівських коментарів. Така форма покликана стимулювати індивідуалізацію діяльності та розгортання в учнів мислительних операцій. При можливості ми запрошуємо до читання лекцій науковців і провідних учителів міста.

Перехідною формою від фронтальної до індивідуальної роботи є *семінар*. Ми розглядаємо його як адекватну форму роботи для колективного осмислення ряду питань із стратегії і тактики комп'ютерного моделювання. На семінарі є



можливість у спокійних умовах обговорити стан справ у окремих групах, виявити назрілі проблеми і намітити шляхи їх розв'язування, про стан підготовки до участі в огляді-конкурсі наукових учнівських робіт у рамках МАН, про підготовку статей до наукових конференцій, заслухати реферативні повідомлення про цікаві або корисні публікації у періодичних виданнях і таке інше. Періодично ми пропонуємо старшим учням брати участь у роботі міського постійно діючого науково-методичного семінару «Комп'ютерне моделювання та нові інформаційні технології в освітній діяльності», де вони виступають із повідомленнями про результати своєї роботи. З наведеного переліку питань видно, що ми намагаємося знайомити учнів із різними формами наукового спілкування.

Отже, за такої структури навчальної діяльності, коли основним змістом операціонально-пізнавального етапу стає моделювання об'єктів і явищ та вивчення побудованих моделей, діяльність учнів набуває теоретичного, дослідницького характеру. Тим самим учні немов би вводяться до лабораторії мислення відповідних наук, набувають досвіду творчої діяльності, творчого мислення.

Одним із недоліків сьогоденішнього стану пропонованого курсу є те, що винесення його у повному обсязі в старші класи приводить до того, що відповідні знання, одержані школярами, за браком часу не можуть бути у бажаній мірі використані ними при вивченні інших навчальних предметів, хоч і закладають ґрунтовну основу для продовження освіти у вищій школі.

Проте, слід відзначити і певний позитивний досвід. Практика вивчення курсу виявила його специфіку, що проявилася у розширенні форм організації занять: окрім занять типу звичайних уроків з'явилися лекції, семінари, спеціальні практичні заняття, помітно зросла доля самостійних індивідуальних і групових форм роботи. Все це потребує додаткового осмислення, узагальнення й удосконалення. Так, видається привабливим, нехай і з деякими суттєвими, але тимчасовими втратами в науковості, зміщення початку вивчення моделювання у середню ланку (5–8 класи) на основі Лого-проектів.

## **2.2. Система задач, спрямованих на розвиток творчого мислення засобами комп'ютерного моделювання та методика їх опрацювання**

«У розумінні творчості – як зазначає В.Г. Разумовський [162, 163], – часто доводиться зустрічати дві крайності: одні автори відносять до творчості лише те, що пов'язане з об'єктивною новизною і має суспільну значущість; інші вважають, що будь-яка людська діяльність, у тому числі й учбова діяльність школярів, завжди пов'язана із творчістю, оскільки для них «все нове». Цілком очевидно, що дотримуючись будь-якої з цих крайностей, немає сенсу обговорювати питання про організацію творчої діяльності у навчальному процесі. Дійсно, з одного боку, нереально розраховувати на те, що учні у процесі навчання здатні систематично робити якісь відкриття й винаходи. З іншого боку, якщо для учнів «все нове», то кожен крок у навчальному процесі для учня є творчим, і, отже, знов-таки втрачають зміст розмови про спеціально організовану творчу діяльність. Зрозуміло, що ні з тим, ні з іншим поглядом на творчу діяльність у навчанні не можна погодитися» [163, с. 7–9].

Дійсно, у процесі навчання учні не можуть систематично робити об'єктивно нові відкриття. Але вони здатні робити відкриття для себе, тобто відкриття, що мають суб'єктивну новизну. На цьому будується евристичний метод навчання, на цьому будується і самостійна дослідницька робота учнів. Отже, розгляд питання про творчу діяльність у навчальному процесі є доцільним і актуальним. При цьому у якості критерію для оцінки рівня творчості (креативності) такої діяльності повинна виступати не новизна взагалі, а новизна стосовно цілком конкретних знань.

У методичній системі, спрямованій на розвиток творчих здібностей учнів, важливе місце посідає поняття «учбова творча задача». При найбільш загальному підході під цим терміном розуміють задачу, алгоритм розв'язування якої учневі невідомий. Умовність такого означення полягає у його суб'єктивності. Умова може містити всі необхідні дані, а задача буде творчою, якщо алгоритм її розв'язування учневі ще невідомий. І навпаки, найскладніша олімпіадна задача

перестає бути творчою, варто лише їй повернути загальний інтерес учителів і учнів або потрапити до підручника.

Учбова творча задача – це задача, у якій сформульована певна вимога, що задовольняється на основі знання законів тієї чи іншої науки, але в такій задачі відсутні будь-які прямі або непрямі вказівки на ті явища, законами яких слід скористатися для розв'язування. Такі задачі мають дослідницький характер і направлені на пошук відповіді на питання «*як?*» або «*чому?*» і тим самим актуалізують і вдосконалюють теоретичне мислення та практичні уміння школярів. Цих ознак цілком достатньо для *розпізнавання* творчої задачі, але недостатньо для *складання* творчих задач. Щоб виявити ключ до їх складання, зробимо деякі уточнення.

Л.С. Виготський писав: «Не може виникнути ніякої доцільної діяльності без наявності цілі й задачі, що пускає в хід цей процес» [29, с. 155]. Як довели вітчизняні педагоги й психологи, основна учбова задача в процесі вивчення теми породжує систему часткових, окремих задач (підзадач), що у сукупності не лише створюють, але й постійно підтримують мотиваційний тонус учня протягом усього ходу опрацювання проблеми [111, 127, 153, 187]. Найважливішу умову організації учбової діяльності ми вбачаємо у підведенні учнів до самостійної постановки й прийняття учбових задач.

В усвідомленні учнями змісту проблеми значну роль відіграє моделювання [106]. Воно виступає і як засіб наочного уявлення об'єктів та закономірностей (загальних взаємовідносин) у виучуваному матеріалі, і як засіб наочно-дієвого подання тих дій та операцій, які учням необхідно виконати й засвоїти для виявлення цих об'єктів і закономірностей, а також для розв'язування широкого кола задач, що ґрунтуються на цих закономірностях. Найбільш поширеним прийомом, що полегшує виявлення функціональних зв'язків між даними, є варіювання [13, 127]. Цей прийом полягає у тому, що учень довільно відкидає чи змінює величину одного з даних (а іноді і кількох) і на основі обчислювального експерименту з'ясовує, які наслідки випливають із такого перетворення або як відбилася ізоляція даного на інших. За цими змінами легше судити про

зв'язок виділеного даного з іншими.

Навчальну творчу діяльність із комп'ютерного моделювання ми умовно поділяємо на такі етапи:

1) «з'ясування доцільності» – вимагає відповіді «*так*» чи «*ні*» на питання про доцільність саме комп'ютерного моделювання для розв'язування даної конкретної проблеми (задачі) і завершується прийняттям відповідного рішення;

2) «аналітико-синтетичний» – стосовно об'єкта дослідження вимагає відповіді на питання «*як?*» і «*чому?*», передбачає формулювання гіпотези – прийняття певних припущень відповідно до цілей дослідження на основі виокремлення суттєвих та несуттєвих властивостей (аналіз), завершується побудовою формалізованої змістовної моделі та подальшим переходом до інформаційної або математичної моделі (синтез);

3) «конструкторський» – вимагає відповіді на питання «*як здійснити?*», передбачає складання алгоритму і завершується його програмною реалізацією у деякому придатному для моделювання середовищі;

4) «дослідницький» («прогностичний») – вимагає відповіді на питання «*що відбуватиметься, якщо...?*», передбачає дослідження поведінки моделі при зміні значень її параметрів (для математичної моделі – обчислювальний експеримент) і завершується перевіркою моделі на адекватність досліджуваному об'єкту, фактично – перевіркою гіпотези;

5) «рефлексивний» – у випадку неадекватності моделі досліджуваному об'єкту вимагає відповіді на питання «*що не враховано?*» або «*що зайве?*», передбачає виявлення додаткових суттєвих факторів з числа тих, що раніше не бралися до розгляду у якості суттєвих, або навпаки – виявлення зайвих факторів, а також пошук недоліків алгоритму та фактично віддзеркалює циклічний характер процесу моделювання – перехід до початку.

У роботі [102] автор звертає увагу на те, що успіх виконання творчого завдання, його навчаюча й розвиваюча функції значною мірою залежать від того, наскільки широким буде пошук, наскільки різноманітними й змістовними виявляться розв'язки. Але «для того, щоб ідеї учнів відрізнялися розмаїтістю,

щоб був охоплений значний обсяг навчального матеріалу з того чи іншого предмету, у багатьох випадках необхідною є вступна бесіда» [102, с. 5]. Поділяючи цю думку автора, кожен розділ у нашому навчальному посібнику ми починаємо попереднім обговоренням майбутньої проблеми. Тут наводиться коротка історична довідка, аргументується актуальність, намічаються деякі принципово важливі шляхи пошуку, звертається увага учнів на можливість використання різних ідей на основі законів і явищ із певної предметної галузі. Підготовка учнів до виконання творчих завдань, здійснювана в ході вступної бесіди, особливо необхідна на перших кроках впровадження таких завдань, поки учні ще не володіють у необхідній мірі методами і прийомами такої діяльності.

Крім того, на початковому етапі цілеспрямованої систематичної роботи у рамках спецкурсу основ комп'ютерного моделювання значне місце повинні також займати завдання, які можна розглядати як проміжну ланку між тренувальними й творчими. До них можна віднести такі, де пошук загальної ідеї виконання не повинен вимагати оригінального підходу, проте вони повинні безпосередньо готувати учнів до виконання творчих дослідницьких завдань і можуть розглядатися як перший підготовчий етап у системі творчих робіт. Фактично тут йдеться про реалізацію ідеї Я.А. Пономарьова стосовно важливої ролі допоміжних задач при розв'язуванні задач творчого характеру.

З цього приводу Д. Пойа рекомендує: «Найкраще, що може зробити вчитель для учня, полягає в тому, щоб шляхом ненастирливої допомоги підказати йому блискучу ідею. ... Гарні ідеї мають своїм джерелом минулий досвід і раніше придбані знання. ... Часто виявляється доречним почати роботу з питання: «чи відома вам яка-небудь споріднена задача?»» [151, с. 27].

Працюючи над творчими завданнями, учні мають можливість користуватися індивідуальними консультаціями вчителя, але ця допомога не повинна мати характер підказки, яка повністю усуває творчу діяльність. Обсяг і характер цієї допомоги залежать від складності завдання й рівня розвитку мислительних операцій. У випадках, коли виявляється, що учень не може розв'язати

задачу, тому що обрав неправильний або невдалий шлях, йому необхідно пояснити, у чому помилка або чому обраний ним шлях є невдалим, і запропонувати попрацювати додатково.

На завершальному етапі роботи над творчим завданням – колективному обговоренні його виконання або аналізі результатів – ми відбираємо найбільш оригінальні й цікаві роботи, у яких використані принципово різні ідеї розв'язування або різні методика виконання. Обговорюємо також роботи, що містять повчальні помилки, як це пропонує робити Б. Хантер [213, с. 59]. З метою підвищення активності учнів, на нашу думку, доцільно, щоб із відібраними для обговорення розв'язками учнів знайомили самі автори. Про це ми їх заздалегідь повідомляємо, одночасно зазначаємо тривалість виступу. У деяких випадках призначаємо «опонентів», кожному з яких даємо для критичного аналізу (також заздалегідь) одну з відібраних робіт.

Добір творчих завдань із різних галузей знань дозволяє широко варіювати зміст цих завдань та ступінь їх складності; це дає нам можливість враховувати різноманітні інтереси учнів і рівень їх підготовки.

Проведення занять з розв'язування творчих задач засобами комп'ютерного моделювання має ряд особливостей, спільних із будь-якою навчально-педагогічною діяльністю на основі проблемного навчання і які необхідно враховувати при роботі з учнівською групою. Як було зазначено вище, у своїх вхідних даних і умовах творчі задачі не містять вказівок на ті знання та ідеї, якими слід скористатися для їх розв'язування. Тому прямі й непрямі підказки або натяки можуть набувати вирішального значення. Вдало наведений вчителем приклад або аналогія, роздуми або міркування учителя вголос, задане змістовне питання – все це може стати засобом допомоги учням у розвитку їхніх здібностей.

Однак ситуація докорінно погіршується, коли необережно кинуте слово або несподіване висловлювання вголос когось із учнів при колективному розв'язуванні таких задач радикально псує всю справу. Таку можливість завжди треба мати на увазі, а тому перед заняттям ми домовляємося з групою про

«правила гри». Готуючись до заняття, ми намагаємося враховувати свій попередній досвід із метою передбачення можливих утруднень. Проте, оскільки передбачення всіх можливих ситуацій взагалі, і для вчителя, зокрема, є справою нереальною, досить часто доводиться імпровізувати, а все нове – занотовувати, аналізувати й враховувати у майбутньому.

Вивчення курсу комп'ютерного моделювання спирається не лише на знання певних природничих, суспільних або економічних законів, а й на застосування їх до нових, незнайомих ситуацій, на уміння здійснити творчий аналіз у тих випадках, коли в умові задачі йдеться про одні особливості об'єкта, а причини, що обумовлюють поведінку цього об'єкту, пов'язані із іншими його особливостями, які в умові можуть не згадуватися зовсім.

Кінцеву мету навчання комп'ютерного моделювання ми бачимо у виході учнів на рівень опанування методів та прийомів опрацювання задач відкритого типу – задач із нечітко, або як про них ще говорять, з погано сформульованою умовою. Такі задачі вимагають самостійного творчого підходу до відшукування стратегій та відповідних тактик пошуку розв'язків. Принагідно зазначимо, що головне для нас тут не стільки кінцева мета мислительного процесу (створення задовільної адекватної моделі), скільки сам процес продуктивного творчого пошуку.

Характеризуючи роль задач комп'ютерного моделювання у формуванні наукового світогляду школярів, О.А. Матюшкін-Герке пише: «Зрозуміло, що такі задачі повинні були б розв'язуватися в курсах фізики, математики, біології тощо. Але там вони повинні являти собою органічно цілісну частину курсу. *Адже справжнє, а не показне використання комп'ютерів у викладанні будь-яких дисциплін передбачає глобальну ревізію як їхнього змісту, так і методики викладання.* Для цього, у свою чергу, потрібні і хоча б мінімальне технічне оснащення навчального процесу, і відповідним чином підготовлені вчителі, і нова навчальна література, і *розроблене з орієнтацією на новий зміст курсів їх програмно-інформаційне забезпечення ...* Сьогодні такі задачі – це «вікно» у майбутній курс фізики, у майбутній курс математики, у майбутній курс біології

тощо. ... Залишаться потрібними (всупереч безапеляційним твердженням деяких горе-теоретиків) і сам курс, і розглянутий тут розділ. Адже, *виключивши його, ми створимо передумови до появи такого вавілонського стовпотворіння різноманітних підходів, термінології, методів навіть у рамках однієї й тієї ж навчальної дисципліни, не говорячи вже про їхню сукупність, що цілісне їх сприйняття виявиться не під силу і найбільш сильним учням*» [112, с. 15].

У роботах, присвячених питанням розвитку творчих здібностей школярів [126, 127], В.О. Моляко виокремлює п'ять основних форм – *стратегій* – творчої інтелектуальної діяльності:

- 1) пошук аналогів (стратегія аналогізування);
- 2) комбінаторні дії (стратегія комбінування);
- 3) реконструктивні дії (стратегія реконструювання);
- 4) універсальна стратегія;
- 5) стратегія випадкових підстановок.

Кожна зі стратегій має свої підвиди, включає різноманітні тактики. Так, стратегії можуть бути спрямовані на пошук потрібної структури (стратегія пошуку структури-аналога), якщо відома функція моделі, або навпаки, на пошук функції (стратегія пошуку аналогічної функції), якщо задано структуру. Кожна стратегія може бути реалізованою у формі синтезу або аналізу: знаходження спільного принципу з наступною деталізацією, або навпаки, – детальна розробка, а потім інтеграція окремих модулів.

Реалізується стратегія за допомогою конкретних дій, поєднання яких утворює певну *мислительну тактику*. Серед найбільш уживаних мислительних тактик, що характеризують творчу діяльність, пов'язану з технічним конструюванням, В.О. Моляко виділяє п'ятнадцять різновидів [127, с. 59]. Для творчої діяльності, пов'язаної з комп'ютерним моделюванням, ми вважаємо достатнім обмежитися вісьмома специфічними.

Тактика *інтерполяції*, що передбачає включення до вже існуючої моделі деякого нового модуля, який відповідатиме «вакантній» функції. При цьому передбачається, що новий елемент, який належав деякій відомій моделі, підста-



вляється саме усередину нової моделі. Такими, зокрема, можуть бути деякі рівняння, записані у вигляді скінчених різниць.

Відповідно тактика *екстраполяції* пов'язана із зовнішнім приєднанням того чи іншого елемента (модуля) до вже існуючої моделі. Наприклад, включення окремого модуля для візуального спостереження динаміки процесу. Ця тактика не виключає екстраполяції у її традиційному розумінні – бажанні «зазирнути» за межі обумовлених у моделі меж для значень деяких її параметрів.

Інша пара тактик також заснована на протилежних діях.

Тактика *редукції* спрямована на зменшення значень параметрів моделі.

Тактика *гіперболізації*, навпаки, спрямована на збільшення цих значень. Так, при обчислювальному експерименті (за умови збереження стійкості деяких динамічних моделей) інколи буває доцільним помітне збільшення або зменшення кроку приросту деякого параметра. У динамічних моделях таким параметром звичайно є час.

Тактика *дублювання* пов'язана з точним за призначенням використанням у новій моделі якогось модуля з раніше відомої моделі. Наприклад, у задачі на моделювання руху зарядженої частинки в електростатичному полі можна використати фрагмент для побудови траєкторії із уже розв'язаної раніше задачі механіки.

Тактика *модернізації* спрямована на пристосування моделі до нових умов. Найбільш часто така потреба виникає при удосконаленні моделі шляхом введення до неї нових суттєвих факторів (чинників). Ця тактика повністю реалізується у нашій методичній системі, де для кожної задачі розглядаються кілька версій – від найпростішої до все більш складних, проте й більш адекватних досліджуваному явищу.

Тактика *інтеграції* відповідає побудові нової складної моделі з уже відомих (або раніше створених) кількох окремих моделей. Найчастіше це має місце при створенні імітаційних моделей, де головний модуль забезпечує обмін інформацією між рештою вже розроблених модулів – елементів системи.

Тактика *диференціації* спрямована на навмисне розчленування структур і функцій у модулях. Наприклад, якщо деякий модуль одночасно виконує декілька функцій, то його буває доцільно розділити на самостійні модулі, кожен із яких буде виконувати лише одну функцію. Найчастіше це підвищує «прозорість» загального алгоритму і сприяє запобіганню можливих помилок.

За своєю структурою тактики бувають різноманітними: одні складаються з декількох простих операцій (алгоритмів), інші – із більшої або меншої системи операцій. Часто реалізація деякої тактики вимагає додаткового або проміжного застосування іншої тактики. Тактики зустрічаються у найрізноманітніших поєднаннях, але всі вони спрямовані й підпорядковані стратегічним тенденціям: знаходженню аналогічної моделі, комбінуванню модулів і моделей, реконструюванню структур і функцій у різноманітних сполученнях. Враховуючи широкий обсяг поняття тактики, доцільно говорити про її регулюючу роль на кожному етапі побудови моделі і подальшому її дослідженні. Інколи цей регулюючий вплив стає визначальним для всього розв'язування, тобто впливає на саму стратегію аж до відмови від неї.

Перелічені тактики переважно групуються відносно певних стратегій. Так, наприклад, тактики інтерполяції, екстраполяції, інтеграції – це тактики, типові для стратегії комбінування; тактики редукції, гіперболізації, дублювання, модернізації частіше зустрічаються при реалізації стратегії реконструювання; інтеграції, диференціації – застосовуються у різноманітних стратегіях.

Але в цілому стратегічна й тактична інтелектуальна поведінка розрізняються за стратегіями, що характеризують інтелектуальні особливості дослідника, за ними можна судити про тенденції побудови моделі. Стратегії багато у чому особистісні; тактики здебільшого – ситуативні, придатні для розв'язування локальних проблем. Тактики – це часткові, окремі прийоми творчості. Одні й ті самі тактики використовують різні дослідники у найрізноманітніших ситуаціях, у той час, як певні стратегії більш властиві конкретному дослідникові, більше корелюються з його здібностями, спрямованістю особистості.

Дослідженнями встановлено, що у школярів та студентів переважає

стратегія пошуку аналогів, у професіональних дослідників – універсальні стратегії та стратегії комбінаторних дій. Переважно у школярів і у меншому степені у студентів багато рішень відбувається без формування стратегії, точніше, вони демонструють стратегію випадкових підстановок. Професіонали при розв'язуванні нових задач, формуючи стратегію розв'язування, використовують багато тактик мислительних дій, найчастіше це використання має комбінаторний характер. Школярі й студенти реалізують значно вужчий діапазон тактик, особливо школярі, котрі в основному користуються тактикою дублювання [127, с. 62–63].

А.Ф. Есаулов звертає увагу на те, що у практичній навчальній роботі зі школярами та студентами домінує уявлення, нібито процес розв'язування задач зводиться до «прийняття рішень» в умовах, коли вихідні дані задач, питання до них, їх цілі подаються учням у готовій формі. Саме такими «готовими» навчальними вправами, розрахованими здебільшого на реалізацію процесу «прийняття рішення», наповнені більшість збірників задач із різних навчальних дисциплін. Зокрема, автор відзначає: «...залишається поза увагою та надзвичайно важлива обставина, що саме «прийняття рішень» не може бути скільки-небудь повноцінним без попередньої здатності убачати актуальну задачу, уміння її підмітити або навіть тільки поки що припустити її можливе існування аж до перших, можливо ще не дуже вдалих, спроб сформулювати задачу в усному або письмовому вигляді. Недостатнє розуміння цих надзвичайно важливих сторін високопродуктивної розумової діяльності завдає шкоди як для самої науки і техніки, так і для процесів оволодіння ними. ... Із цієї ж причини у публікаціях, присвячених життєво важливим проблемам науки й техніки, домінують роботи з проблеми прийняття рішень, і занадто мало досліджень, націлених на незвичайне убачення, важкодоступне виявлення та оригінальну постановку актуальних задач» [229, с. 196].

Під практичною задачею розуміють задачу, що її висуває деяка ситуація з життєвої практики. «Проте реальні ситуації дуже рідко бувають чітко обумовленими, а складні взаємодії з навколишнім оточенням призводять до значних

утруднень при описі цих ситуацій. Досвід показує, що у багатьох випадках неможливо одразу чітко сформулювати задачу так, щоб на її основі стало можливим створення моделі» [109, с. 7]. Процес народження задачі, який називають постановкою задачі, фактично зводиться до послідовних переформулювань проблеми – зміни її сюжетної основи шляхом заміни реальних об'єктів на їх абстрактні образи – дані, переходом від цих даних до інших тощо. Завершується така робота словесним та математичним описом – змістовною та математичною моделями.

У процесі розв'язування учбової творчої задачі учні мають можливість шляхом багаторазового переформулювання необмежено заглиблюватися у вивчення як її умов, так і вимог. На нашу думку, саме ця можливість необмеженого заглиблення у весь структурно-компонентний склад задачі містить у собі основні шляхи формування самостійності мислення учнів, оригінальності й винахідливості їхнього розуму у різноманітних формах діяльності.

Враховуючи зазначену динаміку перетворення питань (вимог) задачі та її цілей, ми намагаємося у безпосередній роботі з учнями при вивченні основ комп'ютерного моделювання стимулювати глибоку переробку вихідних умов задачі, пошук придатного аналогу або прототипу щодо розв'язуваної задачі, реконструювання всіх її початково сформульованих елементів.

Проілюструємо нашу навчальну роботу з комп'ютерного моделювання на прикладах розв'язування задач на дослідження операцій на двох прикладах.

Перший приклад (Додаток А) «Вікова модель одновидової популяції» взятий із другого розділу «Елементи математичної екології» нашого навчального посібника. Його сюжетна основа запозичена з [1, №№ 795–797], але нами було виконано повну методичну розробку: реалізацію розв'язування в середовищі електронних таблиць, створено цілий ряд додаткових матеріалів (схеми унаочнення процесів, задача практичного змісту і методика її розв'язування, повністю розроблено матеріал до роботи з третьою версією моделі, система завдань для самостійного опрацювання учнями тощо).

У вступній бесіді ми нагадуємо учням, що в останні десятиліття увагу бі-

ологів усе більше привертають можливості математичного моделювання. Насамперед, це обумовлено потребами системного підходу до розв'язування складних проблем сучасної математичної екології. Такий підхід передбачає теоретичне дослідження певної популяції за допомогою кількох різних її моделей [47, 48] і результати, одержані в цьому напрямі, хоч на сьогодні і залишаються скромними, але дозволяють сподіватися на успіх. Надії, що їх покладають біологи на математичне моделювання, засновані на визначних успіхах, отриманих цим методом у інших природничих науках (зокрема, у фізиці).

Перші спроби математичного опису динаміки (зміни у часі) чисельності окремих популяцій та їх співтовариств беруть початок ще з XVIII ст. від робіт англійського богослова і політичного діяча Т. Мальтуса. Сучасна ж математична екологія зароджувалася у 20–30-х роках XX століття і бере свій початок від піонерських досліджень відомого італійського математика В. Вольтерра [28]. Завдяки цим роботам у біологію почали проникати методи математики та ідеї математичного моделювання. Причому, як і в інших науках, моделювання тут було і понині залишається не стільки ціллю, скільки реальним засобом теоретичного вивчення природних екологічних систем.

Сьогодні математична популяційна екологія розв'язує свої проблеми на основі вивчення відповідних математичних моделей. Серед численної кількості цих проблем насамперед виділяють такі:

- прогнозування станів екосистеми під впливом антропогенних факторів;
- добір оптимальних стратегій господарювання та раціонального використання різних поновлюваних природних ресурсів (зони промислового рибальства та мисливських угідь, землекористування тощо);
- управління популяціями та їх співтовариствами з метою боротьби із шкідниками сільськогосподарських культур не шляхом застосування ядохімікатів, а заходами, пов'язаними з використанням природних ворогів шкідників.

Розповідаємо далі, що у пропонованій до вивчення роботі розглянуто математичну модель одновидової популяції, створену в 1945 р. американським

біологом П. Леслі. Її привабливість, на наш погляд, полягає в тому, що у цій моделі було здійснено цікавий і нетрадиційний на той час підхід до моделювання динаміки популяції. Традиційне розв'язування такої задачі, як відомо учням із попередньої глави навчального посібника на прикладах моделі Т. Мальтуса і її ускладнених версій, передбачає складання рівняння для швидкості зміни загальної чисельності особин за достатньо малий проміжок часу і наступне аналітичне або чисельне розв'язання одержаного рівняння

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = f(N).$$

*Вікова модель* П. Леслі у цьому відношенні має принципову відмінність – в її основу покладено розподіл популяції по групах у відповідності до віку особин. Вона визначає правила, за якими змінюються характеристики, що описують еволюцію окремих груп і популяції в цілому. При цьому її словесний опис легко формалізується, тобто його нескладно подати у вигляді математичних співвідношень. Цією моделлю у математичній екології було започатковано новий клас так званих *матричних дискретних моделей*.

Наступна робота складатиметься з трьох етапів.

На першому з них, як і раніше, розглядається найпростіша версія моделі. Тут формулюються правила переходу особин у наступні вікові групи, вводяться коефіцієнти народжуваності для кожної вікової групи, а смертність спрощено враховується тим, що особини вимирають після перебування у  $k$ -ій віковій групі ( $k$  – максимальний вік особин). Далі виконується тестування побудованої моделі, тобто на основі обчислювального експерименту з'ясовується, чи відповідають результати роботи моделі очікуваним заздалегідь.

На другому етапі відбувається вдосконалення моделі. Оскільки в реальних популяціях смертність дуже часто виявляється пов'язаною з віком особин, тут здійснюється спроба зробити модель більш реалістичною шляхом введення для всіх вікових груп коефіцієнтів виживання  $S_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ).

Вдосконалена модель застосовується для розв'язування практичної задачі на прикладі сільськогосподарського м'ясо-молочного виробництва. Мета моде-

лювання тут – вибір оптимальної економічної стратегії господарювання на основі прогнозу. При цьому додатково беруться до уваги реальні обмеження на максимально можливу кількість особин (поголів'я тварин) у стаді, що їх здатне утримувати господарство.

Третю частину присвячено розгляду поведінки моделі за наявності деяких природних обмежень. Зокрема, вводиться обмеження на максимально можливу чисельність вільної популяції, причиною якого може бути, наприклад, загострення конкуренції за їжу та простір або епізоотія (епідемія у тварин), що призводить до збільшення смертності. Дослідження, виконане шляхом обчислювального експерименту, приводить до деяких несподіваних результатів, один із яких виявляється абсолютно непередбачуваним заздалегідь.

З метою унаочнення та кращого розуміння учнями процесів, що вивчаються у першій та другій версіях моделі, ми пропонуємо їм, на наш погляд, зручну інтерпретацію принципу формування нових вікових груп у такому вигляді:

$$N = \underbrace{B_1 \cdot N_1 + B_2 \cdot N_2 + \dots + B_k \cdot N_k}_{N_1} + \underbrace{N_1 + N_2 + \dots + N_{k-1}}_{N_2 + N_3 + \dots + N_k},$$

*перша вікова група*                      *усі решта груп,*  
*(приплід за попередній рік)*      *починаючи з другої*

а також наші схеми цього механізму (рис. А.1, А.4).

Розглядаючи питання про способи подання й опрацювання інформації в електронних таблицях, зазначимо, що вчителів тут доводиться розв'язувати кілька проблем технічного характеру.

1. *Проблема зручності огляду даних.* Перший рядок таблиці завжди є рядком заголовків, однак крім імен змінних він містить останню комірку «Дано:», у стовпець якої поміщаються імена аргументів моделі разом із символом «=», а їхні значення вводяться у відповідні комірки наступного стовпця.

2. *Проблема зручності здійснення зміни (редагування) даних.* Другий рядок таблиці заповнюється початковими значеннями вихідних даних шляхом

посилань на відповідні комірки останнього стовпця. Це забезпечує автоматичну заміну початкових значень у другому рядку при їх редагуванні через «Дано:».

3. Третій рядок – це рядок формул. У його комірки вводяться формули для обчислення поточних значень змінних. Якщо у подальшому не передбачається зміна цих формул, то всі вони копіюються у наступні рядки таблиці. Кількість таких копій визначає дослідник.

Нижче подано зразок заповнення таблиці:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>	
2	0	= $J\$3$	= $J\$4$	= $J\$5$	= $J\$6$	= $J\$7$	= $J\$8$	=SUM(B2:	<i>Початкові чисельності:</i>	
3	=A2+1	= $J\$11*$	=B2	=C2	=D2	=E2	=F2	=SUM(B3:	$N_{01} =$	10
4	...	...	...	...	...	...	...	...	$N_{02} =$	12

4. У разі необхідності ми пропонуємо учням перед введенням формул заповнювати на папері таку табличку:

комірка	формули / числа
B2	$J\$3$
...	...
H2	SUM(B2:G2)
...	...
B3	$J\$11*B3+J\$12*B4+J\$13*B5+J\$14*B6+J\$15*B7+J\$16*B8$
...	...

Пункти 1–4 учні повинні продумувати та виконувати перед тим, як звернутися до комп'ютера.

5. Цикл «повторити  $n$  разів» реалізується копіюванням відповідної формули у наступні  $n-1$  рядків того самого стовпця.

Дана задача, як типова задача моделювання має у формалізованому вигляді чималий текстовий обсяг, тому що в ній обговорюються багато параметрів і умов, яким ці параметри повинні задовольняти. Саме тому її остаточне формулювання і головні питання з'являються лише наприкінці постановки. Дослідженнями психологів [127, 229, 230] виявлено, що формалізована постановка задачі вимагає розвинутого асоціативного мислення і проходження ряду послідовних переосмислень на основі операцій аналізу, синтезу і узагальнення,



а тому вона взагалі є справою нелегкою. Ось чому питанням розгляду прикладів такої діяльності при вивченні основ комп'ютерного моделювання ми приділяємо значну увагу.

У більшості динамічних моделей в якості основного аргументу фігурує час. Для даної моделі стосовно часу є дві характерні особливості: 1) питання про одиниці його вимірювання і 2) наявність протиріччя між тим фактом, що, з одного боку, досліджується зміна чисельності популяції в часі, а з іншого – тим, що до жодного зі співвідношень моделі час не входить як аргумент. Принциповий характер цієї проблеми потребує більш докладного її обговорення.

Розглянемо першу особливість. З біологічної точки зору життя тварини складається з циклічних повторень життєво важливих процесів – репродуктивних циклів, що завершуються появою потомства. Максимальна кількість циклів та їх тривалість залежать від біологічного виду. Цілком логічно (і так, до речі, прийнято у біологів) одиницею виміру часу вважати тривалість одного репродуктивного циклу, а вік істоти визначати за їх кількістю. Отже, певну вікову групу в моделі Леслі утворюють особини, що пройшли однакову кількість репродуктивних циклів. Лише для визначеності в даній моделі одиницею часу взято 1 рік.

Стосовно другої особливості зазначимо, що часові відповідає змінна  $j$ , яка входить до індексів біля змінної  $N$  – чисельності особин:  $N_j, N_{i(j-1)}, N_{ij}, N_{i(j+1)}$  і т.п. В таких випадках краще говорити, що *час у моделі фігурує умовно як лічильник репродуктивних циклів* – тактів життя істоти, і подається в умовних одиницях.

При реалізації моделі в середовищі електронних таблиць умовним є термін «алгоритм», який тут скоріше слід було б назвати просто планом виконання роботи. Ми залишаємо цей термін із тих міркувань, що, по-перше, план – це до деякої міри алгоритм, і по-друге, при підготовці задачі до розв'язування на ЕОМ повинен бути етап складання алгоритму.

Обчислювальний експеримент при тестуванні і подальшому дослідженні математичної моделі потребує її конкретизації для цілком певних значень

параметрів. Учні повинні добре розуміти, що основний тактичний прийом модельних досліджень полягає у почерговому варіюванні значень одного з параметрів при решті фіксованих. Невідомі значення параметрів визначають із натурних експериментів або з теоретичних міркувань. Якщо ж таких можливостей не існує, то їх знаходять цілеспрямованим добором так, щоб модель відтворювала досліджуваний об'єкт хоча б на якісному рівні. Важливу роль тут відіграє інтуїція, але у будь-якому випадку ці значення рано чи пізно мають бути обґрунтованими.

Останнє зауваження безпосередньо стосується коефіцієнтів виживання  $S_i$  і коефіцієнтів народжуваності  $B_i$ . В контексті даної задачі вони повинні братися на основі багаторічних спостережень за популяціями певного виду. Під час обговорення ми пропонуємо учням пояснити, як вони собі уявляють зміст і результати таких спостережень. Разом доходимо висновку, що значення цих параметрів необхідно усереднювати, оскільки для окремих індивідів вони будуть дещо відрізнятися і являти собою, строго кажучи, численну сукупність випадкових чисел. Повідомляємо, що закономірності таких сукупностей вивчає спеціальна дисципліна – *математична статистика*. Емоційно, але адекватно сприймається учнями таке парадоксальне висловлювання: «З філософської точки зору цікаво відзначити, що випадкові числа, які являють собою найчистіше вираження нашого незнання, були покладені в основу методів, за допомогою яких ми пізнаємо поведінку складних систем» [25, с. 12].

Пропонована нами практична задача являє собою центральний епізод третьої глави навчального посібника і фактично є конкретизацією поліпшеної версії моделі Леслі для цілком реальної ситуації, пов'язаної із сільськогосподарським виробництвом. Формулюванню її головної вимоги передують розгорнуте обговорення умов, що має на меті підвести її під структуру моделі.

Конкретизація полягає у визначенні виду тварин, що, у свою чергу, дозволяє обрати більш-менш реалістичні значення для коефіцієнтів народжуваності  $B_i$  та виживання  $S_i$ . Система припущень, покладених в основу моделі, є у доста-

тній мірі обґрунтованою, і це сприяє усуненню помітних внутрішніх суперечностей моделі.

Займаючись моделюванням систематично, учні починають розуміти, що створенню моделі завжди передує тривала й копітка робота, яка включає глибоке вивчення об'єкту (процесу, явища): ознайомлення зі спеціальною літературою, змістовні бесіди з кваліфікованими фахівцями, обговорення з колегами.

Основний зміст розв'язування будь-якої практичної задачі з використанням ЕОМ становить, як відомо, обчислювальний експеримент, суть якого зводиться до пошуку відповіді на питання «А що відбудеться, якщо ... ?» Виходячи з цього, ми намагаємося привчити учнів до його ретельної підготовки і уважного проведення. Результати, що їх отримують учні, виконуючи обчислювальний експеримент, приводять до відкриття заздалегідь непередбаченого факту, що сприяє створенню позитивного емоційного фону і формуванню стійкого пізнавального інтересу до навчальної діяльності. Такі відкриття сприймаються ними як нагорода за тривалу копітку працю.

Не залишається поза увагою і такий важливий елемент моделювання, як аналіз результатів обчислювального експерименту. Так, знаходить своє пояснення експериментально виявлений факт, що в плані перспективи господарювання найбільш доцільним є придбання тварин саме другої вікової групи. Цей висновок далі узагальнюється: найбільш вигідним є придбання наймолодших тварин, здатних до відтворення і підкреслюється, що одержаний результат заздалегідь передбачити значно складніше (він не такий уже й очевидний), ніж при застосуванні даної моделі.

Оптимальна стратегія забезпечує швидке збільшення продуктивного поголів'я, але виникає чергова проблема стосовно максимально можливої кількості тварин, що їх здатні утримувати: адже існуюча модель дає необмежене зростання чисельності. Ця проблема долається шляхом уведення до моделі простого механізму зовнішніх обмежень. Таким чином, модель не є застиглою, вона зазнає змін, відповідаючи новим потребам практики.

У повній мірі прояв механізму обмежень, що веде до виникнення періодичних коливань чисельності, розглядається в останній, третій версії моделі. Розглянуті тут обмеження трактуються не як зовнішні, штучні, а як такі, що мають природний характер. Незважаючи на їхню простоту, виникає нетривіальна задача теоретичної інтерпретації фактів, виявлених під час обчислювальних експериментів. Сама поява періодичних коливань уже не викликає подиву, але зовсім несподіваними виявляються дві нові обставини: по-перше, існування не одного, а двох (короткого й довготривалого) періодів (Додаток А, рис. 8, рис.9), і, по-друге, аж ніяк, на перший погляд, не очікувані зв'язки обмежуючих параметрів з періодами коливань. Спроби виявити і пояснити ці зв'язки приводять до більш-менш серйозних експериментальних і теоретичних досліджень, результатами яких стають об'єктивно і суб'єктивно цікаві висновки. До речі, обговорення рис. 10 (Додаток А) дає підстави природним шляхом ознайомити учнів із добре відомими у загальній теорії коливних систем перехідними процесами.

Цікаво відзначити, що факт існування довгострокового періоду коливань чисельності вільної популяції удалося встановити при розгляді графіка короткоперіодичних коливань (Додаток А, рис. 8) лише завдяки увазі та спостережливості – таким важливим для будь-якого дослідника особистим якостям. Такі епізоди у навчальній діяльності сприяють усвідомленню учнями необхідності та доцільності розвитку і вдосконалення цих якостей. Задача педагога тут – не упускати можливості збагачення особистого досвіду школярів шляхом акцентування уваги на подібних прикладах.

Наступним прикладом системи навчальних творчих задач при вивченні комп'ютерного моделювання буде «Імітаційна стохастична модель оптимального управління виробництвом» (Додаток Б), в якій висвітлюється методика побудови імітаційних стохастичних моделей у середовищі електронних таблиць. На прикладі задачі оптимального управління розглядаються основні властивості таких моделей. За результатами натурного експерименту будується

крива розподілу ймовірності, яка надалі використовується для моделювання досліджуваного процесу методом Монте-Карло. Результати моделювання дозволяють зробити висновки про оптимальність обраної стратегії управління, оцінити альтернативні стратегії організації обслуговування виробничого устаткування та критерії їх ефективності.

### ***Попередні зауваження.***

Вивчення імітаційних стохастичних моделей дає можливість поступово та цілеспрямовано формувати елементи імовірнісного мислення і прищеплювати навички культури ведення теоретичних досліджень. З огляду продиктованих життям вимог нової програми шкільного курсу математики щодо вивчення елементів стохастики [59, 60], робота з подібними моделями здатна створити надійне підґрунтя для практичної підтримки цієї теми.

На початку роботи нагадуємо учням, що окрім детермінованих об'єктів (процесів, явищ) існують такі, для яких неможливо за допомогою точних формул врахувати численні й різноманітні дії певних випадкових факторів і такі, характеристики яких за своєю природою можуть набувати *лише* випадкових значень. Наприклад, кількість пасажирів на різних видах транспорту, тривалість проміжків часу між ремонтами техніки, обсяги врожаїв сільськогосподарських культур у різні роки, значення й напрями швидкостей газових молекул, зміни в часі симпатій виборців тощо.

Величини, які набувають непередбачуваних значень, називають *стохастичними*. Цю ж назву мають і математичні моделі, що містять такі величини. Основним методом моделювання подібних систем є метод випадкової вибірки, звичайно відомий під назвою методу Монте-Карло (тут доцільно повідомити лише про походження назви методу). Ідея методу полягає в тому, що при побудові стохастичних моделей деякі суттєві параметри моделі визначають за допомогою випадкових чисел. Основна проблема тут зводиться до пошуку зручного та надійного джерела (генератора) таких чисел. У безмашинному варіанті ці

числа беруть із спеціальних таблиць, а за наявності комп'ютера, як відомо, користуються стандартним генератором псевдовипадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі  $[1, 0]$ .

Проілюструємо застосування методу Монте-Карло на прикладі розв'язування однієї з численних задач управління виробництвом, сюжетна основа якої запозичена з [20, 21], а комп'ютерну реалізацію в електронних таблицях виконано автором.

### **Методичні рекомендації та коментарі**

Умова задачі та її розв'язання наведені у Додатку Б.

Таблиці 1–3 містять підготовчі дані для побудови основної таблиці 4.

1. Таблиця 1 заповнюється у такий спосіб:

комірка	формули / числа
B12	=0
C12	=0
D12	\$G\$6
E12	0
F12	0
G12	=F12/\$G\$5
B13	=B12+1
C13	=D12+1
D13	=D12+\$G\$6
E13	4
F13	=E13+F12
G13	=F13/\$G\$5

Стовпець Е весь заповнюється вручну (експериментальні дані) після копіювання формул рядка 13 до рядка 19 включно.

2. Вміст комірок таблиці 2:

комірка	формули / числа
B43	0
C43	0
B44	=B43+1
C44	=(G13-G12)/(D13-D12)

Формули рядка 44 копіювати включно до рядка 50.

3. Усі комірки таблиці 3 від F43 по I50 заповнюються випадковими числами: у комірку F43 вводиться випадкове число і копіюється у (F43:I50).

комірка	формули / числа
F43	=СЛЧИС()

4. Таблиця 4 є головною.

комірка	формули / числа
A57	0
A58	A57+1

Формула з комірки A58 копіюється до комірки A64.

Особливу увагу слід приділити заповненню комірок B57 і C58.

комірка	формули / числа
B57	=200+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$12;F43<\$G\$13);(F43-\$G\$13)/\$C\$44+\$D\$12)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$13;F43<\$G\$14);(F43-\$G\$14)/\$C\$45+\$D\$13)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$14;F43<\$G\$15);(F43-\$G\$15)/\$C\$46+\$D\$14)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$15;F43<\$G\$16);(F43-\$G\$16)/\$C\$47+\$D\$15)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$16;F43<\$G\$17);(F43-\$G\$17)/\$C\$48+\$D\$16)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$17;F43<\$G\$18);(F43-\$G\$18)/\$C\$49+\$D\$17)+ ЕСЛИ(И(F43>=\$G\$18;F43<\$G\$19);(F43-\$G\$19)/\$C\$50+\$D\$18)

Формулу з комірки B57 копіювати до комірки B64. Далі формули із стовпця B скопіювати у відповідні комірки стовпців D, F, H.

комірка	формули / числа
C57	=B57
C58	=ЕСЛИ(ИЛИ(И(C57<5800;C57>4200);C57=0);0;C57+B58)

Формулу з комірки C57 копіювати до комірки C64. Після цього формули зі стовпця C скопіювати до відповідних комірок стовпців E, G, I.

5. Таблиця 5 використовує дані з таблиці 4.

комірка	формули / числа
D68	=СЧЁТЕСЛИ(C57:C64;">0")-1
E68	=СЧЁТЕСЛИ(E57:E64;">0")-1
F68	=СЧЁТЕСЛИ(G57:G64;">0")-1
G68	=СЧЁТЕСЛИ(I57:I64;">0")-1
G69	=СУММ(D68:G68)

6. Таблиця 6 відображує нову, більш досконалу організацію обслуговування виробництва:

комірка	формули / числа
C93	=ЕСЛИ(МИН(B57;D57;F57;H57)=B57;1; ЕСЛИ(МИН(B57;D57;F57;H57)=D57;2; ЕСЛИ(МИН(B57;D57;F57;H57)=F57;3;4)))
D93	=МИН(B57;D57;F57;H57)
E93	=МИН(C57;E57;G57;I57)
E94	=ЕСЛИ(ИЛИ(И(E93<5800;E93>4200);E93=0);0;E93+D94)
F89	=7-ЕЛИ(E100=0;1;0)+ЕСЛИ(E99=0;1;0) +ЕСЛИ(E98=0;1;0)+ЕСЛИ(E97=0;1;0)

Наш досвід доводить, що вивчення цієї найпершої стохастичної моделі

залишає в учнів приховане, а інколи й відверте почуття недовіри. Їм здається, що такий гарний вигляд мають результати лише на екрані комп'ютера (як-то кажуть, «на папері»), а насправді ситуації з відмовами обладнання все ж таки не прогнозовані. До речі, такого роду недовіра добре відома, оскільки вона властива не тільки дітям. Ці обставини створюють серйозну виховну проблему, яку не можна залишати поза увагою. Згідно з дидактичним принципом переконливості навчання необхідно навести відомості як про історію створення методу Монте-Карло, так і приклади його ефективного застосування. Як на нашу думку, це слід зробити саме на завершальному етапі роботи з моделлю. Ще одним переконуючим фактором може стати посилання на закон великих чисел, уявлення про який учні одержують в курсі фізики при виведенні основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу.

Розглянута задача є прикладом окремої великої групи стохастичних задач на дослідження операцій, коли невідомі фактори являють собою випадкові величини з відомим законом розподілу. Згідно [71, с. 4] дослідження операцій визначається як «...застосування наукових методів, техніки й інструментів при вирішенні проблем, пов'язаних із функціонуванням деякої системи з метою забезпечення оптимальними розв'язками осіб, відповідальних за управління даною системою. При дослідженні операцій використовуються математичні моделі ... для вироблення оптимального рішення у відповідності до поставлених цілей». А автор іншої роботи з цього приводу зазначає: «це мистецтво давати погані відповіді на ті практичні питання, на які іншими методами відповіді даються ще гірші. ... Проте краще проаналізувати припущення і здогадки, ніж просто навмання взяти варіант, що потрапився випадково» [20, с. 30].

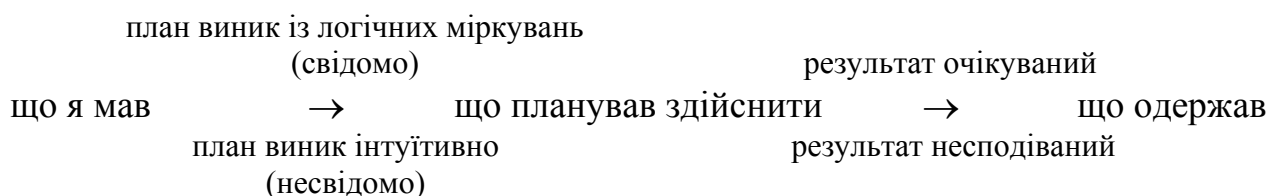
У загальному випадку мета операції виражається у намаганні досягти максимального значення критерію ефективності, що у даній задачі визначається відношенням втрат за старою організацією обслуговування до втрат при його новій організації. Повторюючи експеримент багаторазово, учні мають можли-



вість переконатися, що обраний критерій ефективності у переважній більшості випадків не менший за 2.

*Примітка.* Для зручності роботи бажано встановити ручний режим перерахування.

Неодмінною умовою розвитку творчих здібностей є створення ситуацій, що вимагають рефлексії – здатності до аналізу змісту й результатів власної діяльності. Зокрема, на основі рефлексії з'являється можливість якісного проведення і завершення будь-якого дослідження. При проведенні з учнями вправ, спрямованих на розвиток здатності до рефлексування, ми працюємо за такою циклічною схемою:



Завершуючи вивчення кожної моделі, ми неодмінно обговорюємо питання про адекватність використання комп'ютера, тобто, чи можна було б розв'язати поставлену задачу без нього. Строго кажучи, розглянуту модель можна було б вивчити і без комп'ютера, а набагато простішими засобами: з олівцем і папером, рахівницею, арифмометром, калькулятором тощо. Не говорячи вже про безмірну витрату часу, навряд чи хто погодився б сьогодні на таку одноманітну, нецікаву і стомлюючу роботу, що коротко зветься рутинною роботою. Лише сучасні інформаційні технології призвели до того, що робота, яку в докомп'ютерний період протягом років виконували колективи кваліфікованих обчислювачів, сьогодні за лічені хвилини виконується школярами.

### 2.3. Організація, проведення і результати педагогічного експерименту

Продуктивне творче мислення припускає не тільки широке використання засвоєних знань, але і подолання бар'єра минулого досвіду, відходу від звичних ходів думки, вирішення протиріч між актуалізованими знаннями й вимогами проблемної ситуації, оригінальність рішень, їхню своєрідність. Цю сторону мислення найчастіше позначають як *гнучкість розуму*, динамічність, рухливість і т.д. Найбільш вдалим є перший термін (два інших частіше вживаються в контексті психофізіологічних робіт). При гнучкому розумі людина легко переходить від прямих зв'язків до зворотних, від однієї системи дій до іншої, якщо цього вимагає розв'язувана задача, вона може відмовитися від звичних дій і т.д.

З метою практичного обґрунтування висновків, отриманих у ході спостережень за навчальною діяльністю учнів нами було проведене експериментальне дослідження.

Робота передбачала кілька етапів. На першому етапі проводився констатуючий експеримент, спрямований на з'ясування рівня сформованості продуктивного (творчого) мислення в контексті знань і умінь стосовно розв'язування задач із нечітко сформульованими умовами. Другим етапом роботи (пошуковий експеримент) було проведення серії експериментальних занять з метою створення необхідних складових методичної системи, спрямованої на формування в учнів раціональних прийомів творчої розумової діяльності. Метою заключного, третього етапу дослідження – формуючого експерименту, – було виявлення індивідуальних змін у розвитку творчих компонентів мислення учнів. Далі йшло підведення підсумків дослідження.

Педагогічний експеримент було розпочато у 1993–1994 навч. році. В цей час автор працював учителем інформатики й фізики в Криворізькій Центрально-Міській гімназії, що була включена до участі в міжнародному проекті «Пілотні школи». Однією з тем тогочасної програми курсу інформатики в рамках цього проекту була тема «Елементи комп'ютерного моделювання» [215, 216, с. 22] обсягом 38 годин. В умовах відсутності будь-якого навчально-

методичного супроводу, було вирішено створити авторський курс. Це рішення було підтримане науковим керівником Харківського РЦ НІТ С.А. Раковим – доцентом кафедри інформатики Харківського державного педагогічного університету ім. Г.С. Сковороди, головою Дніпропетровського обласного РЦ НІТ Ю.Д. Шептуном – завідувачем кафедри робототехніки Дніпропетровського державного університету та завідувачем кафедри інформатики та прикладної математики Криворізького державного педагогічного університету В.М. Соловійовим, від яких автор постійно одержував наукову й методичну підтримку.

Педагогічний експеримент розпочався в 10-х класах Центрально-Міської гімназії і на IV-му курсі фізико-математичного та індустріально-педагогічного факультетів Криворізького державного педагогічного університету. Але у зв'язку з тим, що приблизно із середини 90-х років проект «Пілотні школи» практично припинив своє існування, відбулося різке скорочення обсягу навчального часу на вивчення комп'ютерного моделювання (10 годин замість 38). В цих умовах було вирішено продовжити роботу, переорієнтувавши її у напрямку створення факультативного курсу «Основи комп'ютерного моделювання» і з 1998–1999 навч. року до експериментальних досліджень запросити бажаючих учителів інформатики інших гімназій і ліцеїв м. Кривого Рогу, які мали фізико-математичний або технічний профілі. Тоді ж з ініціативи кафедр інформатики Криворізького педагогічного університету та Центрально-Міської гімназії було започатковано міський постійно діючий семінар «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності», в роботі якого беруть участь науковці університету, вчителі інформатики та інших навчальних предметів, аспіранти та студенти.

У зміст експериментальної роботи входило розв'язання таких завдань:

- вивчення вітчизняного і зарубіжного досвіду навчання елементів комп'ютерного моделювання в шкільному курсі інформатики;
- визначення рівня володіння учнями основними уявленнями про евристичні функції методу моделювання на прикладах із математики та природничих

наук;

- експериментальна перевірка ефективності запропонованих компонентів методичної системи вивчення основ комп'ютерного моделювання як факультативного доповнення до основного курсу інформатики;

- з'ясування можливих напрямків використання набутих знань і умінь із комп'ютерного моделювання у вивченні інших предметів.

При проведенні експериментальної роботи ми виходили з таких положень:

- цілі шкільного курсу основ комп'ютерного моделювання повинні передбачати формування в учнів умінь роботи з інформацією (збирання, опрацювання, збереження, подання, передавання) на основі використання різноманітних засобів, а також знання та вміння, необхідні для підготовки інформації до опрацювання на ЕОМ;

- змістове наповнення курсу повинне містити задачі, що забезпечують можливості для формування умінь працювати з абстрактними поняттями та формалізувати текстові постановки проблем, а розв'язування таких задач передбачає використання методів і прийомів розумової діяльності, що стимулюють розвиток творчих здібностей;

- розв'язування задач практичного змісту має бути спрямованим на міжпредметну інтеграцію інформатики з іншими навчальними дисциплінами, повинне закладати основу для формування стійкої потреби звертатись за необхідності до засобів сучасних інформаційних технологій.

Робота автора викладачем інформатики і фізики в середній школі і педагогічному університеті, науковим керівником шкільного наукового товариства, керування учнівськими науковими роботами при підготовці їх до участі в оглядах-конкурсах МАН, рецензування подібних робіт з інших навчальних предметів з використанням ПЕОМ – все це сприяло різнобічному аналізу стану вивчення курсу, веденню цілеспрямованих педагогічних спостережень за навчальним процесом.

Методика майбутнього педагогічного дослідження проходила багатора-

зове діагностування методом експертних оцінок на кафедрі інформатики та прикладної математики і на кафедрах психології та педагогіки КДПУ шляхом її обговорення до початку експериментального дослідження. Основними методами дослідження на цьому етапі були спостереження за ходом навчального процесу, анкетування, бесіди з учнями і вчителями, вивчення шкільної успішності, результатів діяльності учнів та психолого-педагогічних характеристик з учнівських особових справ.

Розглянемо докладніше кожний з етапів педагогічного експерименту. Перший етап дослідження – етап констатуючого експерименту тривав два роки (1993/94 та 1994/95 навч. рр.) і мав на меті встановити:

- рівень володіння учнями основними уявленнями про евристичні функції методу моделювання на прикладах із математики та природничих наук;
- рівень сформованості знань і вмінь учнів із шкільного курсу інформатики щодо розв'язування ними практичних задач за допомогою ПЕОМ;
- характер залежності цього рівня від змісту навчання та методів і форм організації навчальної діяльності;
- характер мотивації учбової діяльності;
- знання, які недостатньо реалізовані в змісті діючого шкільного курсу інформатики, але могли б стати основою для доповнення чинного курсу факультативним.

На цьому етапі вивчались форми і методи навчання інформатики, аналізувались результати контрольних робіт та анкет учнів старших класів середніх шкіл та студентів-першокурсників фізико-математичного факультету, проводились бесіди і обговорення пропонованої методичної системи з методистами обласного інституту післядипломної освіти, науковцями університету і з учителями шкіл. На цій основі були визначені основні аспекти проблеми дослідження, а також можливості і напрямки використання засобів комп'ютерного моделювання для розвитку творчих здібностей учнів, обґрунтована необхідність включення до шкільного курсу інформатики нового напрямку – комп'ютерного моделювання – з використанням потужного дидактичного потенціалу засобів

нових інформаційних технологій. В основу відбору питань, які доцільно включити до основних знань курсу інформатики, були покладені наукові принципи формування змісту навчального матеріалу та методологія комп'ютерного моделювання.

В результаті констатуючого експерименту було встановлено:

- випускники шкіл погано усвідомлюють модельний характер основних наукових понять та об'єктів з базових навчальних предметів: з математики – точка, лінія, поверхня тощо; з фізики – матеріальна точка, ідеальний газ, кристалічна ґратка, математичний маятник, будова атома, ...; з хімії – молекулярна формула, структурна формула, зображення хімічного зв'язку, ...; з географії – паралелі й меридіани, карта, глобус, телурій, ... і т.п.;

- рівень володіння учнями основними уявленнями про евристичні функції методу моделювання незадовільний;

- значна частина учнів має низький рівень знань і вмінь стосовно розв'язування практичних задач за допомогою ПЕОМ, а деякі з них лише поверхово уявляють процедуру підготовки задачі до розв'язування з допомогою ЕОМ;

- мотивація учбової діяльності коливається у широкому діапазоні від стійкої внутрішньої до епізодичної, яка залежить від виду пропонованої діяльності;

- часто має місце помітний розрив між теоретичними знаннями та вмінням застосовувати їх на практиці, особливо у незнайомих ситуаціях.

Бесіди з учителями й науковцями, анкетування учнів старших класів та студентів першого курсу фізико-математичного факультету КДПУ дозволили виявити основні причини такого стану. До них, насамперед, слід віднести:

- недоліки в роботі тих вчителів-предметників, які не приділяють належної уваги формуванню наукового світогляду учнів засобами свого предмета і, зокрема, не розглядають питання про методи наукового пізнання;

- відсутність сформованих умінь і навичок щодо розв'язування конкретних задач на ЕОМ (здебільшого недостатнє усвідомлення учнями поставленої проблеми та невміння її формалізувати);

- недостатня обізнаність з роллю інформаційних технологій в житті сучасного суспільства, поверхові уявлення про можливості використання програмного забезпечення, відсутність переконливих прикладів ефективного застосування ЕОМ для вирішення конкретних проблем у повсякденній практиці;
- відсутність позитивних мотивів до навчання й виконання завдань, зокрема, внаслідок надмірної простоти або ж складності задач;
- одноманітність форм навчальної діяльності.

Окремо слід зазначити, що до основних причин існуючих недоліків у навчанні інформатики слід віднести поширений в учительському загалі «екстремізм» у підходах до визначення змісту й організаційних форм навчання. Серед таких підходів дослідники, наприклад, [219], зазначають два найбільш поширених. Перший орієнтується на широкий доступ до обчислювальної техніки, яку намагаються використовувати на уроках якнайшвидше. Проте аналіз виконання старшокласниками контрольних робіт та спостереження за процесом розв'язування завдань студентами-першокурсниками показують, що інформатика для такої категорії школярів була зведена до вивчення лише мови програмування, оволодіння знаряддєвими застосуваннями ЕОМ на основі програмного забезпечення загального призначення. А такі важливі питання, як формальна постановка задачі чи розробка алгоритму залишалися маловивченими. Учні в цьому випадку виступають як оператори ЕОМ, і у них з'являється помилкове враження, що вони знають інформатику. Досвід роботи з такими учнями показав, що у них виникає деякий внутрішній протест при спробі розширити ці знання. Інший підхід до викладання інформатики втілюється там, де обчислювальної техніки немає або вона майже не відповідає тим вимогам, які поставлені у чинній програмі, і ця дисципліна стає другорядною. «Ці дві точки зору настільки часто зустрічаються у відповідях учнів та бесідах з учителями, що складається враження, ніби «золота середина» є винятком» [219, с. 162].

Констатуєчий експеримент підтвердив висновки теоретичного аналізу про доцільність внесення доповнень у шкільний курс інформатики шляхом включення засобів, що розширили б можливості інформаційного моделювання,

розв'язування задач прикладного змісту з використанням програмного забезпечення, а також висновок, що в даний час існують сприятливі умови для такого доповнення шкільного курсу.

На другому етапі (1995/96, 1996/97, 1997/98 навч. рр.) проводився пошуковий експеримент.

В ході пошукового експерименту в умовах школи та університету визначалась ефективність окремих компонентів методичної системи, здійснювалось її коригування, доповнення і удосконалення, проводився пошук і методичний аналіз різноманітних програмних засобів, адекватних поставленим завданням дослідження. Пропоновані нами окремі компоненти методичної системи ґрунтуються на тому, що інформатика, як і будь-який інший навчальний предмет, реалізує свою головну мету через ознайомлення учнів з основами науки та подання тих необхідних знань, умінь і навичок, які можуть бути застосовані в практичній діяльності, що в цілому повинно забезпечувати розумовий розвиток. Тому при плануванні і створенні курсу основ комп'ютерного моделювання вирішувались три основних проблеми: 1) наукове психолого-педагогічне обґрунтування можливості розвитку творчих здібностей засобами пропонованого курсу; 2) виявлення методологічних особливостей такої специфічної діяльності, якою є комп'ютерне моделювання; 3) створення змістового наповнення курсу як логічно завершеної, науково витриманої і педагогічно несуперечливої цілісної системи фактів, понять і знань, придатної для формування адекватних уявлень про «необмежені можливості і можливі обмеження» комп'ютерного моделювання.

Вирішення зазначених проблем конкретизувалося в таких заходах:

1. З'ясовувались шляхи використання основних положень діяльнісної теорії і теорії поетапного формування розумових дій для управління учбовою діяльністю і розвитку творчого мислення на матеріалі, пов'язаному з опрацюванням творчих задач практичного змісту за допомогою ПЕОМ. Велася робота, спрямована на подолання протиріч і обмежень теоретичних концепцій, покладених в основу даного дослідження.



Першим із них виявилось протиріччя між творчістю та цілеспрямованою діяльністю, згідно з яким творчість і цілеспрямована усвідомлена діяльність являють собою прояви різних форм поведінської активності. Протиставлення цих понять (див. 1.1.), з одного боку, ускладнює розуміння змісту терміну «творча діяльність», що є широковживаним у психологічній літературі, а з іншого – ускладнює можливості застосування діяльнісної теорії розумового розвитку в аспекті розвитку творчих здібностей. Позитивне розв'язання цього протиріччя було нами одержано на основі його діалектичного аналізу. Будучи двома формами активності, творчість і діяльність знаходяться у діалектичній єдності, вони є взаємопов'язаними і взаємообумовленими: розвиток творчих здібностей можливий лише у діяльності, а розвиток і удосконалення діяльності може відбуватися лише через присутні у ній творчі компоненти. При цьому творчість виходить з під контроль свідомості лише під час творчого акту, тобто на рівні його несвідомих компонентів.

Наступне утруднення було пов'язане із суттєвим обмеженням теорії поетапного формування розумових дій стосовно розвитку творчого мислення на основі визначення педагогом орієнтувальної основи дій, яка фактично задає алгоритм виконання діяльності. Суть протиріччя – несумісність і беззмістовність творчої діяльності за алгоритмом. Такий вигляд має проблема ззовні. Більш глибокий аналіз показав, що, по-перше, за алгоритмом здійснюється діяльність не стільки учнів, скільки вчителя, і ця діяльність є управлінською. По-друге, важливу роль у цьому процесі відіграє якісний зміст орієнтирів. Якщо у якості орієнтувальної основи виступатимуть зразки творчості, то завдяки наслідуванню ці зразки переходитимуть у сферу особистісних якостей, що забезпечить появу передумов для розвитку творчих здібностей.

Нарешті, серйозні утруднення при виконанні нашого дослідження виникли у зв'язку з проблемою діагностування розвитку творчих здібностей. Після консультацій з професійними психологами та аналізу відповідної літератури наші наміри скористатися деякими загальними методиками психологічного тестування були залишені в силу цілого ряду причин. Так, виявилось, що не існує

задовільних дослідницьких методик багатокритеріального комплексного діагностування саме творчих здібностей і творчого мислення, а те, що є, дозволяє виявляти рівень лише окремих компонентів творчості. «Зокрема, Дж. Гілфорд експериментально показав, що досягнення за однією групою тестів зі специфічним набором завдань не завжди відповідають результатам тестування за іншими тестами, де застосовується інший тип завдань. У зв'язку з цим виникла думка, що тести інтелекту вимірюють не стільки загальні інтелектуальні здібності, скільки спеціальні знання, уміння й навички, набуті у процесі навчання» [136, с. 293]. Але ж творчі здібності не можна звести до спеціальних знань. За цих умов було вирішено скористатися традиційними засобами контролю, про що йтиметься нижче (див. Формуючий експеримент).

2. На основі теорії вікової періодизації розумового розвитку досліджувалося питання про визначення оптимального віку учнів, найбільш сприятливого для вивчення курсу комп'ютерного моделювання, і було доведено, що таким є старший шкільний вік.

3. Розроблялася методична система курсу:

– уточнювалися і формулювалися цілі навчання, на основі дидактичного аналізу різних програмних засобів проводився відбір з них найбільш адекватних поставленим цілям;

– продовжувався цілеспрямований пошук та вивчення змістового наповнення курсу;

– встановлювались напрямки і можливості розширення організаційних форм навчальної діяльності, спрямованих на посилення мотиваційного фактору навчання;

– добиралися компоненти теоретичної складової курсу, здатні розширити уявлення учнів про методи і засоби опрацювання різноманітної інформації;

– розроблялась система завдань, спрямованих на сприйняття й осмислення основних понять методології комп'ютерного моделювання;

– добирались відповідні завдання для застосування знань і умінь у стандартних та видозмінених ситуаціях;

– перевірялась доступність і доцільність практико-орієнтованих вправ, призначених для розв'язування за допомогою різних програмних засобів;

– розроблялася методика вивчення теми «Етапи розв'язування задач за допомогою ЕОМ» як такої, що актуалізує перехід до комп'ютерного моделювання.

4. Відпрацьовувалася система творчих задач для комп'ютерного моделювання: вивчалися питання про специфічні особливості творчих задач, їх ознаки, види та критерії відбору. При цьому враховувалися можливості їх розв'язування засобами сучасних інформаційних технологій (прикладний аспект інформатики та її зв'язок з іншими науками).

5. Відстежувалася відповідність змісту навчального матеріалу і структури курсу в цілому основним дидактичним принципам (науковості, послідовності, наслідування, циклічності, усвідомленості засвоєння і усвідомленості діяльності, доступності змісту тощо).

6. Здійснення добору таких завдань, які вирішуються засобами сучасних інформаційних технологій і які демонструють прикладний аспект інформатики та її зв'язок з іншими науками.

7. Удосконалювались організаційні форми й методи навчання (бесіда, лекція, науковий семінар, спеціальні (лабораторні) заняття, індивідуальна робота й робота у складі тимчасових творчих груп).

8. Розроблялися скорочена і повна навчальні програми і поурочне планування курсу.

9. На основі узагальнення матеріалу з літературних джерел, власного досвіду автора і досвіду колег та фахівців добирався матеріал для позакласної (позашкільної) роботи з комп'ютерного моделювання, а також для проведення практичних і спеціальних (лабораторних) занять.

10. У відповідності до програми курсу створювався посібник для учнів «Основи комп'ютерного моделювання» та методичні рекомендації для вчителів.

Труднощі принципового характеру, що існували із самого початку педа-

гогічного експерименту, але особливо проявилися на етапі пошукового експерименту, були пов'язані з проблемою вибору середовища для моделювання. У літературі [134] наводяться описи зарубіжних (США, Великобританія) досить універсальних інструментальних програмних засобів для комп'ютерного моделювання динамічних систем, адаптованих для шкільного навчання, але наших проблем подібна інформація не розв'язувала. Вона лише доводила, що предмет нашого дослідження є актуальним.

Орієнтація на створення учнями приданого середовища засобами мов програмування високого рівня вбачалася нераціональною, оскільки, по-перше, це вимагало попереднього вивчення програмування аж ніяк не на ознайомлювальному рівні, а, по-друге, навіть програмуючим учням доводилося б витрачати чимало часу й зусиль на створення необхідного інтерфейсу користувача, відволікаючись тим самим від безпосередньої роботи з моделлю. Спостереження показали, що для успішного засвоєння учнями прийомів розв'язування конкретної задачі за допомогою ЕОМ необхідне повне і завершене виконання цього процесу і що найбільш ефективно це здійснюється при залученні готового програмного продукту.

Ось чому ще у 1993 р. нами було зроблено вибір на користь електронних таблиць, забезпечених графічними можливостями. Спочатку таке рішення вбачалося як тимчасове, але у міру розгортання дослідження з'ясувалося, що тих можливостей, які надають електронні таблиці, цілком достатньо для початкового вивчення комп'ютерного моделювання. Для нас важливо було те, що використання їх у навчальному процесі давало можливість учням аналізувати власну діяльність і зіставляти її результати з розв'язуваними проблемами на основі опанування основних знань і вмінь із технології інформаційного моделювання. Лише згодом прийшло розуміння того факту, що при навчанні моделювання доцільно не обмежуватися якимось одним середовищем – раціональним є перехід від одного середовища до іншого у міру опанування школярами знань з інформатики. Електронні таблиці ми розглядаємо як тимчасове середовище, що надає можливість почати вивчення комп'ютерного моделювання помітно рані-

ше, ніж вивчення програмування.

В результаті пошукового експерименту були розроблені експериментальні матеріали та відібрані засоби для проведення формуючого експерименту. Пошуковий експеримент дозволив зробити такі висновки:

- поглиблене ознайомлення з елементами комп'ютерного моделювання доцільно здійснювати у вигляді факультативного курсу, не ізолюючи його при цьому від основного курсу інформатики, і у відповідності до теми «Етапи розв'язування задач за допомогою ЕОМ»;

- запропонована методична система поглибленого вивчення основ комп'ютерного моделювання є науково обґрунтованою, вона являє собою одну з численних реалізацій нових інформаційних технологій навчання і орієнтована на розвиток творчих здібностей учнів;

- методична система здатна забезпечити вчителя й учнів всіма необхідними для роботи навчальними матеріалами та засобами опрацювання інформації, містить рекомендації щодо вибору форм і методів організації навчальної діяльності і залишається відкритою для подальшого поліпшення;

- навчальний матеріал допускає його вибіркоче вивчення, але кращі результати досягаються при послідовному проходженні всіх запропонованих прикладів у порядку їх розташування, оскільки вивчення кожного наступного об'єкту за логікою побудови курсу базується на засвоєнні матеріалу про попередній і у пізнавальному аспекті є його розвитком;

- максимальній ефективності курсу також сприяє урізноманітнення організаційних форм навчання, і зокрема, запропонована нами форма проведення занять у вигляді наукових семінарів з подальшим колективним обговоренням та аналізом отриманих результатів, а також участь учнів у різноманітних позашкільних заходах – конкурсах та конференціях;

- провідну роль у створенні сприятливих умов навчання і розумового розвитку відіграє неослабна увага до формування мотиваційної сфери учнів, і особливо підтримки пізнавального інтересу.

На третьому етапі – етапі формуючого експерименту (1998/99, 1999/2000

навч. рр.) здійснювалася апробація нашої навчально-методичної системи. Вище вже зазначалося, що в експерименті брали участь учні 10-х класів Центрально-Міської гімназії, з якими працював автор, десятикласники інших гімназій і ліцеїв міста, що мають фізико-математичний, технічний або інформаційний профілі (Центрально-Міський фізико-математичний, Саксаганський, Довгинцівський гуманітарно-технічний, Криворізький обласний педагогічний ліцеї, середня школа інформаційного профілю № 114). Вивчення матеріалу у вигляді спецкурсу передбачало 68 годин навчального часу (2 години на тиждень) за рахунок позашкільного компонента. Паралельно і незалежно від школярів у експерименті також брали участь студенти IV курсу фізико-математичного факультету Криворізького державного педагогічного університету в рамках навчального предмету «Шкільний курс інформатики та методика його викладання». Таким чином, крім автора, працювали ще п'ять учителів-методистів вищої категорії і три викладачі університету.

Експеримент здійснювався в умовах реального процесу навчання, оскільки лише в шкільному класі та студентській аудиторії стають помітними всі недоліки та позитивні якості нових методичних розробок. Адже не існує більш жорстких і об'єктивних оцінок, ніж ті, що виставляються учнями, студентами та вчителями. Для таких оцінок завжди характерний максималізм: гарно – погано, цікаво – нудно, толково – бездарно, працює – гальмує тощо. Апробація мала на меті виявити недоліки та ефективність методичної системи і включала такі складові:

- експериментальну перевірку навчального посібника «Основи комп'ютерного моделювання» (узгодженість теоретичного матеріалу і відповідних практичних завдань, доступність та логічність викладу, достатність або надмірність матеріалу, ступінь необхідності додатків);

- реалізацію запропонованих організаційних форм і методів навчання комп'ютерного моделювання, виявлення рівня зацікавленості ним з боку учнів, їхнього ставлення до засвоєння теоретичних відомостей та до виконання практичних завдань;

– з'ясування впливу навчання комп'ютерного моделювання на розумовий розвиток учнів, на рівень їх особистих творчих досягнень.

Навчання проводилося за спеціально укладеним тематичним та поурочним плануванням, його результати в ході формуючого експерименту щомісяця обговорювалися педагогами-учасниками в рамках міського постійно діючого семінару окремим питанням черги денної.

Отже, основною метою експерименту була перевірка розробленої нами методичної системи вивчення основ комп'ютерного моделювання з метою визначення її ефективності щодо розвитку творчих здібностей учнів та аналізу спостережень, отриманих у ході дослідження. В експериментальних групах педагогами підтримувався позитивний емоційний фон, діловий настрій з характерними для нього зацікавленістю, зосередженістю, проявами особистої ініціативи і відповідальності за результати навчання.

В ході навчального процесу за учнями здійснювалися спостереження, на основі яких було виявлено тенденцію до посилення мотивації навчання, до покращення рівня знань і сформованості вмінь, пов'язаних зі способами організації власної навчальної діяльності при постійному використанні ПЕОМ, а також помічено тенденцію до активізації і розвитку окремих мислительних операцій (абстрагування, класифікації, аналізу, синтезу, узагальнення, індукції, дедукції та ін.), що позитивно характеризує результати навчання.

Одним з найбільш складних питань в педагогічних дослідженнях є питання про критерії результативності і ефективності дослідницько-експериментальної роботи. У зв'язку з відсутністю задовільних дослідницьких методик багатокритеріального діагностування творчих здібностей і творчого мислення було вирішено скористатися загальноприйнятим і найбільш часто вживаним критерієм результативності експерименту за рівнем знань та вмінь школярів. До речі, саме так вирішується це питання в роботі В.Г. Разумовського «Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике» [162].

Результати експерименту оцінювались шляхом:

– визначення рівня знань та сформованості вмінь щодо розв'язування кон-

кретних завдань комп'ютерного моделювання на основі як поточного, так і підсумкового контролю за результатами розв'язування задач у залежності від виконання окремих етапів цієї роботи;

– визначення результатів позакласної та позашкільної роботи з учнями зазначених вище закладів освіти, пов'язаної із застосуванням конкретного програмного забезпечення (програмування, анімація, моделювання тощо);

– вивчення експертних оцінок учителів та висновків науковців за результатами їхніх спостережень, думки представників органів освіти та обласного інституту освіти.

Наведемо деякі кількісні показники, які певною мірою підтверджують ефективність розробленої методики.

Для перевірки ефективності запропонованих методичних основ курсу комп'ютерного моделювання, які ґрунтувалися на необхідності удосконалення знань, умінь і навичок, необхідних для розв'язування завдань практичного змісту на основі безпосереднього використання ПЕОМ, до експерименту було включено 7 контрольних груп (КГ) і 7 експериментальних груп (ЕГ), які нараховували відповідно 205 і 209 учнів. При проведенні експерименту було забезпечено дотримання практично всіх вимог щодо застосування статистичних методів опрацювання результатів педагогічних досліджень, тобто вибірки були однорідні та незалежні, уроки в усіх контрольних та експериментальних групах проводили одні й ті самі вчителі. Переважна більшість їх – це вчителі-методисти вищої категорії, учні яких постійно посідають призові місця у міських, обласних олімпіадах з інформатики та різноманітних міських, обласних та Всеукраїнських конкурсах. Можливість оперативного обміну інформацією підтримувалася міською електронною освітньою мережею, створеною фахівцями Криворізького педагогічного університету. Основи комп'ютерного моделювання в експериментальних класах вивчались у вигляді спецкурсу за надрукованими посібниками.

Рівні сформованості в учнів умінь і навичок розв'язувати за допомогою ПЕОМ задачі моделювання визначались на основі поточного, тематичного та



підсумкового контролю їх роботи над завданнями різних типів. Робота оцінювалась на основі завершеності всіх етапів циклу комп'ютерного моделювання, що включають:

- 1) формалізовану постановку практичної задачі (створення змістовної моделі);
- 2) створення інформаційної (математичної) моделі;
- 3) побудову алгоритму розв'язування;
- 4) реалізацію його на ПЕОМ засобами електронних таблиць;
- 5) аналіз та інтерпретацію отриманих результатів;
- 6) спроби виходу за межі поставленої задачі.

Результати підсумкових контрольних робіт учнів подано в таблиці 1:

Таблиця 1

Групи	«2»	«3»	«4»	«5»
ЕГ $n_1=209$	$Q_{11}=0$	$Q_{12}=24$	$Q_{13}=123$	$Q_{14}=62$
КГ $n_2=205$	$Q_{21}=2$	$Q_{22}=49$	$Q_{23}=105$	$Q_{24}=49$

$n_1$  – кількість учнів в експериментальній групі;

$n_2$  – кількість учнів у контрольній групі;

$Q_{1i}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) – кількість учнів у експериментальній групі, які отримали оцінки відповідно «2», «3», «4», «5»;

$Q_{2i}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) – кількість учнів у контрольній групі, які отримали оцінки відповідно «2», «3», «4», «5».

Нульова гіпотеза  $H_0$ : більш високий рівень сформованості вмінь і навичок розв'язування задач моделювання за допомогою ЕОМ в ЕГ пояснюється випадковими факторами, тобто статистично КГ і ЕГ однакові.

Альтернативна гіпотеза  $H_a$ : цей більш високий рівень є результатом використання запропонованої методики навчання.

Вибірки незалежні, вимірювана властивість (рівень сформованості вмінь і навичок та застосовуваних при цьому знань) виміряна за шкалою порядку, що

має чотири категорії: незадовільно – «2», задовільно – «3», добре – «4», відмінно – «5».

Скориставшись двохстороннім критерієм  $\chi^2$  (критерій Пірсона) [27] і враховуючи, що експериментальні дані подані у формі таблиці  $2 \times C$ , де  $C=4$  – кількість категорій, для перевірки гіпотези знаходимо значення  $T_{експ}$  досліджуваної випадкової величини:

$$T_{експ} = \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \sum_{i=1}^n \frac{(n_1 \cdot Q_{2i} - n_2 \cdot Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}} \quad (1)$$

За формулою (1) підраховується значення статистики критерію  $T_{експ}$  [27]. В результаті обчислень маємо  $T_{експ}=13,47$ . У даному випадку і надалі рівень значущості було прийнято  $\alpha=0,05$ . За таблицею [27] для числа ступенів вільності  $\nu=C-1=3$  знаходимо критичне значення величини  $T$ :  $T_{кр}=7,82$ .

Оскільки  $T_{експ} > T_{кр}$ , то у відповідності до правила прийняття рішення [27] отримані результати дають підставу для відхилення нульової гіпотези і прийняття альтернативної, тобто вищий рівень сформованості вмінь і навичок розв'язування задач комп'ютерного моделювання (задач із нечітко сформульованою умовою) є результатом запропонованої методики.

Для виявлення причин, що детермінують виявлений вищий рівень, було проведено оцінювання розв'язування задач з урахуванням виконання двох складових цієї роботи:

1) на основі використання творчих компонентів розумової діяльності – формалізована постановка задачі, вибір типу математичної моделі та її побудова, розробка відповідного алгоритму, числова і графічна інтерпретація результатів розв'язування та їх аналіз, вихід за межі поставленої задачі на основі узагальнення результатів;

2) на основі засвоєння операційних компонентів діяльності – реалізація алгоритму опрацювання моделі в середовищі електронних таблиць (організація даних, обчислювальний експеримент, побудова відповідних графіків та їх тлумачення).

Перевірка за першою частиною виконання роботи дала такі результати:

Таблиця 2

Групи	«2»	«3»	«4»	«5»
ЕГ (209 учнів)	$Q_{11}=0$	$Q_{12}=21$	$Q_{13}=123$	$Q_{14}=65$
КГ (205 учнів)	$Q_{21}=5$	$Q_{22}=52$	$Q_{23}=108$	$Q_{24}=40$

Нульова гіпотеза  $H_0$ : вищий рівень сформованості знань, умінь і навичок підготовки задачі моделювання до її розв'язування за допомогою ПЕОМ обумовлений випадковими причинами і не залежить від пропонованої методики.

Альтернативна гіпотеза  $H_a$ : цей вищий рівень обумовлений використанням нової методики.

Обчислене за формулою (1)  $T_{експ}=25,05$ .

Оскільки  $T_{експ} > T_{кр}$ , то приймається альтернативна гіпотеза.

Оцінювання за другою частиною виконання роботи дало такі результати:

Таблиця 3

Групи	«2»	«3»	«4»	«5»
ЕГ (209 учнів)	$Q_{11}=1$	$Q_{12}=30$	$Q_{13}=136$	$Q_{14}=42$
КГ (205 учнів)	$Q_{21}=3$	$Q_{22}=40$	$Q_{23}=126$	$Q_{24}=36$

Нульова гіпотеза  $H_0$ : учні, які навчаються за різними методиками, мають однаковий рівень знань і вмінь стосовно опрацювання інформації у середовищі електронних таблиць.

Альтернативна гіпотеза  $H_a$ : більш високий рівень обумовлений новою методикою.

Обчислене за формулою (1)  $T_{експ}=3,23$ .

Оскільки  $T_{експ} < T_{кр}$ , то приймається нульова гіпотеза.

Це означає, що застосування пропонованої методики не впливає на рівень знань і вмінь щодо опрацювання інформації в середовищі електронних таблиць

(уведення даних і умов, виконання обчислювального експерименту з графічною інтерпретацією результатів).

Ми вважаємо, що одним із суттєвих показників розвитку творчого мислення засобами комп'ютерного моделювання є здатність учнів після прочитання, наприклад, науково-популярного журналу визначити статті, які б могли стати сюжетною основою для побудови та вивчення відповідної моделі; скласти орієнтовний план подальшої роботи; обговорити окремі етапи цієї роботи з колегами (іншими учнями) та з фахівцями (учителями-предметниками або з науковцями); періодично доповідати про хід власних досліджень та про виникаючі проблеми; одержати запланований кінцевий результат; здійснити спробу вийти за межі розв'язуваної задачі (сформулювати більш загальну задачу, розглянути деякі можливі й цікаві версії тощо). На досягнення такого рівня і була спрямована робота педагогів – учасників експерименту. Її ефективність оцінювалась на заключному обговоренні вчителів та викладачів університету методом експертних оцінок за наслідками виконання курсових завдань.

Проведений експеримент дозволив зробити такі висновки:

- запропонована методична система вивчення в школі факультативного курсу основ комп'ютерного моделювання є доступною для учнів 10-х класів;
- систематична і цілеспрямована діяльність із комп'ютерного моделювання сприяє актуалізації та вдосконаленню операційних структур мислення, розвитку його творчих компонентів, на що вказують результати опрацювання таблиць 1 і 2;
- за умови забезпечення розумного рівня складності та створення позитивного емоційного фону курс комп'ютерного моделювання формує в учнів стійкий пізнавальний інтерес до навчання;
- експеримент показав, що необхідним фактором успішного опанування курсу є забезпечення кожному учневі гарантованої свободи вибору способів розв'язування задачі навіть за рахунок додаткових витрат навчального часу: по-перше, позитивним є вже самий факт появи такого бажання, по-друге, не можна гарантувати, що розв'язок, відомий учителю, завжди кращий, ніж учнів-

ський, і, по-третє (і це головне), при самостійному аналізі невдалого способу учень дістає можливість глибше зрозуміти проблему і збагатити власний досвід навчальної діяльності;

– розгляд у кожній із досліджуваних моделей декількох версій, і зокрема тих випадків, коли зростає кількість об'єктів і урізноманітнюється якісний їх склад, вимагав на кожному з наступних етапів підвищення рівня абстрагування моделі, що надавало широкі можливості для вироблення в учнів узагальнених способів розв'язування задач;

– відкритий характер задач моделювання дозволяв здійснювати їх поступове ускладнення, яке вело до підвищення адекватності результатів, а це сприяло формуванню в учнів реалістичного уявлення про зміст і методи наукових досліджень, водночас організована учбова діяльність у цьому напрямку надавала їм корисного позитивного досвіду наукової творчості;

– вивчення комп'ютерного моделювання сприяло виробленню умінь переносити знання з відомих ситуацій на невідомі на основі розвитку мислительних стратегій і тактик, пов'язаних з удосконаленням і розвитком творчого мислення;

– опанування понятійного апарату початкового курсу комп'ютерного моделювання не викликало в учнів помітних утруднень, оскільки число спеціальних понять і термінів практично не перебільшує те, що входить до основного курсу інформатики;

– в ході експерименту в задачах, пов'язаних із визначенням числових значень кількох параметрів моделі спостерігався поступовий відхід учнів від спроб «лобових» розв'язків методом сліпого перебору до намагань відшукати невідомі величини на основі теоретичного аналізу або з натурного експерименту, зросло усвідомлене бажання спланувати і за можливості здійснити дослідну перевірку одержаних розв'язків, що свідчить про формування культури наукових досліджень як окремої складової загальної інформаційної культури.

## Висновки до другого розділу

1. Методична система розвитку творчих здібностей учнів засобами комп'ютерного моделювання містить такі компоненти: 1) цілі, 2) зміст, 3) методи, 4) засоби і 5) організаційні форми навчання. Вона має на меті забезпечити можливість застосування засобів НІТ спочатку у навчальній, а в перспективі й у професійній дослідницькій діяльності.

2. Цілі курсу передбачають:

– формування навичок використання ЕОМ як специфічного засобу для розв'язування навчальних і практичних задач;

– ознайомлення з основними принципами побудови та дослідження математичних моделей;

– навчання найбільш поширених методів такої роботи; формування культури дослідницької діяльності з використанням засобів ЕОТ.

3. Зміст курсу містить сукупність двох взаємопов'язаних складових:

– теоретична складова спрямована на формування наукового світогляду, основ інформаційної культури, на ознайомлення з методологією моделювання й особливостями її комп'ютерних реалізацій;

– практичний аспект пов'язаний з набуттям умінь щодо вибору середовища моделювання та навичок роботи у різних середовищах, підготовки задачі до розв'язування за допомогою комп'ютера в обраному середовищі, прийняття рішення про адекватність моделі досліджуваному об'єкту.

Навчальний матеріал включає широкий спектр задач із різних предметних галузей і передбачає вивчення початкових відомостей про моделі й технологію моделювання. Обчислювальний експеримент із математичною моделлю усуває багато ускладнень, що виникають при аналітичному розв'язуванні задач. Це робить їх цілком доступними для старшокласників, що, у свою чергу, створює реальні передумови для розширення змістової частини інших навчальних

предметів. Ми постійно звертаємо увагу учнів на той приваблюючий факт, що вдало побудована модель може нести в собі нові, непередбачені відомості про виучуваний об'єкт. Саме такі ситуації у процесі навчання створюють глибокий емоційний вплив на учнів, стаючи ефективним мотиваційним фактором.

4. Методи навчання розглядаються нами у їх зв'язку з мислительними операціями, оскільки вдосконалення цих операцій відіграє вирішальну роль у розвитку творчих здібностей.

5. Організаційні форми навчання комп'ютерного моделювання обумовлені цілями, змістом та методами навчання і у значній мірі наявністю такого потужного засобу навчальної діяльності, яким є комп'ютер. Отже, комп'ютер виступає формоутворюючим засобом навчання.

Використовуючи переваги групового навчання, ми намагаємося знайомити учнів із різними формами наукового спілкування. *Найважливіша перевага групового навчання – інтенсивний обмін інформацією, інтенсивне взаємне навчання.* Така форма спілкування може виникати на семінарах і конференціях або відображувати реальний розподіл діяльності в колективі, що працює над розв'язуванням однієї спільної проблеми. Наш досвід підтверджує, що цьому може сприяти особистісно-рольова форма організації навчального процесу, коли учень виконує певну роль (доповідач, опонент, консультант, керівник групи).

У процесі нашого експериментального дослідження з'явилася специфічна перехідна форма від фронтальної до індивідуальної роботи – науковий семінар. *Ми розглядаємо його як адекватну форму роботи для колективного осмислення ряду питань із стратегії і тактики комп'ютерного моделювання.* На семінарі є можливість обговорити хід виконання курсових завдань у окремих групах, виявити назрілі проблеми і намітити шляхи їх розв'язання, з'ясувати стан підготовки до конкурсів учнівських наукових робіт або підготовки статей до

наукових конференцій, заслухати повідомлення про цікаві й корисні публікації у періодичних виданнях і таке інше.

6. Основним змістом операціонально-пізнавального етапу є моделювання об'єктів і явищ та вивчення побудованих моделей. Це надає діяльності учнів теоретичного, дослідницького характеру, учні немов би вводяться до лабораторії творчого мислення відповідних наук.

7. У методичній системі, спрямованій на розвиток творчих здібностей учнів, важливе місце посідає поняття «учбова творча задача». При найбільш загальному підході під цим терміном ми розуміємо задачу, алгоритм розв'язування якої учневі невідомий. Інакше кажучи, це задача, у якій сформульовано певну вимогу, що задовольняється на основі знання законів тієї чи іншої науки, але в такій задачі відсутні будь-які прямі або непрямі вказівки на ті явища, законами яких слід скористатися для розв'язання. Такі задачі мають дослідницький характер і напрямлені на пошук відповіді на питання «як?» або «чому?» і тим самим актуалізують і вдосконалюють одночасно як теоретичне мислення, так і практичні уміння школярів.

Як свідчить наш досвід, відбір задач, придатних для розвитку творчого мислення учнів засобами комп'ютерного моделювання становить самостійну непросту проблему. У нас ця проблема вирішується спільними зусиллями вчителя й учнів завдяки системі курсових завдань. Сюжетна основа для створення моделей береться з підручників, статей науково-методичних та науково-популярних журналів. Добір завдань із різних галузей знань дозволяє широко варіювати їх зміст та степінь їх складності, що дає можливість враховувати різноманітні інтереси і нахили учнів, а також рівень їхньої підготовки.

8. Для того, щоб ідеї учнів відрізнялися розмаїтістю, щоб ними був охоплений значний обсяг навчального матеріалу з того чи іншого предмету, у багатьох випадках необхідною є вступна бесіда. Підготовка учнів до виконання творчих завдань, здійснювана в ході вступної бесіди, особливо необхідна на



перших порах, поки учні ще не володіють у достатній мірі специфікою такої діяльності. Крім того, на початковому етапі значне місце повинні також займати завдання, які можна розглядати як проміжну ланку між тренувальними й творчими. До них можна віднести такі, де пошук загальної ідеї виконання не вимагає оригінального підходу, проте вони повинні безпосередньо готувати учнів до виконання творчих дослідницьких завдань і можуть розглядатися як перший підготовчий етап у системі творчих робіт. Найбільша ефективність тут досягається на основі проблемного підходу.

9. Кінцеву мету навчання комп'ютерного моделювання ми бачимо у виході учнів на рівень опанування методів та прийомів опрацювання задач відкритого типу – задач із нечітко сформульованою умовою, які вимагають самостійного творчого підходу до вироблення стратегій та відповідних тактик пошуку розв'язків. Але головне для нас тут – не стільки кінцева мета мислительного процесу (створення задовільної адекватної моделі), скільки сам процес продуктивного творчого пошуку.

10. У роботах із питань розвитку творчих здібностей виокремлюються п'ять основних форм – стратегій – творчої інтелектуальної діяльності: 1) пошук аналогів (стратегія аналогізування); 2) комбінаторні дії (стратегія комбінування); 3) реконструктивні дії (стратегія реконструювання); 4) універсальна стратегія; 5) стратегія випадкових підстановок. Кожна з них реалізується за допомогою конкретних дій, поєднання яких утворює певну мислительну тактику. У психологічному плані стратегії багато у чому особистісні; тактики здебільшого – ситуативні, придатні для розв'язування локальних проблем. Тактики – це часткові, окремі прийоми творчості. Серед найбільш уживаних мислительних тактик, що характеризують творчу діяльність, пов'язану з комп'ютерним моделюванням, ми обмежуємося вісьмома.

Дослідженнями встановлено, що у школярів та студентів переважає стратегія пошуку аналогів, у професіональних дослідників – універсальні стратегії

та стратегії комбінаторних дій. Переважно у школярів і у меншому степені у студентів багато рішень здійснюються без формування стратегії, точніше, вони демонструють стратегію випадкових підстановок. Професіонали при розв'язуванні нових задач, формуючи стратегію розв'язання, використовують багато тактик мислительних дій, найчастіше це використання має комбінаторний характер. Школярі й студенти реалізують значно вужчий діапазон тактик, особливо школярі, котрі в основному користуються тактикою дублювання.

11. Результати педагогічного експерименту підтверджують, що запропонована методична система вивчення в школі факультативного курсу основ комп'ютерного моделювання є доступною для старшокласників. При цьому систематична і цілеспрямована діяльність з комп'ютерного моделювання сприяє актуалізації та вдосконаленню операційних структур мислення, розвитку його творчих компонентів, виробленню умінь переносити знання та уміння із відомих ситуацій на невідомі на основі розвитку мислительних стратегій і тактик, пов'язаних з удосконаленням і розвитком творчого мислення.

За умови забезпечення розумного рівня складності та створення позитивного емоційного фону курс комп'ютерного моделювання формує в учнів стійкий пізнавальний інтерес до навчання.

12. Опанування понятійного апарату початкового курсу комп'ютерного моделювання не викликає в учнів помітних утруднень, оскільки число спеціальних понять і термінів практично не перебільшує тих, що входять до основного курсу інформатики.

## ВИСНОВКИ

В ході дослідження одержані такі основні результати:

1. Встановлено, що всі психолого-педагогічні передумови, необхідні для розвитку творчих здібностей школярів засобами комп'ютерного моделювання, з'являються у старшому шкільному віці.

2. На основі діалектичного підходу вдалося подолати протиставлення рядом психологів понять творчості і цілеспрямованої свідомої діяльності. Дійсно, являючи собою дві форми психічної активності, творчість і діяльність знаходяться у діалектичній єдності, вони є взаємопов'язаними і взаємообумовленими: розвиток творчих здібностей можливий лише у діяльності, а розвиток і удосконалення діяльності може відбуватися лише через присутні у ній творчі компоненти; при цьому творчість виходить з під контроль свідомості лише на рівні несвідомих компонентів творчого акту.

3. Обґрунтовано можливість цілеспрямованого систематичного вивчення старшокласниками основ комп'ютерного моделювання та розроблено головні компоненти методичної системи відповідного факультативного курсу.

4. Методичну систему навчання комп'ютерного моделювання розроблено на основі концепції розвитку творчих здібностей через механізм наслідування зразків творчості та положень теорії проблемного навчання і теорії поетапного формування розумових дій. І хоч остання теорія є нерозробленою стосовно творчого аспекту процесу навчання, ми встановили, що, подаючи у якості орієнтувальної основи розумових дій зразки творчого мислення, можна сподіватися на розвиток творчих здібностей через механізм наслідування зразку.

5. На основі філософського методологічного аналізу методу моделювання показано можливості його використання для формування основ інформаційної культури і встановлення широких міжпредметних зв'язків.

6. Підтверджено, що використання електронних таблиць у якості середовища для моделювання є доцільним і дає можливість почати вивчення курсу значно раніше, ніж вивчення програмування, що, у свою чергу, дозволило розробити основу для добору змістовних дослідницьких задач.

7. Створено навчальний посібник для учнів «Основи комп'ютерного моделювання» і методичні рекомендації для вчителів.

8. Проведено педагогічний експеримент та виконано опрацювання його результатів; результати експерименту підтверджують педагогічну ефективність пропонованих компонентів методичної системи як основи для здійснення систематичного навчання основ комп'ютерного моделювання.

9. Доведено, що систематична і цілеспрямована діяльність з комп'ютерного моделювання сприяє актуалізації та вдосконаленню операційних структур мислення, розвитку його творчих компонентів, формує в учнів стійкий пізнавальний інтерес до дослідницької діяльності у навчанні, забезпечує високий рівень особистих творчих досягнень (участь в олімпіадах, наукових конференціях, конкурсах МАН).

Зокрема, починаючи з 1996 р. учні Центрально-Міської гімназії постійно приймають участь у конкурсах обласного відділення МАН. Серед конкурсних робіт, виконаних під керівництвом автора, зазначимо

1. Імітаційні геометричні моделі з динамічним відображенням процесу, створені мовою програмування високого рівня:

*Кліткові автомати:*

- Ріст кристалу на прикладі сніжинки.
- Динаміка популяцій у двохвидовій системі «Хижак – жертва».
- Еволюція спіральних галактик.

*Фрактальні кластери:*

- Задача перколяції. Виникнення пов'язуючого кластеру.
- Утворення берегових ліній.
- Електроліз на плоскому і точковому катодах.

*Математична лінгвістика:*

- Статистичний аналіз літературних творів (поезії) на основі врахування індивідуальних художніх особливостей різних авторів.

2. Моделі в середовищі електронних таблиць:

- Політ некерованого планера – паперового літачка.

- Вікова модель одновидової популяції (дослідження операцій).
- Задача двох тіл (рух супутників, подвійні зірки, узагальнення моделі).

Результати дослідження використовувались автором при проведенні практичних занять з інформатики, при вивченні зі студентами шкільного курсу інформатики на фізико-математичному факультеті Криворізького державного педагогічного університету, а також при керівництві курсовими та дипломними роботами з методики навчання інформатики, у процесі занять з учителями середніх шкіл на курсах перепідготовки при обласному інституті освіти, участі автора в роботі міського постійно діючого науково-методичного семінару.

Виконане дослідження не охоплює всіх аспектів, пов'язаних із впровадженням навчання основ комп'ютерного моделювання в практику роботи шкіл. Головна проблема полягає в тому, що винесення курсу в старші класи фактично не залишає часу для використання набутих учнями знань при вивченні інших базових предметів. Тому видається доцільним подальше дослідження щодо зміщення початку вивчення моделювання у 8–9 класи (наприклад, на основі Лого-проектів) нехай і з деякими суттєвими, але тимчасовими втратами у науковості.

Проте, слід відзначити і певний позитивний досвід. Практика навчальної роботи призвела до розширення організаційних форм проведення занять: окрім звичайних уроків з'явилися лекції, наукові семінари, спеціальні практичні заняття, спрямовані на відпрацювання техніки комп'ютерних обчислень, помітно зросла частка самостійних індивідуальних і групових форм роботи, у тому числі і курсові завдання.

Все це потребує додаткового осмислення, вдосконалення й узагальнення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов С.А., Гнездилова Г.Г., Капустина Е.Н., Селюн М.И. Задачи по программированию. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
2. Алминдеров В., Поповичева О. Международный турнир «Компьютерная физика» // Квант. – 1999. – № 3. – с. 54–56.
3. Барболин М.П. Методологические основы развивающего обучения. – М.: Высш. шк., 1991. – 232 с.
4. Батищев Г.С. Диалектика творчества. – М.: Педагогика, 1984.
5. Белоцерковский О.М. Математическое моделирование – отрасль информатики / Кибернетика. Становление информатики. Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения». – М.: Наука, 1986. – с. 45–62.
6. Белошадка В.К., Лесневский А.С. Основы информационного моделирования // Информатика и образование.– 1989.– № 3.– с. 17–25.
7. Бирюков Б.В., Гастеев Ю.А., Геллер Е.С. Моделирование. – М.: БСЭ, 1974 г.
8. Бирюков Б.Е., Гутчин И.Б. Машина и творчество. – М.: Радио и связь, 1982. – 216 с.
9. Богданов К. Хищник и жертва // Квант. – 1993. – № 3–4. – с. 13–19.
10. Богоявленская Д.Б. «Субъект деятельности в проблематике творчества // Вопросы психологии. – 1999. – № 2. – с. 35–41.
11. Богоявленская Д.Б. Интеллектуальная активность как проблема творчества. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1983.
12. Богоявленский Д.Н., Менчинская Н.А. Психология усвоения знаний в школе. – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1959. – 347 с.
13. Бочкин А.И. Методика преподавания информатики. – Мн.: Выш. шк. – 431 с.

14. Бугасенко Г.О., Триус Ю.В., Яриніч Ю.О. Лінійні динамічні системи і їх комп'ютерне моделювання / Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: / Зб. наук. праць / Редкол. – К.: «Комп'ютер у школі та сім'ї» – 1998. – 231 с.
15. Бурсиан Э.В. Задачи по физике для компьютера: Учеб. пособие для студ. физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1991. – 256 с.
16. Быкадоров Ю.А., Кузнецов А.Т., Павловский А.И. Информатика. – Мн.: Нар. асвета, 1994, 1995.
17. Веников В.А. Некоторые методологические вопросы моделирования // Вопросы философии. – 1964. – № 11.
18. Верлань А.Ф., Олецкий О.В. Методика створення інтелектуалізованого інтегрованого середовища для комп'ютерного моделювання складних систем: Сб. научн. трудов по материалам ежегодных конф. ин-та 1996 г. и 1997 г. / А.Ф. Верлань и др. (отв. Ред.); НАН Украины, Ирститут проблем моделирования в энергетике. – К.: 1997. – 86 с.
19. Верлань А.Ф., Распопов В.Б. Основы применения вычислительной техники: Пробное учебн. пособие для 10 кл. ср. шк. – К: Рад. шк., 1986. – 160 с.
20. Вершинин О.Е. Компьютер для менеджера: Учеб. пособие для экон. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1990. – 240 с.
21. Вершинин О.Е. За страницами учебника информатики: Кн. для учащихся 10–11 кл. ср. шк. – М.: Просвещение, 1992. – 352 с.
22. Викторов Л.П. и др. Основы информатики и вычислительной техники: общий взгляд, история, технические средства. / Л.П. Викторов, М.В. Донской, И.Б. Новик; ВНИИ систем. исследований. – Препр. – М.: 1989. – 50 с.
23. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Радио и связь, 1958.
24. Винер Н. Творец и робот. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 256 с.

25. Водолаженко А.В. Деловые применения компьютеров. (Раздел «Моделирование») – Харьков: Харьковский педагогический университет, РЦ НИТ, 1994. – 50 с.
26. Возрастная и педагогическая психология. / Под ред. А.В. Петровского. – М.: Просвещение, 1979. – 285 с.
27. Воловик П.М. Теорія імовірностей і математична статистика в педагогіці. – К.: Радянська школа, 1969. – 224 с.
28. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976.
29. Выготский Л.С. Избранные психологические произведения. – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1956.
30. Гальперин П.Я. Основные результаты исследований по проблеме формирования умственных действий и понятий. – М.: Наука, 1965. – 347 с.
31. Гальперин П.Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий. В кн.: Исследование мышления в советской психологии. – М.: Педагогика, 1966.
32. Гейн А.Г., Линецкий Е.В., Сапир М.А., Шолохович М.Ф. Информатика. – М.: Просвещение, 1994.
33. Гергей Т., Машбиц Е.К. Психолого-педагогические проблемы эффективного применения компьютера в учебном процессе // Вопросы психологии. – 1985. – № 2. – с. 41–48.
34. Глинский Б.А. Философские и социальные проблемы информатики /Отв. ред. И.З. Налетов; АН СССР, Моск. каф. философии. – М.: Наука, 1990. – 105 с.
35. Глинский Б.А., Грязов Б.С., Дынин Б.С. Никитин Е.П. Моделирование как метод научного исследования (гносеологический анализ). – М.: Изд-во МГУ, 1965. – 109 с.
36. Глушков В.М. Гносеологическая природа информационного моделирования // Вопросы философии. – 1963. – № 10. – с. 13–18.
37. Глушков В.М., Валах В.Я. Что такое ОГАС? – М.: Наука, 1981. – 160 с.



38. Годфруа Ж. Что такое психология. – Т. 1. – М.: Мир, 1992. – 440 с.
39. Головань М.С. Розвиток пізнавальної активності учнів в процесі навчання алгебри і початків аналізу на основі НІТ. Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – К.: 1997. – 211 с.
40. Горошко Ю.В. Вплив нової інформаційної технології на практичну значимість результатів навчання математики в старших класах середньої школи. Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – К.: 1993. – 203 с.
41. Горошко Ю.В., Пеньков А.В. Розв'язування математичних задач практичного змісту за допомогою комп'ютера // Сучасні інформаційні технології в навчальному процесі. Зб. наукових праць. – К.: КДПІ ім. М.П. Драгоманова, 1991. с. 41–51.
42. Горстко А.Б. Познакомьтесь с математическим моделированием. – М.: Знание, 1991. – 160 с.
43. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: Ч. 1, 2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
44. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении. – М.: Педагогика, 1972. – 423 с.
45. Давыдов В.В. Теория развивающего обучения. – М.: Интор, 1996. – 542 с.
46. Давыдов В.В., Маркова А.К. Концепция учебной деятельности школьников // Вопросы психологии. – 1981. – № 6.
47. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 256 с.
48. Добрынский В.А. Об одной математической модели динамики популяции. – К.: 1986. – 32 с. – (Препр. /АН УССР, Ин-т математики; 86 – 34).
49. Дородницын А.А. Информатика: предмет и задачи / Кибернетика. Становление информатики. Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения». – М.: Наука, 1986. – с. 22–28.
50. Дружинин В.М. Психология общих способностей. – СПб.: Питер Ком, 1999. – 368 с. (Серия «Мастера психологии»)

51. Ершов А.П. Информатика: предмет и понятия // Кибернетика. Становление информатики. Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения» – М.: Наука, 1986. – с. 28–31.
52. Ершов А.П. Школьная информатика в СССР: от грамотности к культуре // Информатика и образование. 1987. – № 6. – с. 3–11.
53. Ершов А.П., Монахов В.М. и др. Основы информатики и вычислительной техники. Пробное учебн. пособие для ср. учебн. заведений. В двух частях. Ч. 1. – М.: Просвещение, 1985. – 96 с.
54. Жалдак М.И. Система подготовки учителя к использованию информационной технологии и учебном процессе. Дисс. ... докт. пед. наук. – М.: НИИ СиМО АПН СССР, 1989. – 48с.
55. Жалдак М.І. Гуманітарний потенціал інформатизації навчального процесу / В зб. наукових праць: Проблеми інформатизації освіти. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 1994. – с. 3–20.
56. Жалдак М.І. Комп'ютер на уроках математики: Посібник для вчителів. – К.: Техніка, 1997. – 304 с.
57. Жалдак М.І. Яким бути шкільному курсу «Основи інформатики» // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1998. – № 1. – с. 3-8.
58. Жалдак М.І., Рамський Ю.С. Чисельні методи математики: Посібник для самоосвіти вчителів. – К.: Радянська школа, 1984. – 206 с.
59. Жалдак М.І., Горошко Ю.В. Інформаційні технології і елементи стохастичності в школі. / В зб. наук. праць: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. / Редкол. – К.: Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1998.- с. 13–32.
60. Жалдак М.І., Горошко Ю.В. Комп'ютер і елементи стохастичності в шкільному курсі математики // Комп'ютер у школі та сім'ї.– 1998.– № 3, 4.
61. Жалдак М.І., Морзе Н.В., Рамський Ю.С. «Основи інформатики» як одна з вагомих складових системи навчальних предметів загальноосвітньої школи // Сучасні інформаційні технології в навчальному процесі: Зб. наук. праць / Редкол. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 1997. – с. 3–21.

62. Жук Ю.А. Решение исследовательских задач по физике с использованием новых информационных технологий. Дисс. ...канд. пед. наук: 13.00.02 – К.: 1995. – 217 с.
63. Забара И.С., Раков С.А. Тренажер «DIANA» // Информатика и образование. – 1991. – № 1. – с. 81–82.
64. Зависимость обучения от типа ориентировочной деятельности / Под ред. П.Я. Гальперина и Н.Ф. Талызиной. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1968. – 238 с.
65. Захарова А.В. Психология обучения старшеклассников. – М.: Знание, 1976. – 64 с.
66. Зинченко В.П. Гуманитарные проблемы информатики / Социальные проблемы информатики (материалы «Круглого стола») // Вопросы философии. – 1986. – № 5. – с. 102–104.
67. Зинченко В.П. Современные проблемы образования и восприятия // Вопросы философии. – 1973. – № 11. – с. 12–16.
68. Извозчиков В.А., Ревунов А.Д. Электронно-вычислительная техника на уроках физики в средней школе. – М.: Просвещение, 1988. – 239 с.
69. Изучение основ информатики и вычислительной техники: Методическое пособие для учителей и преп. ср. уч. заведений: В 2 ч. –К.: Рад. шк., 1987. Ч. 1 /А.П. Ершов, В.М. Монахов, А.А. Кузнецов; Под ред. В.М. Монахова. – 191 с.
70. Имитационное моделирование и экология. Simulation modelling and ecology: Материалы подготовит. семинара СКОПЕ по проекту №5 «Имитационное моделирование», Москва, 15–16 ноября 1974 г. – М.: Наука, 1975. – 76 с.
71. Имитационные модели процессов управления здравоохранением: Отчет о совещании Рабочей группы ВОЗ. Лиссабон, 26–29 сентября 1978 г. / ВОЗ. Копенгаген: ЕРБ, 1980. – 34 с. (ЕРБ: Отчеты и исследования: 20)

72. Информатика в понятиях и терминах: Кн. для учащихся ст. классов сред. шк. / Г.А. Бордовский, В.А. Извозчиков, Ю.В. Исаев, В.В. Морозов; Под ред. В.А. Извозчикова. – М.: Просвещение, 1991. – 208 с.
73. Информатика: Энциклопедический словарь для начинающих / Сост. Д.А. Поспелов. – М.: Педагогика-Пресс, 1994. – 352 с.
74. Кабанова-Меллер Е.Н. Учебная деятельность и развивающее обучение. – М.: Знание, 1981. – 96 с.
75. Кабардин О.Ф. и др. Факультативный курс физики. 8 кл.: Пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1973. – 206 с.
76. Казиев В. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. // Информатика и образование. – 1990. – № 5. – с. 18–23.
77. Каймин В.А., Щеголев А.Г., Урохина Е.А., Федюшин Д.П. Основы информатики и вычислительной техники. – М.: Просвещение, 1989.
78. Калапуша Л.Р. Моделювання у вивченні фізики. – К.: Рад. Школа, 1982. – 158 с.
79. Калмыкова З. И. Продуктивное мышление как основа обучаемости. М.: Педагогика, 1981.
80. Каменецкий С.Е., Солодухин Н.А. Модели и аналогии в курсе физики средней школы: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1982. – 96 с.
81. Каныгин Ю.М., Калитич Г.И. Информатизация и управление научно-техническим прогрессом. – К.: УкрНИИ НТИ, 1988.
82. Киселев Б.Г. Система курсов информатики // Информатика и образование. – 1991. – № 5. – с. 19–25.
83. Клинберг Л. Проблемы теории обучения: Пер. с нем. М.: Мир, 1984. – 256 с.
84. Компьютер в обучении: Психолого-педагогические проблемы (круглый стол) // Вопросы психологии. – 1986. – № 5. – с. 65–90.

85. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования / Авт. предисл. А.А. Самарский / Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения». – М.: Наука, 1988. – 176 с.
86. Кон И.С. Психология старшеклассника: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1980. – 192 с.
87. Коробова І.В. Навчання дивергентного продуктивного мислення засобами фізики // Фізика та астрономія в школі. – 1998. – № 2.– с. 2-4.
88. Кочергин А. Задача о слухах // Информатика и образование. – 1990. – № 5. – с. 66–67.
89. Кочубей В.И. Анализ количественных признаков // Роль среды и наследственности в формировании индивидуальности человека. Под ред. И.В. Равич-Щербо. – М.: Педагогика, 1988. – с. 14–52.
90. Краснощеников П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 364 с., ил.
91. Крутецкий В.А. Психология обучения и воспитания школьников. – М.: Просвещение, 1976. – 303 с.
92. Кузнецов А.А., Долматов В.М. Методическая система обучения ОИВТ: структура и функции, состояние и перспективы // Информатика и образование. – 1989. – № 1. – с. 3–8.
93. Кульчицька О.І. Дивергентне мислення як умова розвитку творчості дітей молодшого шкільного віку // Обдарована дитина. – 1999.– № 1. – с. 2–6.
94. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.
95. Кушниренко А.Г., Лебедев Г.В., Сворень Р.А. Основы информатики и вычислительной техники. – М: Просвещение, 1993.
96. Ладенко И.С., Полищук Ю.М. Адаптивное имитационное моделирование. / АН СССР. СО. Ин-т истории, филологии, философии. – Препр. – Новосибирск, 1990. – 26 с.

97. Лапчик М.П. Информатика и технология: компоненты педагогического образования // Информатика и образование. – 1991. – № 6. с. 3–8.
98. Леднев В.С., Кузнецов А.А. Перспективы изучения основ кибернетики в средней школе // Советская педагогика. – 1976. – № 6. – с. 50-54
99. Лейтес Н.С. Умственные способности и возраст. – М.: Педагогика, 1971. – 278 с.
100. Леонтьев А.В. Деятельность. Сознание. Личность. – М.: Высш. шк., 1976. – 302 с.
101. Мадзігон В.М., Руденко В. Д. Шкільній інформатиці – статус самостійної навчальної дисципліни // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1998. – № 4.
102. Малафеев Р.И. Творческие задания по физике в VI – VII классах. Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1971. 88 с.
103. Малкова Т.В., Монахов В.М. Математическое моделирование – необходимый компонент современной подготовки школьника // Математика в школе. – 1984. – № 3. – с. 14–19.
104. Малярчук С.М. Формування основ інформаційної культури учнів 6–7 класів за допомогою середовища Лого: Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / НПУ ім. М.П. Драгоманова. – К.: 1997. – 24 с.
105. Маркова А.К., Матис Г.А., Орлов А.Б. Формирование мотивации учения: Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1990. – 192 с.
106. Маркова А.К., Орлов А.Б., Фридман Л.М. Мотивация учения и ее воспитание у школьников. – М.: Педагогика, 1983. – 64 с.
107. Мартин Фр. Ф. Моделирование на вычислительных машинах. Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1972. – 288 с.
108. Математическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1982. – №3. – 1183 с.
109. Математическое моделирование / Под ред. Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун. – М.: Мир, 1979. – 276 с.

110. Математическое моделирование и перспективы развития школьного образования / Н.Л. Буланова, Д.В. Волков, В.Б. Хозиев, П.Д. Широков. – М.: 1987. – 10 с. (Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР).
111. Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. – М.: Педагогика, 1972. – 208 с.
112. Матюшкин-Герке А. Учебно-прикладные задачи в курсе информатики // Информатика и образование. – 1992.– № 3–4.– с. 3-11, № 5–6. – с. 15-18.
113. Махмутов М.И. Организация проблемного обучения в школе. – М.: Просвещение, 1977. – 240 с.
114. Машбиц Е.И. Компьютеризация обучения: проблемы и перспективы. – М.: Знание, 1986. – 80 с.
115. Машбиц Е.И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения: (Педагогическая наука – реформе школы). – М.: Педагогика, 1988. – 192 с.
116. Менчинская Н.А. Мышление в процессе обучения / Исследования мышления в советской психологии. – М.: Наука, 1966. – 526 с.
117. Методологические и теоретические проблемы математики и информатики / М.С. Бугрин (ред.). – К.: 1997. – 106 с.
118. Методы и средства компьютерного моделирования: Сб. науч. тр. по материалам ежегодных конф. ин-та 1996 г. и 1997 г. / А.Ф. Верлань и др. (отв. ред.); НАН Украины, Институт проблем моделирования в энергетике. – К.: 1997. – 86 с.
119. Милитарев В.Ю., Смирнов Е.П., Яглом И.М. Информатика и информационная культура // Советская педагогика.– 1988. – №6.– с. 61–64.
120. Михалевич В.С. и др. Информатика – новая область науки и практики / Кибернетика. Становление информатики. Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения». – М.: Наука, 1986. – с. 31–45.
121. Мичи Д., Джонстон Р. Компьютер – творец. – М.: Мир, 1987. – 251 с.

122. Могилев А.В., Хеннер Е.К. О понятии «информационное моделирование» // Информатика и образование. – 1997. – № 8. – с. 3-7.
123. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
124. Моисеев Н.Н. Математик задаёт вопросы... / Приглашение к диалогу /. – М.: Знание, 1974. – 191 с.
125. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981 г.
126. Моляко В.А. Психология решения школьниками творческих задач. – К.: Радянська школа, 1983. – 94 с.
127. Моляко В.А. Психология творческой деятельности. – К.: Знание УССР, 1978. – 48 с.
128. Моляко В.О. Актуальні соціально-психологічні аспекти проблеми обдарованості // Обдарована дитина. – 1998. – №1, 2, 3.
129. Монахов В.М. Психолого-педагогические проблемы обеспечения компьютерной грамотности учащихся // Вопросы психологии. – 1985. – № 3. – с. 14–22.
130. Монахов В.М. Что такое новая информационная технология обучения // Математика в школе. – 1990. – № 2. – с. 47–52.
131. Морзе Н.В. Методика изучения основных понятий информатики и вычислительной техники в средних проф-тех. училищах: Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / НИИ педагогики УССР. – К.: 1986. – 18 с.
132. Морозов К.Е. Математическое моделирование в научном познании. – М.: Мысль, 1969. – 212 с.
133. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Физматлит, 1994. – 192 с.
134. Нарыкова И. Компьютерное моделирование в Великобритании // Информатика и образование. – 1992. – № 3-4. – с. 116–120.
135. Научные работы: Методика подготовки и оформления. / Сост. И.Н. Кузнецов – Мн.: Амалфея, 1998. – 272 с.
136. Немов Р.С. Психология. – Т. 1. – М.: Просвещение, 1995. – 576 с.



137. Новик И.Б. О моделировании сложных систем (философский очерк). – М.: Мысль, 1965. – 335 с.
138. Новик И.Б., Мамедов Н.М. Метод моделирования в современной науке. – М.: Об-во «Знание» РСФСР, 1981. – 40 с.
139. Ньюберг Н.Д. О познавательных возможностях моделирования / В сб. статей: Математическое моделирование жизненных процессов. / Редкол.: М.Ф. Веденов и др. – М.: Мысль, 1968. – 287 с.
140. Обухова Л.Ф. Этапы развития детского мышления. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. – 152 с.
141. Оконь В.Л. Введение в общую дидактику. – М.: Высш. школа, 1990. – 382 с.
142. Основи інформатики та обчислювальної техніки. Програма для середніх закладів освіти. (Автори: М.І. Жалдак, Н.В. Морзе, Г.Г. Науменко). – К.: Перун, 1996.
143. Островская Е.М. Моделирование на компьютере. // Информатика и образование. – 1998. – №8.
144. Педагогика / Ю.К. Бабанский, В.А. Сластенин, Н.А. Сорокин: Под ред. Ю.К. Бабанского – М.: Педагогика, 1988.
145. Педагогічна психологія: Навч. посібник. Л.М. Проколієнко. – К.: Вища школа, 1991. – 180 с.
146. Пейперт С. Здорово – это трудно – это называется Лого!: Интервью, данное С.Ф. Сопрунову 16.02.1998. Москва // Компьютер в школе. – 1999. – № 2. – с. 5–8.
147. Пейперт С. Переворот в сознании: дети, компьютеры и плодотворные идеи. – М.: Педагогика, 1987. – 220 с.
148. Пеньков А.В. Использование новой информационной технологии при преподавании математики в старших классах средней школы. Дисс...канд. пед. наук. 13.00.02. – К.: 1992. – 217 с.
149. Пешель Н. Для чего нужна информатика в школе // Информатика и образование. – 1987. – № 3. – с. 107–114.

150. Пиаже Ж. Избранные психологические труды. – М.: Международная педагог. академия, 1994. – 680 с.
151. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: Наука, 1975. – 463 с.
152. Пойа Д. Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
153. Пономарёв Я.А. Психология творчества // Тенденции развития психологической науки. – М.: Наука, 1988. – с. 21–25.
154. Пономарьов Я.А. Психика и интуиция. – М.: Наука, 1967. – 231 с.
155. Поспелов Н.Н. Формирование мыслительных операций у старшеклассников. – М.: Педагогика, 1989. – 187 с.
156. Преемственность в обучении математике. Сб. статей. Пособие для учителей. Сост. А.М. Пышкало. – М.: Просвещение, 1978. – 239 с.
157. Простое и сложное в программировании / Авт. предисл. Е.П. Велихов. – М.: Наука, 1988. – с. 96–103.
158. Пушкин В.Н. Психологические возможности человека. – М.: Знание, 1972. – 64 с.
159. Пышкало А.М. Методическая система обучения геометрии в начальной школе. Авторский доклад по монографии «Методика обучения элементам геометрии в начальных классах», представленной на соискание ученой степени докт. пед. наук. – М.: НИИ СиМО АПН СССР, 1975.
160. Разумовский В.Г. Обучение физике и развитие творческих способностей // Физика в школе. – 1994. – № 2.
161. Разумовский В.Г. Преподавание физики в условиях гуманизации образования // Педагогика. – 1998. – № 6. – с. 102–111.
162. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. Пособие для учителей. – М.: Просвещение, – 1975. – 272 с.
163. Разумовский В.Г. Творческие задачи по физике. – М.: Просвещение, – 1966. – 156 с.

164. Разумовский В.Г. ЭВМ и школа: Научно-педагогическое обеспечение // Сов. педагогика. – 1985. – № 9. – с. 12–16.
165. Раков С.А., Горох В.П. Компьютерные эксперименты в геометрии. – Харків: МП Регіональний Центр НІТ, 1996. – 176 с.
166. Раков С.А., Олейник Т.А., Скляр Е.В. Использование пакета DERIVE в курсе математики. – Харків: МП Регіональний Центр НІТ, 1998. – 256 с.
167. Рамський Ю.С. Формування інформаційної культури вчителя інформатики при вивченні методів обчислень у педагогічному вузі / В зб. наукових праць: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова. – Випуск 2. – 2000. – 326 с.
168. Рамський Ю.С., Балик Н.Р. Методичні основи вивчення експертних систем у школі. – К.: Логос, 1997. – 114 с.
169. Распопов В.Б. Імітаційні алгоритми // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1999. – № 2. – с. 44–46.
170. Роберт И.С. Новые информационные технологии в обучении: дидактические проблемы, перспективы использования // Информатика и образование.– 1991. – № 4. – с. 18–26.
171. Роберт И.С. Средства новых информационных технологий – школе // Информатика и образование. – 1989. – № 2. – с. 61–68.
172. Рубинштейн С.Л. О мышлении и путях его исследования. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 147 с.
173. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. В 2-х томах. /АПН СССР. – М.: Педагогика, 1989.
174. Руденко В.Д. Имитационное моделирование учебных алгоритмов // Информатика и образование. – 1990. – № 5. – с. 42–45.
175. Руденко В.Д. Шкільному курсу інформатики – десять років: стан та перспективи // Педагогіка і психологія. – 1996. – № 3. – с. 104–109.
176. Руденко В.Д., Макаруч О.М., Патланжоглу М.С. Практичний курс інформатики / За ред. Мадзігона В.М. – К.: Фенікс, 1997. – 304 с.

177. Самарский А.А., Михайлов А.П. Компьютеры и жизнь (Математическое моделирование). – М.: Педагогика, 1987. – 128 с.
178. Скаткин М.Н. Совершенствование процесса обучения. – М.: Педагогика, 1971. – 206 с.
179. Смирнов И.Н. Социально-философские проблемы информатики // Вопросы философии. – 1986. – № 10. – с. 49–60.
180. Соколов И.М. Фракталы // Квант. – 1989. – № 5. – с. 6–13.
181. Соловйов В.М., Семеріков С.О., Теплицький І.О. Основи комп'ютерного моделювання в середній школі та педагогічному вузі // Допрофесійна педагогічна підготовка учнівської молоді в контексті реалізації цільової комплексної програми «Вчитель». Збірник науково-практичних матеріалів Всеукраїнської конференції в 3-х частинах. 8–10 квітня 1998 р., м. Кривий Ріг. – Дніпропетровськ, 1998. – с. 53–56.
182. Соловьёв В.Н., Теплицкий И.А., Шанда Л.В., Иванченко Е.А., Завизена Н. С., Семериков С.А. Некоторые математические модели вспышек численности в популяциях организмов // Охорона довкілля: екологічні, освітянські, медичні аспекти. Матеріали III Всеукраїнської конференції. – Частина III. – Кривий Ріг: КДПІ. – 1998. – с. 52–65.
183. Талызина Н.Ф. Внедрению компьютеров в учебный процесс – научную основу // Сов. педагогика. – 1985. – № 12. – с. 34–38.
184. Талызина Н.Ф. Теория поэтапного формирования умственных действий / В кн.: Обучение и развитие (материалы к симпозиуму). – М.: 1966. – с. 16–22.
185. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. – 343 с.
186. Талызина Н.Ф., Габай Т.В. Пути и возможности автоматизации учебного процесса. – М.: Знание, 1977. – 64 с.
187. Теоретические основы процесса обучения в советской школе / Под ред. В.В. Краевского, И.Я. Лернера. – М.: Педагогика, 1989.

188. Теплицкий И.А. Компьютерное моделирование как средство развития дивергентного продуктивного мышления // Формування творчої особистості в навчальному процесі: Зб. наук. статей. – Кривий Ріг, 1998. – с. 158–163.
189. Теплицкий И.А. Компьютерное моделирование как средство развития дивергентного мышления школьников // Седьмая международная конференция МАТЕМАТИКА. КОМПЬЮТЕР. ОБРАЗОВАНИЕ: Тезисы. – Дубна. – 2000. – с. 319.
190. Теплицкий И.О. Використання електронних таблиць у комп'ютерному моделюванні // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1999. – № 2. – с. 27–32.
191. Теплицкий И.О. Вікова модель одновидової популяції: Методичний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 1999. – 56 с.
192. Теплицкий И.О. Дослідження операцій за допомогою імітаційних стохастичних моделей у шкільному курсі інформатики // Тезиси докладов научно-методического семинара «Информационные технологии в учебном процессе» / ЮУГПУ им. К.Д. Ушинского. – Одесса, 1999. – с. 24.
193. Теплицкий И.О. Елементи математичної екології у факультативному курсі «Основи комп'ютерного моделювання» (з досвіду роботи) // Проблеми фундаментальної екології. Матеріали II Всеукраїнської конференції: 9–10 грудня 1997 року, м. Кривий Ріг. II частина. – Кривий Ріг, 1997. – с. 84–93.
194. Теплицкий И.О. Застосування електронних таблиць на уроках фізики // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в природничих науках: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2000. Вип. 2. – с. 365–372.
195. Теплицкий И.О. Імітаційні стохастичні моделі в шкільному курсі інформатики // Зб. наукових праць: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова. – Випуск 2. – 2000. – с. 129–136.

196. Теплицький І.О. Комп'ютерне моделювання в шкільному курсі інформатики // Нива знань. Інформаційні технології в освіті. Інформаційно-педагогічний альманах № 1. – Дніпропетровськ: Видавництво ДДУ, 1994. – с. 63–74.
197. Теплицький І.О. Комп'ютерне моделювання в шкільному курсі інформатики // Нові інформаційні технології навчання в учбових закладах України. Зб. статей під ред. І.І. Мархеля – Одеса: Астропринт, 1997. – с. 136–138.
198. Теплицький І.О. Модель «хижак–жертва»: Методичний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 1999. – 56 с.
199. Теплицький І.О. Основи комп'ютерного моделювання: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 1999. – 256 с.
200. Теплицький І.О. Психолого-педагогічні основи розвитку творчого мислення учнів засобами комп'ютерного моделювання // Творча особистість учителя: проблеми теорії і практики: Збірник наукових праць. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова., 1999. Вип. 3. – с. 431–436.
201. Теплицький І.О. Розвиток творчого мислення школярів засобами комп'ютерного моделювання // КОМП'ЮТЕР у ШКОЛІ та СІМ'Ї: Матеріали Круглого столу. – 2000. – №2. – с. 4–5.
202. Теплицький І.О. Фізичні моделі в курсі «Основи комп'ютерного моделювання» // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 1999. – с. 46–54.
203. Теплицький І.О., Семеріков С.О. Вивчення фрактальних кластерів за допомогою імітаційних комп'ютерних моделей // Збірник наукових праць Східноукраїнського держ. університету. – Луганськ: Видавництво СУДУ, 1998. – с. 276–289.

204. Теплицький І.О., Чернов Є.В. Моделювання процесу берегоутворення // Охорона довкілля: екологічні, освітянські, медичні аспекти. Матеріали III Всеукраїнської конференції. – Частина III. – Кривий Ріг: КДПІ. – 1998. – с. 39–45.
205. Терминологический словарь по основам информатики и вычислительной техники / А.П. Ершов, Н.М. Шанский, Н.В. Баско; Под ред. А.П. Ершова, Н.М. Шанского. – М.: Просвещение, 1991. – 159 с.
206. Уемов А.И. Основные формы и правила выводов по аналогии. / В кн.: Проблемы логики научного познания. – М.: Наука, 1964. 410 с.
207. Узнадзе Д.Н. Психологические исследования. – М.: Нука, 1966.
208. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
209. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Ч. 1. – М.: Мир, 1967. – 268 с.
210. Фокин М.Л. Моделирование физических явлений и процессов с помощью ЭВМ в средней школе / Изучение основ информатики и вычислительной техники в средней школе: опыт и перспективы. – М.: Просвещение, 1987. – с. 119–128.
211. Фридман А.М. Психолого-педагогические основы обучения математике в школе. – М.: Просвещение, 1983. – 158 с.
212. Фридман Л.М., Кулагина И.Ю. Психологический справочник учителя. – М. Просвещение, 1991. – 288 с.
213. Хантер Б. Мои ученики работают на компьютерах: Кн. для учителя: Пер. с англ. – М.: Просвещение, 1989. – 224 с.
214. Хилькевич С., Зайцева О. Как построить траекторию? // Квант. –1987. – № 7. – с. 26–31.
215. Хорошева И.П. Курс «Информатика» для 8 – 9 классов. // Информатика и образование. – 1993. – № 3. – с. 28.
216. Хорошева И.П. Программа курса «Информатика» (для VIII – IX классов школ, принимающих участие в проекте «Пилотные школы») // Информатика и образование. – 1992. – № 5–6. – с. 19–22.

217. Хургин Я.И. Да, нет или может быть ...– 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 208 с.
218. Хургин Я.И. Ну и что? – М.: Молодая гвардия, 1970. – 320 с.
219. Чепрасова Т.І. Підвищення практичної значущості результатів навчання інформатики в старших класах середньої школи в умовах НІТН. Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – К.: 19980. – 217 с.
220. Чернов Є.В., Теплицький І.О. Середовище для побудови моделей на сітках / Фізика. Математика. Нові технології навчання: Зб. матеріалів Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. – Кіровоград: РВГЩ КДПУ ім. В. Винниченка, 1999. – с. 63.
221. Шляго А.Н. Содержание и педагогические функции курса информатики // Информатика и образование. – 1996. – № 1. – с. 24–32.
222. Шнейдеров В.С. Занимательная информатика или... – СПб.: Политехника, 1994. – 303 с.
223. Шпилевский А. Фрактальные кластеры. // Информатика и образование. – 1989. – № 5. – с. 99–103.
224. Штофф В.А. Моделирование и философия. – М. – Л.: Наука, 1996.
225. Штофф В.А. О роли моделей в познании. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1963. – 128 с.
226. Щукина Г.И. Проблема познавательного интереса в педагогике. – М.: Педагогика, 1971. – 352 с.
227. Эйнштейн А. Физика и реальность. – М.: Наука, 1965. – 360 с.
228. Эльконин Д.Б. Психологические условия развивающего обучения / Обучение и развитие младших школьников (Под ред. Г.С. Костюка). – К.: Наук. думка, 1970. – 187 с.
229. Эсаулов А.Ф. Проблемы решения задач в науке и технике. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. – 200 с.
230. Эсаулов А.Ф. Психология решения задач / Методическое пособие. – М.: Высшая школа, 1972. – 216 с.
231. Эфрос А. Что такое теория протекания // Квант. – 1982. – № 2. – с. 2–9.



232. Юдин Б.Г. Системный анализ. – М.: БСЭ, 1976.
233. Яглом И.М. Образное мышление, алгоритмическое мышление, компьютеры / Компьютер в обучении: психолого-педагогические проблемы (Круглый стол // Вопросы психологии. – 1986. – №5. – с. 69–70.
234. Якиманская И. С. Развивающее обучение. – М.: Просвещение, 1979. – 158 с.
235. Яковлева Е. Л. Психологические условия развития творческого потенциала у детей школьного возраста // Вопросы психологии. – 1994. – №5.
236. Clark, C.W., 1976, Mathematical bioeconomics. The optimal management of renewable resources. Wiley, New York.
237. Goodenough L.J. and McKinion, J.M., 1992, Basics of Insect Modelling. American Soc. of Agric. Engineers, St. Joseph (MI).
238. Jeffers J.N.R., 1978, An introduction to systems analysis: with ecological applications. Edward Arnold, London.
239. Renshaw E., 1991, Modelling populations in space and time. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
240. Sharov, A.A., 1991, Self-reproducing systems: structure, niche relations and evolution. – BioSystems 25: 237-249.

## ВІКОВА МОДЕЛЬ ОДНОВИДОВОЇ ПОПУЛЯЦІЇ

**Вступ**

У цій главі ми розглянемо математичну модель одновидової популяції, запропоновану в 1945 р. американським біологом П. Леслі. Її привабливість, на наш погляд, полягає в тому, що у цій моделі було здійснено цікавий і нетрадиційний на той час підхід до моделювання динаміки популяції.

Традиційне розв'язання такої задачі, як ми бачили у попередній главі на прикладах моделі Т. Мальтуса і її ускладнених версій, передбачає складання рівняння для швидкості зміни загальної чисельності особин за достатньо малий проміжок часу і наступне аналітичне або чисельне розв'язання одержаного рівняння

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = f(N).$$

*Вікова модель* П. Леслі у цьому відношенні має принципову відмінність – в її основу покладено розподіл популяції по групах у відповідності до віку особин. Вона визначає правила, за якими змінюються характеристики, що описують еволюцію окремих груп і популяції в цілому. При цьому її словесний опис легко формалізується, тобто його нескладно подати у вигляді математичних співвідношень. Цією моделлю у математичній екології було започатковано новий клас так званих *матричних дискретних моделей*.

**I. Найпростіша версія моделі**

Для вивчення змін чисельності популяції, які відбуваються із плином часу, розглянемо популяцію, розподілену за віковими групами. Цей розподіл задамо такими *Правилами*:

*Правило 1.* Першу групу складають всі особини віком до 1 року, другу – особини другого року життя і т.д. Нехай до першої групи входять  $N_1$  особин, до

другої –  $N_2, \dots$ , до  $i$ -ї –  $N_i$ , де  $i=1, 2, \dots$  – вік особин.

Зрозуміло, що загальна кількість особин у популяції  $N=N_1+N_2+\dots+N_k$ .

**Правило 2.** Смертність спрощено можна врахувати у такий спосіб: особи-ни вмирають після перебування у  $k$ -тій віковій групі, де  $k$  – максимальний вік життя.

**Правило 3.** Для кожної  $i$ -ї вікової групи встановлюється коефіцієнт народжуваності  $B_i$  з таким змістом: річний приплід, обумовлений присутністю  $i$ -ї вікової групи з чисельністю  $N_i$ , становить  $B_i N_i$ . Загальний річний приплід для усієї популяції складає  $B_1 N_1 + B_2 N_2 + \dots + B_k N_k$ .

**Правило 4.** Особини, що належали до  $i$ -ї вікової групи, через рік переходять до  $(i+1)$ -ї групи ( $i=1, 2, \dots, k-1$ ), а особи, що належали до  $k$ -ї групи, вмирають.

У наступному році згідно з новим розподілом загальна чисельність  $N$  популяції становитиме:

$$N = \underbrace{B_1 \cdot N_1 + B_2 \cdot N_2 + \dots + B_k \cdot N_k}_{N_1} + \underbrace{N_1 + N_2 + \dots + N_{k-1}}_{N_2 + N_3 + \dots + N_k}$$

*перша вікова група*                      *всі решта груп,*  
*(приплід за попередній рік)*            *починаючи з другої*

На рис. 1. наведено схему, що ілюструє механізм розподілу популяції за віковими групами при переході у наступний рік.

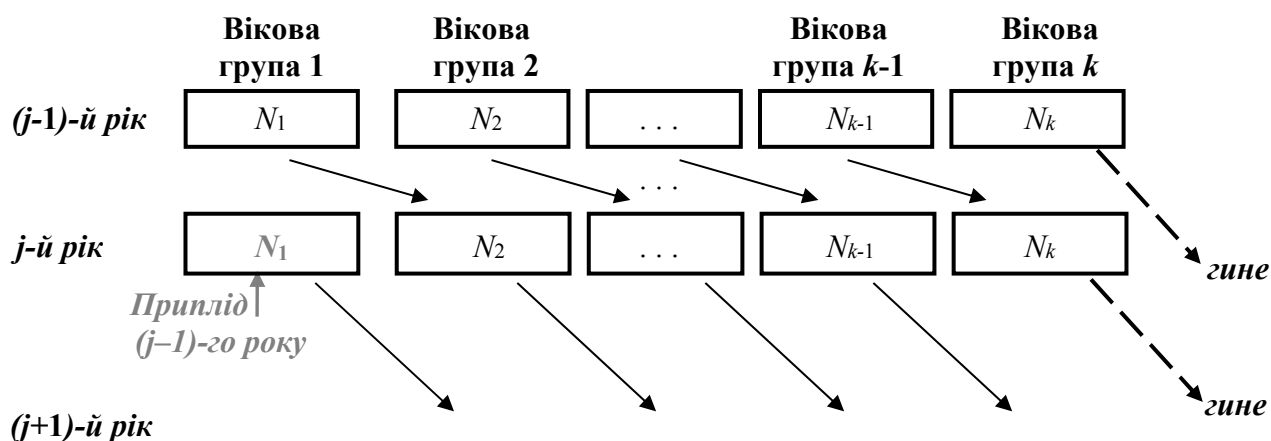


Рис. 1.

**Зауваження 1.** Характерною особливістю даної моделі є питання про час, яке заслуговує на більш докладне обговорення. З біологічної точки зору час

існування живої істоти складається з циклічних повторень життєво важливих процесів – репродуктивних циклів, що завершуються появою потомства. Максимальна кількість циклів (від одного до декількох) та їх тривалість залежать від біологічного виду. Тому *цілком логічно одиницею виміру часу вважати тривалість одного репродуктивного циклу, а вік істоти визначати за їх кількістю*. Отже, строго кажучи, певну вікову групу в моделі Леслі утворюють особини, що пройшли однакову кількість репродуктивних циклів.

1. Чи має рацію поширювати подібні міркування на людину? Чому?
2. Які значення може приймати коефіцієнт народжуваності  $B_1$ ?

До жодного з наведених вище виразів (*Правил*) час не входить як аргумент. Він фігуруватиме у моделі умовно як лічильник тактів «життя» популяції. Лише для визначеності тривалість циклу приймається рівною 1 рік.

**Постановка задачі.** Вважаючи заданими

- 1) механізм розподілу популяції за віковими групами при переході у наступний рік,
- 2)  $k$  – максимальний вік особин;
- 3)  $N_{01}, N_{02}, \dots, N_{0k}$  – початковий розподіл популяції за віковими групами,
- 4)  $B_1, \dots, B_k$  – коефіцієнти народжуваності для відповідних вікових груп, *визначати чисельність кожної вікової групи і загальну чисельність популяції на протязі наступних  $t$  років ( $k; N_1, N_2, \dots, N_k; t$  – натуральні числа,  $B_1, \dots, B_k$  – додатні числа).*

**Алгоритм роботи з моделлю**

1. Створити електронну таблицю за зразком:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>	
2									<i>Початкові чисельності:</i>	
3									$N_{01} =$	
...									...	
8									$N_{06} =$	
9									<i>Коефіцієнти</i>	
10									<i>народжуваності:</i>	
11									$B_1 =$	
...									...	
16									$B_6 =$	

2. Увести вхідні дані (стовпець «Дано:») –  $N_{01}, \dots, N_{06}; B_1, \dots, B_6$  (для  $k=6$ ).

3. Заповнити перший рядок таблиці початковими значеннями змінних:

$j=0$ ;  $N_1, \dots, N_6$  посиланням на комірки J3, ..., J8; загальна чисельність популяції на кінець року («Разом»):  $N_0=N_{01}+\dots+N_{06}$ .

4. Заповнити другий рядок таблиці ( $j=1$ ):

4.1. Використовуючи посилання на відповідні комірки зі стовпця «Дано:», згідно з *Правилом 3* обчислити річний приплив на кінець попереднього, тобто ( $j-1$ )-го року:  $N_{j1}=B_1N_{(j-1)1}+B_2N_{(j-1)2}+\dots+B_6N_{(j-1)6}$

4.2. Формалізуємо *Правило 4*:  $N_{j(i+1)}=N_{(j-1)i}$ , (\*)

де  $i=1, \dots, 5$  – номер вікової групи,  $j$  – номер року.

У відповідності до (\*) обчислити решту комірок цього рядка для стовпців  $N_2, \dots, N_6$ :  $N_{j2}=N_{(j-1)1}, \dots, N_{j6}=N_{(j-1)5}$

4.3. Обчислити загальну чисельність популяції на кінець року:

$$N_j=N_{j1}+\dots+N_{j6}$$

5. Повторювати п. 4. для  $j=2, 3, \dots, m$ .

Реально це означає копіювання всіх формул другого рядка у решту наступних рядків.

### **Обчислювальний експеримент (тестування)**

1. Конкретизуємо задачу на прикладі деякої уявної популяції, в якій особи мають максимальний вік 6 років:

кількість вікових груп  $k=6$ ;

початкові чисельності вікових груп нехай становлять:

$$N_{01}=10, N_{02}=13, N_{03}=12, N_{04}=15, N_{05}=11, N_{06}=14;$$

коефіцієнтам народжуваності надамо таких значень:

$B_1=0$  (вважаємо, що особи першого року життя не здатні до відтворення);

$$B_2=0,25; B_3=0,3; B_4=0,4; B_5=0,35; B_6=0,25.$$

*Зауваження 2.* Обрані значення чисельностей та змінних  $k$  і  $B_i$  взяті довільно й без посилань на достовірні джерела. Проте для тестування такий підхід є цілком прийнятним.

Будемо досліджувати динаміку чисельності даної популяції протягом  $m=20$  років (рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>	
2	<i>0</i>	10	13	12	15	11	14	75	<i>Початк. чисельн.</i>	
3	<i>1</i>	20	10	13	12	15	11	81	$N_{01}=$	10
4	<i>2</i>	19	20	10	13	12	15	89	$N_{02}=$	13
5	<i>3</i>	21	19	20	10	13	12	96	$N_{03}=$	12
6	<i>4</i>	22	21	19	20	10	13	106	$N_{04}=$	15
7	<i>5</i>	26	22	21	19	20	10	119	$N_{05}=$	11
8	<i>6</i>	29	26	22	21	19	20	138	$N_{06}=$	14
9	<i>7</i>	33	29	26	22	21	19	151	<i>Коефіцієнти</i>	
10	<i>8</i>	36	33	29	26	22	21	168	<i>народжуваності:</i>	
11	<i>9</i>	41	36	33	29	26	22	188	$B_1=$	0
12	<i>10</i>	45	41	36	33	29	26	211	$B_2=$	0,25
13	<i>11</i>	51	45	41	36	33	29	236	$B_3=$	0,3
14	<i>12</i>	57	51	45	41	36	33	264	$B_4=$	0,4
15	<i>13</i>	64	57	51	45	41	36	294	$B_5=$	0,35
16	<i>14</i>	71	64	57	51	45	41	329	$B_6=$	0,25
17	<i>15</i>	80	71	64	57	51	45	368		
18	<i>16</i>	89	80	71	64	57	51	411		
19	<i>17</i>	99	89	80	71	64	57	460		
20	<i>18</i>	111	99	89	80	71	64	514		
21	<i>19</i>	124	111	99	89	80	71	574		
22	<i>20</i>	139	124	111	99	89	80	642		

Рис. 2

Перевірте, чи виконується правило переходу у наступний рік за схемою на рис. 1 і чи правильно обчислюються щорічні суми.

*Вправа 1.* Виконайте самостійно тестування для випадку, коли початкові чисельності у всіх вікових групах за винятком останньої, дорівнюють нулеві, наприклад,  $N_{01}=N_{02}=\dots=N_{05}=0$ ,  $N_{06}=10$  і порівняйте власні результати з наведеними нижче:

– у першому рядку (тобто через 1 рік) у комірці для  $N_1$ , як це й повинно бути, з'являється загальна чисельність потомства, що його дає на кінець поточного року шоста група (фактично  $B_6N_6$ ), а у комірці «Разом» – таке саме значення, оскільки особини 6-го (останнього року життя) за умовою гинуть;

– у другому рядку в комірці  $N_1$  з'являється значення чисельності потомства, що його одержано від минулорічних «дітей» (на другий рік вони вже да-

дуть потомство, оскільки  $B_2 > 0$ ), в комірці  $N_2$  – попереднє значення з  $N_1$ , а у комірці «Разом» – результат додавання поточного  $N_2$  до попереднього  $N_1$  і т.д.

2. Виведемо на екран графіки, що відображують динаміку зміни чисельності кожної вікової групи (рис. 3 а) та загальної чисельності популяції з плином часу (рис. 3 б).

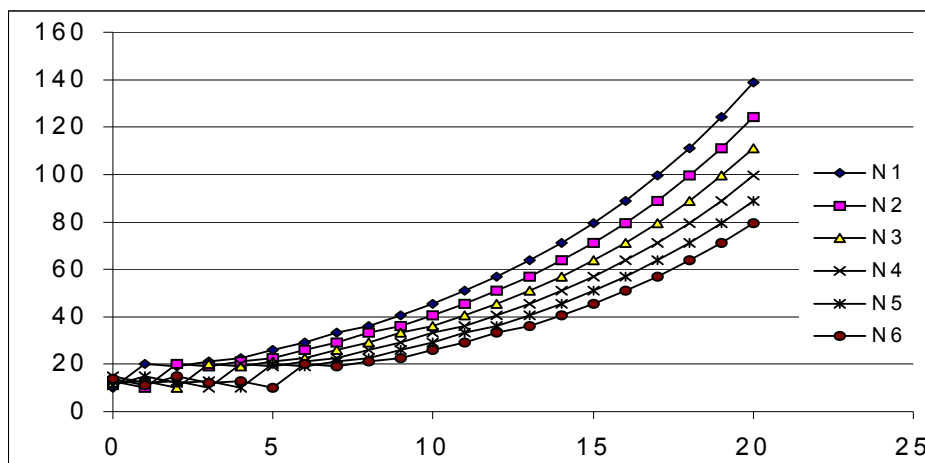


Рис. 3а

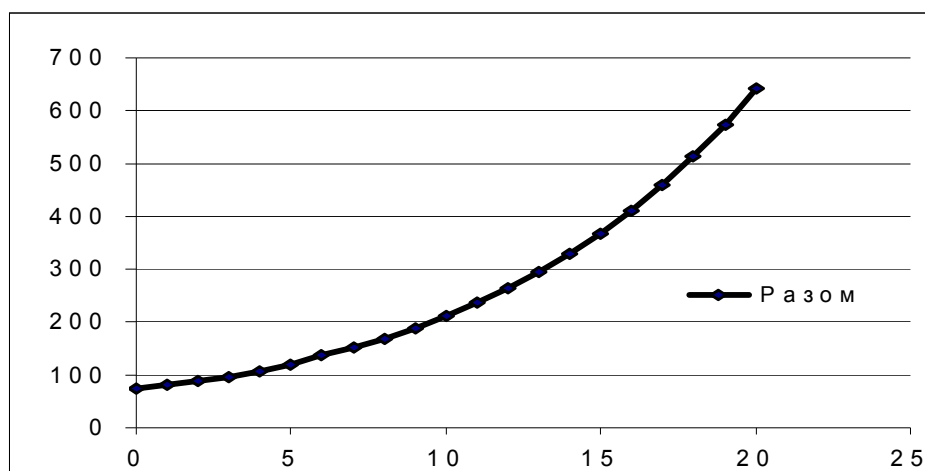


Рис. 3б.

Аналіз графіків показує, що чисельність кожної окремої групи, як і загальна чисельність популяції після декількох коливань починає монотонно зростати. При цьому графіки набувають вигляду, який дуже нагадує аналогічні графіки для моделі Мальтуса (показникову функцію типу  $y = a^{kx}$ ).

Перевіримо зазначений факт у такий спосіб: будемо обчислювати відношення будь-якого члена послідовності  $N_{ij}$ , починаючи з першого, який вже не спадає, до наступного  $N_{i(j+1)}$ . Якщо значення таких відношень будуть однакови-

ми, то це й стане прямою вказівкою на те, що послідовність є геометричною прогресією, тобто являє собою показникову функцію.

*Вправа 2.* Створіть після стовпця Н (перед стовпцем І) новий вільний стовпець. Він стане стовпцем І, а колишній стовпець І стане стовпцем К.

1. В комірку І3 введіть формулу для обчислення відношення  $N_2/N_3$  – загальних чисельностей популяції  $N_j$  і  $N_{j+1}$  (попереднього і наступного років).

2. Скопіюйте цю формулу вниз у решту вільних комірок.

3. Скопіюйте весь останній рядок формул у наступні 10 – 15 рядків.

4. Збільште розміри стовпця І так, щоб у його комірках змогло уміститися число із шести цифр. Виділіть цей стовпець і збільште розрядність чисел у ньому до п'ятого знака після коми, що відповідатиме точності 0,001%.

5. Уважно прогляньте результати і переконайтеся, що, починаючи приблизно з 30 рядка, вони стають однаковими.

6. Зробіть відповідні висновки про характер залежності загальної чисельності особин  $N_j$  від кількості років  $j$ .

7. Вилучіть стовпець Н.

Варто прийняти до відому, що *показникова функція є досить поширеною для багатьох природних і суспільних процесів.*

*Вправа 3.*

1. На основі щойно розглянутої версії моделі Леслі змодельуйте нарахування банківських процентів. Необхідні дані здобудьте самостійно.

2. Спробуйте здійснити узагальнення моделей Мальтуса і Леслі. Яка з них, на вашу думку, є більш загальною, тобто містить у собі іншу як окремий випадок? За яких умов?

## **II. ПОЛІПШЕННЯ МОДЕЛІ ЛЕСЛІ**

Одним із суттєвих недоліків розглянутої версії моделі є украй спрощене уявлення (припущення) про смертність особин. Модель не враховує того безперечного факту, що у реальних популяціях цей чинник дуже часто буває пов'язаним із віком.



Модель можна зробити більш реалістичною, якщо для всіх вікових груп, окрім коефіцієнтів народжуваності  $B_i$ , додатково ввести ще й коефіцієнти виживання  $S_i$ :  $S_1, \dots, S_k$ , де  $0 < S_i < 1$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ). Це означатиме, що коли у поточному ( $j$ -му) році  $i$ -та вікова група має чисельність  $N_{ji}$ , то у наступному році, ставши  $(i+1)$ -ю групою, вона матиме чисельність  $S_i N_{(j+1)i}$ . Якщо, як і раніше, вважається, що вік особин не може перебільшувати  $k$  років, то  $S_k=0$  і можна експериментувати лише із значеннями змінних  $S_1, \dots, S_{k-1}$ .

Річний приріст у  $j$ -му році за рахунок  $i$ -ї групи, тобто її внесок у склад першої групи наступного року, як і раніше, вважається рівним  $B_i N_{ji}$  ( $i=2, \dots, k$ ). Тепер схема механізму розподілу популяції за віковими групами при переході у наступний рік набуває такого вигляду (рис. 4):

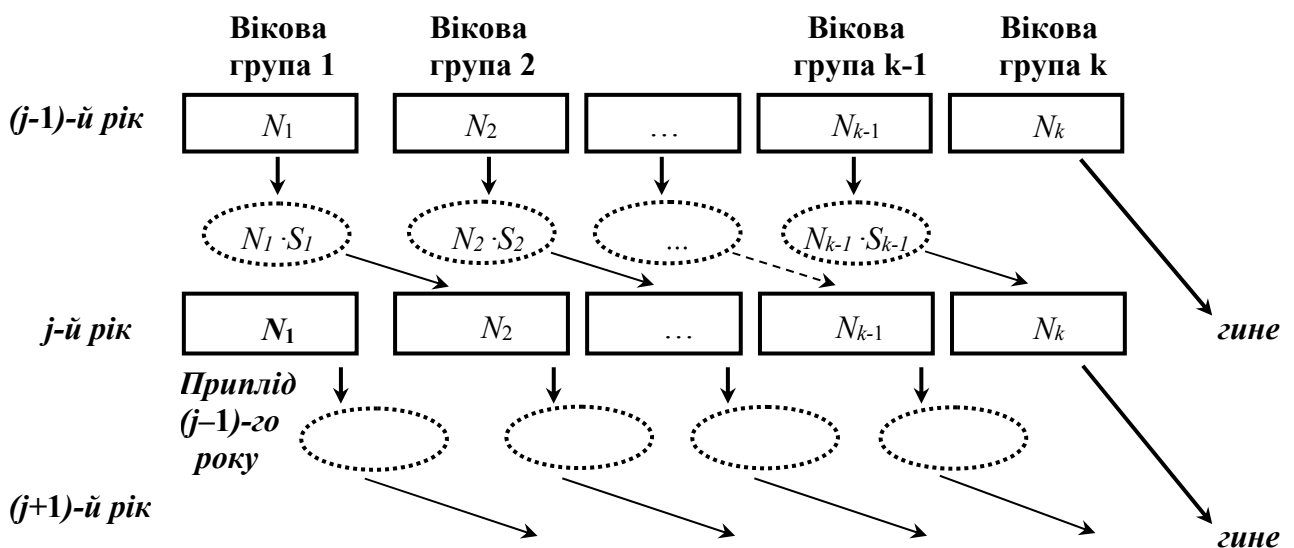


Рис. 4

*Зауваження 3.* Коефіцієнти виживання  $S_i$  так само, як і коефіцієнти народжуваності  $B_i$ , повинні братися на основі багаторічних спостережень за популяціями певного виду. Їх значення є усередненими, оскільки для окремих індивідів вони дещо відрізняються і являють собою, строго кажучи, численну сукупність випадкових величин. Закономірності таких сукупностей вивчає спеціальна дисципліна – *математична статистика*.

Встановлено, наприклад, що для ящірок характерна зовсім слабка залежність  $S_i$  від  $i$ , тобто добре виконуються наближені рівності  $S_1 \approx S_2 \approx \dots$ ; спадання  $S_i$  з віком характерне для слонів та китів; максимум  $S_i$  для серединних

значень  $i$  відмічено у пінгвінів та корів; у край мале значення  $S_i$  для початкових значень  $i$  спостерігається у деяких видів риб, але при цьому у них достатньо велике значення  $B_i$  (Чому?).

Таким чином, вважаючи, що додатково задані значення  $S_1, \dots, S_k$ , знову розглянемо задачу розрахунку чисельності популяції в цілому і по окремих вікових групах через  $t$  років.

Практична реалізація зазначеного вдосконалення моделі потребує внесення відповідних змін у

#### **Алгоритм роботи з моделлю.**

п. 2: до вхідних даних додати  $S_1, \dots, S_6$ ;

п. 4.2  $N_{j2}=N_{(j-1)1} \cdot S_1, \dots, N_{j6}=N_{(j-1)5} \cdot S_5$ .

#### **Практична задача.**

Проведемо вивчення динаміки чисельності популяції за поліпшеною моделлю на прикладі практичної задачі.

**Задача.** У тваринницькому господарстві займаються вирощуванням великої рогатої худоби за такою стратегією:

1.1. Основну масу тварин у стаді складають корови, тобто продуктивна частина популяції.

1.2. Із щорічного приплоду видаляють бичків, яких у подальшому утримують окремо від основного стада і після першого року життя вибраковують на м'ясо, тобто однорічні бички утворюють одну із складових частин м'ясної продукції господарства.

1.3. Другу частину м'ясної продукції складають корови, які внаслідок зниження молочної продуктивності також вибраковуються на м'ясо (вилучаються із стада). В моделі Леслі це відповідає штучному досягненню ними  $k$ -річного віку. Нехай для визначеності  $k=6$ . Це значення дещо занижене проти реального (7-8 років) і приймається таким лише з міркувань зменшення трудомісткості при роботі з моделлю. Як далі стане зрозуміло, на результатах нашого дослідження суттєво це не позначиться.

1.4. Умови утримання худоби забезпечують продуктивність та вижи-

вання тварин на гарному рівні.

3. Господарство збирається придбати і у подальшому розводити нову, більш продуктивну породу корів. Існує можливість придбати 20 тварин будь-якої з  $k$  вікових груп. При цьому вартість тварини пропорційна її молочній продуктивності.

*Тварин якої вікової групи найбільш доцільно придбати, щоб забезпечити максимальну чисельність стада через 10 років?*

### ***Постановка задачі.***

Очевидно, що сформульована у такий спосіб задача не має прямого відношення до моделі Леслі, оскільки в її умові відсутні основні параметри моделі – коефіцієнти народжуваності  $B_i$  і виживання  $S_i$ . Проте відома одна, на перший погляд, малозначуща деталь – біологічний вид тварин. Насправді, як ми побачимо, цього факту цілком достатньо, щоб побудувати модель і тим самим довести розв’язання до кінця, тобто одержати відповідь.

По-перше, з практичних спостережень відомо, що для корів молочна продуктивність із віком спочатку деякий час зростає, а далі спадає; схожим способом (і це принципово важливо!) поведуть себе і коефіцієнти виживання  $S_i$ . Отже, між молочною продуктивністю і коефіцієнтами виживання існує деякий, можливо і глибоко прихований, зв’язок. Такий зв’язок між величинами, що суттєво ускладнюється наявністю випадкових факторів, на відміну від функціонального, називають статистичним або кореляцією. Якщо такий зв’язок існує, то говорять, що величини корелюють між собою. У даному випадку молочна продуктивність корелює із коефіцієнтами виживання, тобто за зміною у часі коефіцієнтів виживання можна судити про відповідну зміну молочної продуктивності. Орієнтовні значення цих коефіцієнтів не складно уточнити у бесідах з фахівцями – зоотехніками тваринницьких ферм. Напевно відомо лише, що  $S_6=0$  у відповідності до п. 1.3 умови.

По-друге, навряд чи викличуть серйозні заперечення такі припущення:

- група, яку збираються придбати, складатиметься лише з корів;
- кожна з тварин протягом року дає приплід, рівний 1;

- тварини першого року життя не здатні до відтворення, тобто  $B_1=0$ ;
- в загальному річному приплоді кількість тварин обох статей з достатнім ступенем точності вважатимемо розподіленою порівну.

Тоді, у відповідності до п. 1.2 в умові задачі, коефіцієнти розмноження для всіх вікових груп, окрім першої, слід прийняти однаковими:

$$B_2=B_3=B_4=B_5=B_6=0,5.$$

*Переформулюємо умову задачі в термінах моделі Леслі:*

Вважаючи заданими

1) механізм розподілу популяції за віковими групами при переході у наступний рік (рис. 4);

2)  $k$  – максимальний вік особин;

3)  $N_{0i}$  – початкову чисельність популяції, що одночасно є будь-якою  $i$ -ю із  $k$  вікових груп;

4)  $B_1=0, B_2=B_3=\dots=B_k=0,5$  – коефіцієнти народжуваності для відповідних вікових груп;

5)  $S_1, S_2, \dots, S_{k-1}, S_k=0$  – коефіцієнти виживання для відповідних вікових груп,

*визначити таке значення  $k$ , при якому загальна чисельність популяції на протязі наступних  $t=10$  років була б максимальною ( $k, N_{0i}, t$  – натуральні,  $\{B_2, \dots, B_k\} > 0, 1 > \{S_1, \dots, S_{k-1}\} > 0$ ).*

### **Обчислювальний експеримент**

1. На перший погляд видається, що доцільніше придбати самих життєстійких та самих продуктивних тварин, тобто тварин четвертої вікової групи.

Перевіримо на моделі таке рішення. Введемо до таблиці такі вхідні дані:

$$N_{01}=N_{02}=N_{03}=N_{05}=N_{06}=0; N_{04}=20;$$

$$B_1=0, B_2=B_3=B_4=B_5=B_6=0,5;$$

$$S_1=0,95; S_2=0,96; S_3=0,97; S_4=0,98; S_5=0,96; S_6=0$$

і виконаємо копіювання третього рядка у решту 11 рядків.

При цьому значення загальної чисельності тварин через 10 років виявляється рівним 163 (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>		
2	<i>0</i>	0	0	0	20	0	0	20	<i>Початк. чисельн.</i>		
3	<i>1</i>	10	0	0	0	20	0	30	$N_{01}=0$		
4	<i>2</i>	10	10	0	0	0	19	38	$N_{02}=0$		
5	<i>3</i>	14	9	9	0	0	0	33	$N_{03}=0$		
6	<i>4</i>	9	13	9	9	0	0	40	$N_{04}=20$		
7	<i>5</i>	16	9	13	9	9	0	55	$N_{05}=0$		
8	<i>6</i>	20	15	8	13	8	8	72	$N_{06}=0$		
9	<i>7</i>	26	19	14	8	12	8	88	<i>Коефіцієнти</i>		
10	<i>8</i>	31	25	18	14	8	12	107	<i>народжуваності:</i>		
11	<i>9</i>	38	29	24	17	14	8	130	$B_1=0$		
12	<i>10</i>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>163</b>	$B_2=0,5$		
13	<i>11</i>	59	44	35	27	23	16	203	$B_3=0,5$		
14	<i>12</i>	72	56	42	34	27	22	252	$B_4=0,5$		
15									$B_5=0,5$		
16									$B_6=0,5$		
17									<i>виживання:</i>		
18									$S_1=0,95$		
19									$S_2=0,96$		
20									$S_3=0,97$		
21									$S_4=0,98$		
22									$S_5=0,96$		
23									$S_6=0$		

Рис. 5.

2. Дотримуючись головного принципу моделювання «А що відбудеться, якщо...?», подивимось, як відреагує наша модель на інше рішення: придбати 20 тварин третьої вікової групи.

Після введення нових даних ( $N_{03}=20$ ;  $N_{04}=0$ ) дещо несподівано одержуємо більше значення загальної чисельності тварин через зазначений час – 194.

3. Не заглиблюючись поки що у причини цього факту, спробуємо провести експеримент з тваринами другої вікової групи. Результат ще вищий – 220!

Спроби ж експериментування з тваринами першої, п'ятої та шостої вікових груп приводять до помітно менших результатів:

по першій – 170; по п'ятій – 121; по шостій – 68.

5. Щоб дослідити по роках кількість голів скота, що йде у м'ясну продукцію, виконайте наступне

*Вправа 4.*

1) після стовпця «Разом» вставте у таблицю ще один стовпець «До продажу»;

2) доведіть, що до комірок нового стовпця потраплятимуть суми  $N_{1j} + N_{6j}$ .

У випадку утруднення скористайтеся наступними міркуваннями. Значення у комірках цього стовпця згідно умови задачі треба обчислювати, додаючи річний приплід бичків до числа корів останньої (6-ї) вікової групи  $N_{6j}$ . Оскільки весь річний приплід ділиться пополам, то кількість бичків у ньому дорівнює кількості телиць, тобто  $N_{1j}$ .

3) переконайтеся, що значення чисельності у цьому стовпці добре узгоджується з результатами дослідження за пп. 1-4, що додатково підтверджує правильність прийнятого рішення про придбання продуктивних тварин саме другої вікової групи. В цьому разі м'ясна продукція господарства так само, як і продуктивне поголів'я, буде максимально можливою.

### ***Аналіз результатів обчислювального експерименту.***

1. Насамперед, дамо пояснення тому результату, що найбільш ефективним є придбання тварин другого року життя. Суть в тому, що тварини цього віку вже здатні до відтворення і при цьому проходять найдовший (по відношенню до решти вікових груп) життєвий шлях. Проте слід підкреслити, що виявлений нами факт заздалегідь передбачити значно складніше (він не такий вже й очевидний), ніж при застосуванні даної моделі. Отже, у відповідності до сформульованих у моделі припущень *максимально вигідним виявляється придбання найбільш молодих тварин, здатних до відтворення.*

2. Маючи реальні коефіцієнти, можна оцінити, у скільки разів це рішення вигідніше за інші. Для цього слід обчислити вираз  $B_2 S_2 / B_i S_i$  ( $k \geq i > 2$ ).

3. Після обрання оптимальної стратегії господарство стикається з проблемою визначення максимально можливої для утримання кількості тварин. В даному випадку ця кількість дорівнює 220. Якщо господарство здатне утримувати таку кількість, воно її залишає. Але через рік кількість тварин збільшиться. У такій ситуації найпростішою стратегією буде вилучення надлишкових особин з кожної вікової групи і забезпечення початку кожного наступного року з тим розподілом, що мав місце наприкінці 9-го року (рис. 6). Вилучені

тварини можуть бути реалізовані або через продаж іншим господарствам для подальшого розведення, або йти на збільшення власної м'ясної продукції.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>		
2	<i>0</i>	0	20	0	0	0	0	20	<i>Початк. чисельн.</i>		
3	<i>1</i>	10	0	19	0	0	0	29	$N_{01} =$	0	
4	<i>2</i>	10	10	0	19	0	0	38	$N_{02} =$	20	
5	<i>3</i>	14	9	9	0	18	0	51	$N_{03} =$	0	
6	<i>4</i>	18	13	9	9	0	18	67	$N_{04} =$	0	
7	<i>5</i>	24	17	13	8	9	0	72	$N_{05} =$	0	
8	<i>6</i>	24	23	17	12	8	8	92	$N_{06} =$	0	
9	<i>7</i>	34	22	22	16	12	8	115	<i>Коефіцієнти</i>		
10	<i>8</i>	40	33	22	21	16	12	144	<i>народжуваності:</i>		
11	<i>9</i>	52	38	31	21	21	15	179	$B_1 =$	0	
12	<i>10</i>	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>220</b>	$B_2 =$	0,5	
13		52	38	31	21	21	15	179	$B_3 =$	0,5	
14	<i>11</i>	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>220</b>	$B_4 =$	0,5	
15	<i>12</i>								$B_5 =$	0,5	
16	<i>13</i>								$B_6 =$	0,5	
17	<i>14</i>								<i>виживання:</i>		
18	<i>15</i>								$S_1 =$	0,95	
19	<i>16</i>								$S_2 =$	0,96	
20	<i>17</i>								$S_3 =$	0,97	
21	<i>18</i>								$S_4 =$	0,98	
22	<i>19</i>								$S_5 =$	0,96	
23	<i>20</i>								$S_6 =$	0	

Рис. 6

*Вправа 5.* Дайте відповіді на наступні питання.

1. За допомогою моделі з'ясуйте, скільки «зайвих» тварин і з яких саме вікових груп треба буде вилучити наступного року.

2. Як ви можете пояснити коливання чисельностей кожної вікової групи і загальної чисельності популяції на перших етапах? Чи можна стверджувати, що ці коливання обумовлені поганим доглядом за тваринами?

3. Кожна наступна версія моделі є більш загальною і повинна містити у собі попередню як окремий випадок. За якої умови ця модель перетворюється на попередню? Перевірте свою відповідь за допомогою відповідної таблиці.

Обмеження чисельності тварин, про яке щойно йшлося, є штучним. Які ж обмеження можуть мати місце в природних умовах, тобто для вільних популяцій? Про це – у наступній частині.

### III. МОДЕЛЬ ЛЕСЛІ З ПРИРОДНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ.

Припустимо, що коли на кінець року чисельність вільної популяції виявляється більшою за деяке фіксоване число  $L$ , то внаслідок надмірно великого скупчення особин коефіцієнти виживання  $B_i$  у наступному році зменшуються у  $Q$  разів. Причиною зменшення коефіцієнтів виживання, зокрема, може стати загострення конкуренції за їжу та простір (як результат обмеженості ареалу, на якому мешкає популяція) або епізоотія (епідемія у тварин), що призведе до збільшення смертності.

Вважаючи  $L$  і  $Q$  заданими ( $L$  – натуральне;  $Q > 1$ ), знов повернемося до задачі розрахунку загальної чисельності популяції через  $t$  років.

У зв'язку із змінами, що їх зазнала модель, є необхідність відповідним чином змінити й

#### Алгоритм роботи з моделлю

п. 2: до вхідних даних додати натуральне число  $L$  і додатне  $Q > 1$ ;

п. 4.2: для визначення моменту зміни коефіцієнтів виживання треба перевіряти, чи перевищує загальна чисельність популяції  $N_{j-1}$  на кінець попереднього  $(j-1)$ -го року значення параметру  $L$ . Якщо це так, то замість коефіцієнтів виживання  $B_i$  будемо використовувати вирази  $B_i/Q$ :

якщо  $N_{j-1} \geq L$   
то поділити  $B_i$  на  $Q$   
інакше поділити  $B_i$  на 1

все

Наприклад, комірка C3 обчислюватиметься так:

=B2\*\$J\$18/ЕСЛИ(H2>\$J\$2;\$J\$3;1)

#### Обчислювальний експеримент

Введемо початкові дані (стовпець «Дано:»):

- нехай, як і раніше, кількість вікових груп  $k=6$ ;
- початкові чисельності у вікових групах  $N_{0i}$  нехай будуть рівними

$$N_{01}=11, N_{02}=12, N_{03}=13, N_{04}=10, N_{05}=14, N_{06}=5;$$

- коефіцієнти народжуваності  $B_i$  довільно розподілимо у такий спосіб:

$$B_1=0, B_2=0,74; B_3=0,75; B_4=0,8; B_5=0,7; B_6=0,6;$$



- коефіцієнти виживання прийемо рівними

$$S_1=0,7; S_2=0,75; S_3=0,8; S_4=0,9; S_5=0,7; S_6=0;$$

- покладемо параметри  $L=70$ , а  $Q=2$ .

Виконавши копіювання третього рядка у наступні 22 рядки, приступимо до вивчення одержаної таблиці (рис. 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<i>Рік (j)</i>	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	<i>Разом</i>	<i>Дано:</i>	
2	<i>0</i>	11	12	13	10	14	5	65	<i>Початк. чисельн.</i>	
3	<i>1</i>	39	8	9	10	9	10	85	$N_{01}=11$	
4	<i>2</i>	33	14	3	4	5	3	61	$N_{02}=12$	
5	<i>3</i>	20	23	10	2	3	3	62	$N_{03}=13$	
6	<i>4</i>	30	14	17	8	2	2	73	$N_{04}=10$	
7	<i>5</i>	32	10	5	7	4	1	59	$N_{05}=14$	
8	<i>6</i>	20	22	8	4	6	3	63	$N_{06}=5$	
9	<i>7</i>	31	14	17	6	4	4	75	<i>Коефіцієнти</i>	
10	<i>8</i>	32	11	5	7	3	1	59	<i>народжуваності:</i>	
11	<i>9</i>	19	23	8	4	6	2	62	$B_1=0$	
12	<i>10</i>	31	14	17	6	4	4	76	$B_2=0,7$	
13	<i>11</i>	33	11	5	7	3	1	59	$B_3=0,75$	
14	<i>12</i>	20	23	8	4	6	2	63	$B_4=0,8$	
15	<i>13</i>	31	14	17	6	4	4	76	$B_5=0,7$	
16	<i>14</i>	33	11	5	7	3	1	60	$B_6=0,6$	
17	<i>15</i>	20	23	8	4	6	2	63	<i>виживання:</i>	
18	<i>16</i>	31	14	17	6	4	4	76	$S_1=0,7$	
19	<i>17</i>	33	11	5	7	3	1	60	$S_2=0,75$	
20	<i>18</i>	20	23	8	4	6	2	63	$S_3=0,8$	
21	<i>19</i>	31	14	17	6	4	4	77	$S_4=0,9$	
22	<i>20</i>	33	11	5	7	3	1	60	$S_5=0,7$	
23	<i>21</i>	20	23	8	4	6	2	64	$S_6=0$	
24	<i>22</i>	31	14	17	7	4	4	77	$L=70$	
25	<i>23</i>	33	11	5	7	3	1	60	$Q=2$	

Рис. 7.

1. Аналіз таблиці дає можливість побачити, що після чергового виконання умови  $N_{j-1} \geq L$  з точністю до одиниці відбувається повторення значень чисельностей у кожній віковій групі і у популяції в цілому, до того ж ці повторення мають періодичний характер. При заданих вище параметрах період коливань становить 3 одиниці часу. Це означає, що саме через такий строк повинно відбуватися відновлення загальної чисельності та чисельності у окремих вікових групах.

Наочне підтвердження щойно зазначених закономірностей можна одержати, якщо вивести на екран відповідні графіки. На рис. 8 подано графік залежності загальної чисельності від часу, з якого добре видно, що ці періодичні коливання є до того ж пілкоподібними.

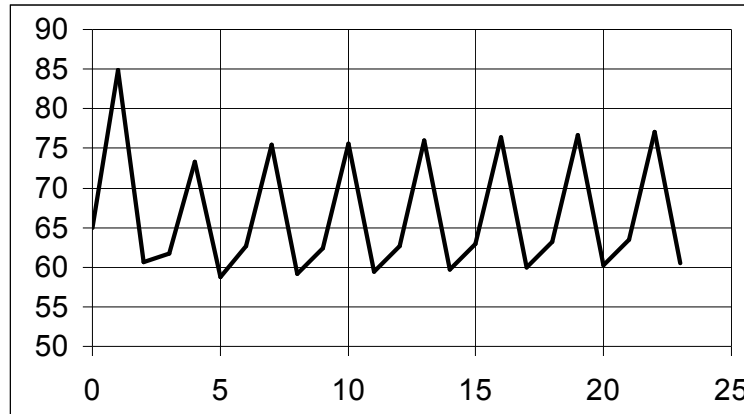


Рис. 8.

3. Уважно розглядаючи графік на рис. 8, можна помітити тенденцію до повільного зростання відповідних чисельностей у кожному наступному періоді. З метою дослідження цієї тенденції збільшимо час моделювання на порядок і виведемо на екран графік динаміки загальної чисельності особин (рис. 9):

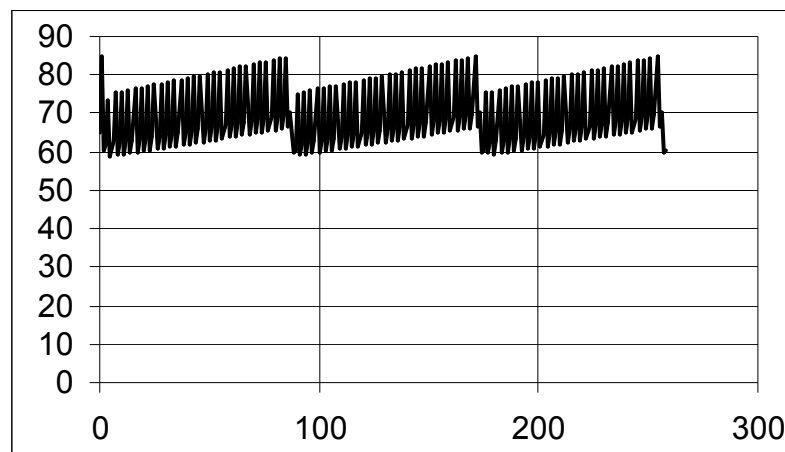


Рис. 9.

Несподіваний результат! Виявляється, що окрім короткочасного трирічного періоду досліджувана система має ще й довготривалий період.

*Вправа 6.*

1. Із графіка видно, що тривалість цього періоду становить 83. Встановіть за таблицею його значення.

2. Чи впливають значення параметрів  $Q$  і  $L$  на тривалість обох цих періодів, і якщо так, то як саме? Відповідь на це питання потребує спеціального теоретичного дослідження. Тут або потрібна ідея, або... якби ми знали цю відповідь заздалегідь, нам було б легше виконати (придумати) доведення.

То ж спробуємо одержати відповідь, виконуючи обчислювальний (комп'ютерний) експеримент. Він буде полягати у спостереженні результатів при варіюванні значень параметрів  $Q$  і  $L$ . При виконанні такої процедури слід мати на увазі, що змінювати ці параметри треба по черзі: один міняємо, а решту (якщо їх більше двох) залишаємо незмінними. Дослідження можна виконувати або шляхом послідовного перегляду комірок стовпця "Разом" і фіксування моментів появи максимальних значень, або ж фіксуванням цих моментів на графіках. Спробуйте обидва способи і оберіть для себе більш зручний.

### 2.1. Почнемо з короткого періоду.

УМОВИ	$L$	$T_{кор}$	<i>Короткий період не залежить від <math>L</math></i>
$j=26$	70	3	
$Q=2$	50	3	
<b>(const)</b>	90	3	

УМОВИ	$Q$	$T_{кор}$	<i>Короткий період залежить від <math>Q</math></i>
$j=60$	2	3	
$L=90$	1.5	11	
<b>(const)</b>	3	21	

### 2.2. Аналогічно досліджуємо довгий період.

УМОВИ	$L$	$T_{довг}$	<i>Довгий період не залежить від <math>L</math></i>
$j=260$	70	$\approx 84$	
$Q=2$	50	$\approx 84$	
<b>(const)</b>	90	$\approx 84$	

УМОВИ	$Q$	$T_{довг}$	<i>Довгий період залежить від <math>Q</math></i>
$j=260$	2	$\approx 84$	
$L=90$	1.5	90	
<b>(const)</b>	3	21	

2.3. Як короткий, так і довгий періоди залежать лише від дільника  $Q$  і не залежать від обмежувача  $L$ .

2.4. Навряд чи такий висновок ми змогли б зробити так швидко, не виконуючи обчислювальний експеримент. Однак отримані результати все одно

треба пояснити. Справа частково полегшується тим, що тепер вони нам вже відомі.

Дамо спочатку пояснення для короткого періоду (рис. 10). Виконаємо це у два етапа: спочатку доведемо, що за наявності зазначеного вище механізму обмежень функція  $N_j=N(j)$  є періодичною, а далі обговоримо питання про зв'язок короткого періоду з параметрами  $L$  та  $Q$ .

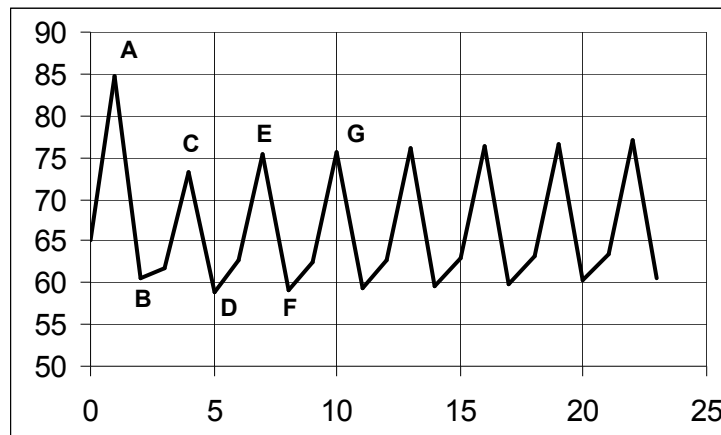


Рис. 10.

Отже, ми маємо деяку складну функцію  $N_j=N(j)$ , яка за відсутності обмежень, починаючи із деякого значення  $j^*$  монотонно зростає (рис. 3б). При наявності обмежень (рис. 10) відбувається таке: як тільки при деякому новому значенні лічильника  $j_{\text{граничне}} > j^*$  виконується умова обмеження  $N_j > L$  (т. А), одразу ж при наступному його значенні ( $j_{\text{гр}}+1$ ) величина  $N_{j+1}$ , яка дещо перебільшувала  $L$ , зменшується в  $Q$  разів (т. В):

$$N_{j+1} = N_{1(j+1)} + \sum_{i=2}^k \frac{N_{ji}}{Q}. \quad (\text{відкоментуйте!})$$

Після цього функція знов починає зростати до наступного виконання умови обмеження (т. С) і т.д. Оскільки від практично однакових початкових значень (точок В, D, F,...) функція змінюється за одним і тим самим (!) законом, то у моменти обмежень вона прийматиме практично однакові кінцеві значення (точки Е, G,...), а між цими моментами її значення будуть повторюватись. Це означає, що моменти обмежень наставатимуть через однакові інтервали значень лічильника  $j$ . Тривалість такого інтервалу і визначає короткий період коливань

$T_{кор}$ . Таким чином, функція  $N_j=N(j)$  дійсно є періодичною.

*Примітка.* Принагідно зазначимо, що протягом інтервалу від  $j=0$  до  $j=j_A$ , (а точніше,  $j=j_C$ ) біологічна система виходить на режим періодичних коливань. Такі процеси широко відомі не тільки для біологічних, а й для механічних, електричних та інших коливних систем. У загальній теорії коливних систем такі процеси називають перехідними.

Збільшення (зменшення) параметра  $L$  приводить до збільшення (зменшення) тривалості перехідного процесу: точка А і всі решта позначених на рис. 10 точок, зсуваються праворуч (ліворуч), але відстані між ними, а отже і період  $T_{кор}$ , залишаються попередніми. Це легко бачити, аналізуючи відповідні графіки при заповненні першої таблиці у п. 2.1. Таким чином, короткий період не залежить від обмежувача  $L$ .

Зміна параметра  $Q$  впливає на процес у більш складний спосіб, оскільки чисельності  $N_{ji}$ , в кожній віковій групі, а отже і загальна чисельність  $N_j$  визначаються не тільки ним, а ще й коефіцієнтами  $B_i$  та  $S_i$ . Тут не можна однозначно стверджувати, що із зростанням  $Q$  короткий період буде зменшуватися чи зростати, але змінюватися він буде напевно, що й ілюструє друга таблиця в п. 2.1.

Довгий період  $T_{довг}$  повинен містити в собі практично цілу кількість коротких, а тому залежність його від параметрів  $Q$  і  $L$  має такий самий характер, що й у короткого. Цей факт унаочнюється обома таблицями в п. 2.2.

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження не є повними і вичерпними, тому що в них не розглянуто, який вплив на періодичність процесу чинять коефіцієнти  $B_i$  та  $S_i$ , а також, можливо, і початкові чисельності  $N_{0i}$ . Та погодьтесь, цього вже, мабуть, забагато.

## **ВИСНОВКИ**

1. Модель Леслі дозволяє зазирнути у внутрішнє життя популяції лише в моменти зміни репродуктивних циклів і нічого не повідомляє про поступові

зміни чисельності, що відбуваються впродовж циклу, оскільки в ній закладено *фіксований* часовий інтервал. Тривалість його нами обрана за природою. Працюючи з моделлю, ми уподібнюємося до клієнта ощадного банку: якщо коефіцієнт приросту капіталу розраховано ощадним банком на місяць, то банк виконує перерахування лише з періодом у 1 місяць, оскільки інтервал часу тут також іде від реальності. Саме тому ця модель і подібні до неї належить до класу *дискретних моделей*.

2. М'ясо-молочне стадо, яке вивчається в задачі, стосовно м'ясної продукції є відновлюваним ресурсом. Розв'язання задачі звелось до пошуку оптимальної стратегії промислового використання цього ресурсу, що становить одну з актуальних проблем сучасної популяційної екології.

3. Дві перші версії моделі Леслі не мали внутрішнього механізму обмеження чисельності. І хоч такий механізм, реалізований у третій версії, є найпростішим, однак його запровадження дозволяє врахувати фактор обмеженості ресурсів середовища.

4. Розглянутий у задачі механізм підтримання загальної чисельності на сталому рівні щороку забезпечує рівновагу кількісного та якісного розподілу тварин за віковими групами. Фактично це механізм регулювання із негативним зворотним зв'язком: видалення тварин відбувається не за жорстким планом «згори», а у залежності від їх наявної кількості. Таким самим є і механізм природного обмеження для вільної популяції. Пригадайте: схожа ситуація нами вже була досліджена у попередній главі при вивченні удосконаленої моделі промислового рибальства. Таким чином, механізм саморегулювання будь-якої системи повинен працювати за принципом негативного зворотного зв'язку.

5. Факт існування довгострокового періоду виявився непередбаченим. Проте виявити його вдалося досить швидко лише завдяки виконанню обчислювального експерименту саме на комп'ютері. При цьому істотну роль відіграли можливості *графічного* подання інформації – адже перегляд таблиці у кілька

сотень рядків навряд чи дозволив би встановити це так просто навіть із застосуванням комп'ютера.

6. Чи можна на практиці скористатися результатами проведеного дослідження? Відповідь на це питання можуть дати лише фахівці. Їм вирішувати, що краще: протягом десятиліть проводити натурні експерименти чи скористатися прогнозом, одержаним на основі моделі. Основне утруднення тут полягає у тому, щоб виявити, наскільки обґрунтовані припущення, покладені в основу моделі, наскільки сама модель є несуперечливою і, головне, наскільки вона є адекватною досліджуваному об'єкту.

7. Строго кажучи, розглянуту модель можна було б вивчити і без комп'ютера, а набагато простішими засобами: з олівцем і папером, рахівницею, арифмометром, калькулятором тощо. Не говорячи вже про безмірну витрату часу, навряд чи хто погодився б сьогодні на таку одноманітну, нецікаву і стомлюючу роботу, що коротко зветься рутинною роботою. Лише сучасні інформаційні (комп'ютерні) технології призвели до того, що робота, яку в докомп'ютерний період протягом років виконували колективи кваліфікованих обчислювачів, сьогодні за лічені хвилини виконується школярами.

## ІМІТАЦІЙНА СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

**Задача.** На виробничій дільниці було помічено, що простоювання обладнання найчастіше відбувається внаслідок виходу з ладу одного з чотирьох потужних транзисторів, що входять до електронного пристрою керування. При відмові транзистора одразу ж вживаються заходи щодо його заміни. На виклик механіка, виявлення несправного транзистора та його заміну звичайно витрачається біля 1 год. (Протягом цього часу, зрозуміло, дільниця продукцію не випускає). Будемо вважати, що за кожну годину простоювання обладнання підприємство втрачає 100 грн., а вартість одного транзистора приймемо рівною 5 грн. Якщо обладнання експлуатується у дві зміни, то за умови, що зміна триває 8 годин, а в одному році 52 тижні по 5 робочих днів, час моделювання становитиме  $2 \cdot 8 \cdot 52 \cdot 5 \approx 4200$  год. на рік.

*Необхідно визначити збитки, що їх несе підприємство внаслідок відмови системи керування та відшукати шляхи їх зменшення.*

Строки безвідмовної роботи кожного з транзисторів (і відповідно час виходу їх з ладу) являють собою випадкові величини  $i$ , отже, використання будь-яких точних формул тут виявляється беззмістовним. Для аналізу проблеми доцільно скористатися імітаційним моделюванням і для розігрування означених вище випадкових величин застосувати метод Монте-Карло.

При моделюванні випадкових величин необхідно знати їх *реальний* розподіл, який визначають на основі дослідних даних, одержаних шляхом здійснення спеціально спланованих натурних експериментів. В одному з таких експериментів наведено дані про випробування великої партії (500 шт.) транзисторів необхідного типу і встановлено розподіл строків безперервної роботи окремих екземплярів (реєстрація велася з кроком  $h=200$  год. неперервної роботи).



### Комп'ютерне моделювання в електронних таблицях.

1. Створимо таблицю згідно результатів цього випробування.

Умова

	A	B	C	D	E	F	G	
1	<b>Імітаційне моделювання (задача управління)</b>							
2	<b>Дано:</b>							
3	Втрати від 1 год. простою обладнання, грн. -					100		
4	Вартість 1 транзистора, грн. -					5		
5	Кількість випробуваних транзисторів, N -					500		
6	Крок нарощування часу, год., h -					200		

Таблиця 1

	A	B	C	D	E	F	G
9			<b>Години роботи</b>		<b>Відмов</b>	<b>Разом</b>	<b>Відносна</b>
10							<b>частота</b>
11			<b>від</b>	<b>до</b>			<b>відмов</b>
12		0	0	200	0	0	0,000
13		1	201	400	4	4	0,008
14		2	401	600	41	45	0,090
15		3	601	800	92	137	0,274
16		4	801	1000	173	310	0,620
17		5	1001	1200	151	461	0,922
18		6	1201	1400	35	496	0,992
19		7	1401	1600	4	500	1,000
20		<b>i</b>		<b>x<sub>i</sub></b>	<b>n<sub>i</sub></b>		<b>y<sub>i</sub></b>

Розподіл строків безвідмовної роботи транзисторів.

З таблиці видно, що реальні строки безвідмовної роботи можуть набувати значень від 200 до 1600 год.

2. За даними таблиці побудуємо криву розподілу відносних частот (ймовірностей) відмов транзисторів (рис. 1). На вісі абсцис будемо відкладати значення моментів виходу з ладу (стовпець C), а на вісі ординат – відносні частоти відмов (стовпець F).

Засобами електронних таблиць ламану лінію графіка можна згладити, проте для спрощення подальшої роботи ми залишимо саме ламану, оскільки від зазначеного методу не вимагається висока точність.

2. За даними таблиці побудуємо криву розподілу відносних частот (ймовірностей) відмов транзисторів (рис. 1). На вісі абсцис будемо відкладати зна-

чення моментів виходу з ладу (стовпець С), а на вісі ординат – відносні частоти відмов (стовпець F) за таблицею 1.

Засобами електронних таблиць ламану лінію графіка можна згладити, проте для спрощення подальшої роботи ми залишимо саме ламану, оскільки від зазначеного методу не вимагається висока точність.

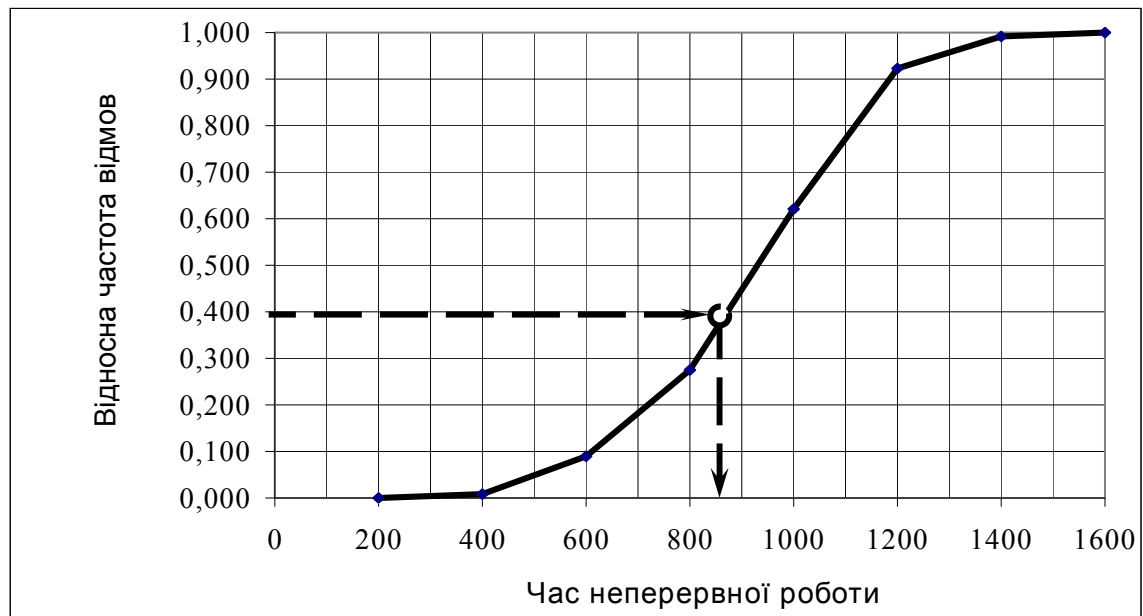


Рис. 1.

У безкомп'ютерному варіанті звичайно діють так:

3.1. Криву розподілу креслять на аркуші міліметрового паперу достатньо великого розміру, а випадкові числа беруть із спеціальних таблиць.

3.2. Від точки на вісі ординат, яка відповідає випадковому числу, проводять горизонтальну лінію до перетину з кривою розподілу.

3.3. З цієї точки опускають перпендикуляр на вісь абсцис і одержане там число приймають за розіграну випадкову величину із законом розподілу, що відповідає експериментальним даним.

3.4. Кроки 3.2. і 3.3 повторюють для всіх випадкових чисел у порядку їх отримання до тих пір, поки сумарна тривалість роботи кожного транзистора з урахуванням всіх заміन не стане більшою за 4200 год.

4. З метою автоматизувати цю роботу проведемо такі міркування:

Кожен із семи елементів ламаної є відрізком прямої, що проходить через три точки згідно рівняння

$$\frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i} = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, 7) \quad (1)$$

де  $x_i, y_i, x_{i+1}, y_{i+1}$  – координати початку та кінця відрізка відповідно;

$x, y$  – поточні координати  $x \in [x_i; x_{i+1}], y \in [y_i; y_{i+1}]$ .

Розв'язуючи рівняння (1) відносно  $x$ , одержимо:

$$x = \frac{y - y_i}{k_i} + x_i, \quad (k_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \text{кутовий коефіцієнт}) \quad (2)$$

Таким чином, маючи кутові коефіцієнти  $k_i$  та обираючи у якості змінної  $y$  рівномірно розподілені випадкові числа з інтервалу  $[0; 1]$ , за допомогою (2) ми можемо знайти відповідні значення змінної  $x$  – часів безвідмовної роботи обладнання.

Проте слід зробити *суттєве зауваження* щодо вибору номера потрібного відрізка, а, отже, й вибору одного з можливих значень  $k_i, x_i$  та пари  $y_{i+1}$  і  $y_i$ :

*кожного разу, одержуючи випадкове число  $y$ , ми повинні перевіряти, якому інтервалу з Таблиці 1 воно належить.*

4. Створимо дві допоміжні таблиці, у яких розмістимо значення кутових коефіцієнтів  $k_i$  (таблиця 2) та випадкових чисел  $y$  (таблиця 3):

Таблиця 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
42		$i$	$k_i$			$1-\tilde{y}$	$2-\tilde{y}$	$3-\tilde{y}$	$4-\tilde{y}$
43		0	0,00000			0,212	0,385	0,542	0,890
44		1	0,00004			0,202	0,820	0,198	0,594
45		2	0,00041			0,134	0,367	0,567	0,714
46		3	0,00092			0,381	0,353	0,342	0,825
47		4	0,00173			0,159	0,085	0,593	0,678
48		5	0,00151			0,113	0,991	0,303	0,007
49		6	0,00035			0,280	0,074	0,527	0,815
50		7	0,00004			0,182	0,403	0,139	0,172

Таблиця 3

Визначення

кутових коефіцієнтів  $k_i$   
 $k_i = (y_{i+1} - y_i) / h = n_i / h / N$

Випадкові числа

Тепер можна моделювати час, через який відбуватимуться відмови обладнання з вини цих транзисторів на протязі року

*Зауваження.* Від цього моменту і надалі для зручності роботи бажано перейти на ручне управління перерахунком таблиці.

Таблиця 4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
54	№ заміни	1-й транзистор		2-й транзистор		3-й транзистор		4-й транзистор	
55		Години роботи	Всього годин	Години роботи	Всього годин	Години роботи	Всього годин	Години роботи	Всього годин
56									
57		0	733	733	864	864	955	955	1179
58	1	722	1455	1133	1997	717	1672	985	2164
59	2	648	2103	854	2850	969	2641	1062	3226
60	3	862	2964	846	3696	839	3481	1136	4361
61	4	675	3639	589	4285	985	4465	1038	0
62	5	625	4264	1398	0	817	0	364	0
63	6	803	0	560	0	946	0	1129	0
64	7	700	0	874	0	653	0	689	0

*Коментарі.*

Для кожного з чотирьох транзисторів у других стовпцях зазначено загальний час роботи з урахуванням усіх виконаних замін.

З таблиці видно, що 4-й транзистор набере більше, ніж 4200 годин роботи вже після третьої заміни, 2-й і 3-й – після четвертої заміни, а 1-й доведеться міняти п'ять разів. Тільки після всіх цих замін загальний час роботи кожного транзистора перебільшить 4200 годин, тобто чергові відмови обладнання відбудуться вже у наступному році.

Для більшої наочності дані про моменти відмов для кожного транзистора подано на рис. 2 та у таблиці 5.

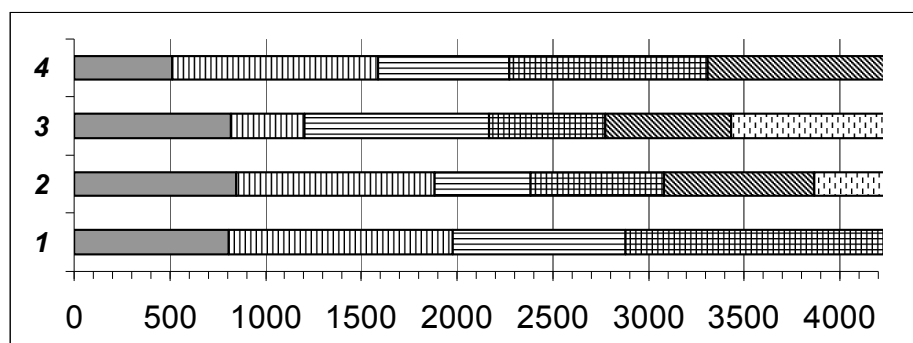


Рис.2. Календарний графік ремонтів.

Таблиця 5

	В	С	Д	Е	Ф	Г
67	№ транзистора		1	2	3	4
68	Кількість замін		5	4	4	3
69	разом:					16

## Кількість замін кожного з транзисторів

Таким чином, протягом року може відбутися 16 відмов і стільки ж транзисторів доведеться замінити. Отже, підрахуємо втрати:

від простоїв  $100 \times 16 = 1600$  грн.,

вартість транзисторів  $5 \times 16 = 80$  грн.;

разом – 1680 грн.

*Завдання.* Створіть фрагмент таблиці для автоматизованого підрахунку втрат за зразком:

Втрати від простоїв	
Вартість транзисторів	
Разом:	

7. Тепер з'ясуємо, чи можна так організувати обслуговування, аби зменшити час простоювання обладнання, тобто кількість ремонтів. Пропозиція про підвищення надійності транзисторів виключається: підприємство одержує їх готовими.

Проаналізуємо, що відбудеться, коли за кожної відмови деякого одного транзистора, механік буде міняти не лише дефектний, а одразу всі чотири, тобто весь блок. Результат такої операції заздалегідь передбачити складно, оскільки тепер заміна відбуватиметься після відмови чергового транзистора із самим коротким строком служби. Якщо вважати, що за нової системи обслуговування будуть використовуватися ті самі транзистори, або точніше, з тими самими строками служби, то з метою одержання необхідної інформації можна скористатися даними з таблиці 4. Однак тепер з неї треба брати відомості про строк безвідмовної роботи після 1-го, 2-го тощо ремонтів. Той транзистор, в якого цей строк після чергового ремонту буде найменшим, і визначатиме момент наступної відмови.

Одержані результати імітаційного моделювання зведено у таблицю 6, з якої видно, що за рік тепер відбудеться шість ремонтів. За тих самих умов обчислення втрат це складе: внаслідок простоїв –  $100 \times 6 = 600$  грн., вартість транзисторів  $5 \times (4 \times 6) = 120$  грн., а разом – 720 грн.

Отже, за нової системи обслуговування загальні втрати складатимуть 720 грн. проти 1680 грн., тобто *без будь-яких додаткових коштів, а виключно за рахунок іншої організації обслуговування втрати зменшаться більш, ніж у 2 рази*. Величина відношення втрат за попередньої організації обслуговування до втрат при новій його організації в даній задачі являє собою *критерій ефективності* запровадження нової стратегії управління виробництвом.

Таблиця 6

	В	С	Д	Е	Ф
88	<i>Кількість ремонтів за новою організацією</i>				
89	<i>обслуговування</i>				<b>6</b>
91	<i>№</i>	<i>№</i>	<i>Строк</i>	<i>Всього</i>	
92	<i>ремонту</i>	<i>транзистора</i>	<i>роботи</i>	<i>годин</i>	
93	0	1	804	804	
94	1	1	470	1274	
95	2	4	752	2026	
96	3	2	532	2559	
97	4	1	601	3160	
98	5	1	560	3719	
99	6	2	765	4484	
100	7	4	737	0	

*Завдання.* Аналогічне до попереднього.

8. Розігруючи описані ситуації (попередню й нову) достатню для статистичної обробки кількість разів, можна отримати усереднені результати, які лише підтверджуватимуть одержаний вище результат.

*Завдання.* Створіть окрему таблицю, до комірок якої внесіть 10–20 значень критерію ефективності і підрахуйте його середнє значення.

*Завдання.* Встановіть, при яких розцінках обидві стратегії обслуговування матимуть однакову ефективність.

### **Висновки**

1. Для побудови імітаційних стохастичних моделей на ЕОМ необхідно

мати можливість генерування випадкових (псевдовипадкових) чисел або рівномірно розподілених, або з певним законом розподілу. Практично всі сучасні мови програмування, в тому числі й мови електронних таблиць, мають для цього спеціальні стандартні функції.

2. На основі сукупності чисел, що відображують досліджуваний процес (строки безвідмовної роботи транзисторів), будують графік функції розподілу. Значення випадкової змінної звичайно відкладають на вісі абсцис, а значення відповідних ймовірностей – на вісі ординат.

3. Маючи рівномірно розподілені випадкові числа і експериментально встановлений закон розподілу випадкових величин (в даній задачі строків безвідмовної роботи транзисторів), на основі методу Монте-Карло визначають моменти відмов обладнання.

4. Одержану в результаті імітаційного моделювання інформацію використовують для дослідження операцій та оцінки їхньої ефективності.

5. Методи імітаційного моделювання дозволяють чітко відокремити рішення, що потенційно ведуть до успіху, від вибраних навмання, а тому, як правило, помилкових.

6. В результаті виконаної роботи стає зрозумілим, чому при відмовах сучасного складного електронного обладнання більш доцільною звичайно виявляється заміна окремого функціонального блоку, аніж заміна окремого його елемента. Справа не просто в економії часу, а й у економії витрат на ремонти.

## ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

(програма факультативного курсу)

### 1. Пояснювальна записка.

Внаслідок проведеної в останнє десятиліття інформатизації освіти було досягнуто такого рівня комп'ютерної грамотності, який дозволив перейти до широкого використання засобів обчислювальної техніки у вивченні різноманітних навчальних дисциплін (НІТН). У цьому процесі серед інших компонентів помітне місце посідає комп'ютерне моделювання, оскільки пізнання навколишнього світу (а отже й навчання як різновид пізнання) спирається у своїй основі саме на модельні уявлення і поза ними неможливе. Немає жодної науки, жодної галузі знань, де не займалися б моделюванням.

Моделювання взагалі і комп'ютерне моделювання зокрема здатне виконувати важливу гуманістичну функцію: саме можливість прогнозувати наслідки багатьох антропогенних факторів допомагає уникнути небажаних та небезпечних результатів навіть у глобальних масштабах (зміна клімату планети, “ядерна зима”, екологічні катастрофи тощо), а отже формувати зміст і стиль політичного мислення у сучасному світі.

Застосування методу моделювання у навчальному процесі – одна з актуальних проблем сучасної дидактики і відповідних методик. Адже сам процес формування знань пов'язаний з перетворенням у свідомості учня одних моделей у інші, які є похідними від перших, але точнішими, з більшим наближенням до абсолютної істини.

Розглядаючи моделювання у двох аспектах – як сучасний метод теоретичних досліджень та як об'єкт спеціального вивчення, сформулюємо основні концептуальні положення:

– комп'ютерне моделювання в школі ми розглядаємо як засіб, здатний сприяти формуванню умінь проаналізувати проблему і визначити, яку частину



її можна доручити ЕОМ, а яка вимагає людської інтуїції і здатності до прийняття рішення, а також уміння на кожному кроці розв'язання критично осмислити результати роботи і визначити адекватність цих результатів та обраних методів розв'язування;

– досвід практичного володіння навичками комп'ютерного моделювання забезпечує значно вищий рівень опанування основ наук, а відтак, розширює можливості розвитку творчих здібностей школярів та задоволення їх пізнавальних інтересів при роботі у конкретних предметних середовищах – навчальних дисциплінах;

– у навчально-виховному процесі моделювання відіграє важливу інтегруючу роль, виступаючи як фактор, що актуалізує міжпредметні зв'язки і створює реальну основу для єдиного підходу при вивченні найрізноманітніших явищ навколишньої дійсності;

– ні знання будови ЕОМ, ні вміння програмувати, ні безліч комп'ютерів не приведуть до підвищення продуктивності педагогічної та учбової праці, якщо вони не будуть ефективно використовуватися, якщо не буде спеціальних змістовних навчальних задач з практичною спрямованістю та якісних навчальних моделей;

– навіть проста, але вдало побудована модель, як правило, має дивну властивість: результати її вивчення можуть містити деякі нові знання про об'єкт.

Програму даного курсу та відповідний навчальний план його вивчення складено на основі авторського посібника “Основи комп'ютерного моделювання” для учнів 9–11 класів ліцеїв, гімназій та класів з поглибленим вивченням природничо-математичних дисциплін. Курс передбачає наявність базової підготовки з математики та інформатики у обсязі шкільної програми і не є орієнтованим на використання якогось певного середовища для моделювання: для початку цілком достатньо знайомства з роботою в електронних таблицях, що входить до загальної підготовки користувача ЕОМ.

Комп'ютерне моделювання належить до тих видів інтелектуальної діяльності, якими можна оволодіти на основі власної практики. Проте зрозуміти, у чому полягає така робота, можна на спеціально підібраних прикладах, які ілюс-

тують специфічні особливості процесу моделювання. Ось чому *головна мета курсу – ознайомлення з основними принципами побудови математичних моделей та навчання найбільш поширених методів роботи з ними.*

Навчальний матеріал передбачає початкове вивчення відомостей про моделі та про технологію моделювання:

- формування і у подальшому уточнення загальних уявлень про моделі і моделювання;
- класифікація моделей, у якій особливу увагу приділено математичним моделям;
- у відповідності до природи математичних змінних розглядаються детерміновані та стохастичні (найчастіше імітаційні) моделі;
- особливості побудови моделей кожного типу відпрацьовуються на конкретних прикладах;
- обговорення таких специфічних особливостей комп'ютерного моделювання, як добір придатного типу моделі, формалізована постановка задачі, дискретизація процесів, що моделюються, використання чисельних методів, походження похибок та способи їх зменшення, перевірка моделі на адекватність і, за необхідності, подальше вдосконалення моделі;
- побудова моделей різних типів для вивчення одного й того самого явища та однакових моделей для вивчення різних явищ;
- кількість спеціальних термінів і понять зведено до мінімуму.

Безпосередня робота з математичною моделлю – обчислювальний експеримент – спрямована на пошук відповіді на питання: ”А що відбудеться, якщо...?” Ведеться вона за такою схемою:

- дослідження поведінки моделі внаслідок зміни вхідних даних;
- пошук оптимальних умов перебігу або рівноважних станів процесу;
- удосконалення моделі шляхом врахування додаткових факторів і вихід на новий рівень обчислювальних експериментів.

Обчислювальний експеримент з математичною моделлю усуває багато ускладнень, які часто виникають при аналітичному розв'язанні задачі. Одночасно він робить доступними для вивчення системи, складність яких сягає далеко

за межі застосовності аналітичних методів (наприклад, утворення регулярних структур з хаосу). Це, у свою чергу, створює реальні передумови для розширення змістової частини багатьох навчальних предметів. Сама природа комп'ютерного моделювання значно спрощує математичний опис явищ і, зокрема, в імітаційних моделях, робить його цілком по силах навіть для учнів нематематичних напрямків. Наявність комп'ютерних моделей дозволяє включати цікаві дослідницькі задачі до курсів різних навчальних дисциплін.

Практичну частину курсу складають різноманітні задачі з математики, фізики, хімії, біології (екології), оптимального управління тощо). Незважаючи на максимальну ідеалізацію об'єктів моделювання і порівняну простоту моделей зміст майже всіх пропонованих задач пов'язаний з практичними потребами суспільства: науково-технічними, господарськими, екологічними тощо.

Оскільки використання мови програмування значно розширює можливості комп'ютерного моделювання, у повну програму спецкурсу (для учнів, які вивчають програмування) включено окремі вибрані питання з програмування мовами Turbo Pascal та C++, напрямлені на ефективне використання ресурсів комп'ютера та на ознайомлення з об'єктно-орієнтованою методологією. Це надає можливості для створення геометричних імітаційних моделей, які відрізняються високою наочністю і зручністю дослідницької роботи з ними. Таким чином, вивчення специфічних прийомів та методів програмування стає не самоціллю, а органічно обумовлюється практичними потребами моделювання.

Отже, вивчення комп'ютерного моделювання у повному обсязі передбачає комплексний підхід: по-перше, ознайомлення з ідеологією математичного моделювання і, по-друге, суттєве вдосконалення знань з програмування. Все це разом обумовлює навантаження 2 години на тиждень.

Значне місце (близько 25% навчального часу) при вивченні спецкурсу відведено під індивідуальні курсові завдання – самостійну роботу учнів під керівництвом учителя, який і добирає тематику цих завдань з урахуванням інтересів і нахилів учнів.

II. Програма курсу комп'ютерного моделювання. (64 години)

№ п/п	Зміст занять	Годин
	<b>I. ВСТУП</b> 3 години.	
	Що таке модель і навіщо потрібні моделі? Яким буває моделювання? Математичні моделі. Основні характерні риси моделювання. Задача і відповідь. Спрощуючі припущення. Навіщо школярам знайомитися з моделюванням?	1
	Комп'ютерне моделювання та його особливості: <ul style="list-style-type: none"> <li>– фактори, що залежать від комп'ютера (похибки округлення та шляхи їх зменшення);</li> <li>– фактори, пов'язані з методами роботи (похибки методу).</li> </ul>	1
	Середовища для моделювання (демонстрація): <ul style="list-style-type: none"> <li>– спеціалізовані середовища (GRAN1, <i>MathCad</i>, <i>Mathematica</i> тощо);</li> <li>– електронні таблиці, бази даних та засоби ділової графіки.</li> </ul>	1

Вимоги до знань та вмінь.

*Учні повинні мати уявлення про:*

- роль і місце моделей у пізнанні навколишнього світу;
- підходи до класифікації моделей;
- особливості комп'ютерного моделювання (походження похибок округлення та шляхи їх зменшення);
- середовища для моделювання.

*Учні повинні вміти:*

- наводити приклади моделей з природничо-наукових та суспільних дисциплін;
- працювати у електронних таблицях та базах даних;
- володіти основними засобами ділової графіки.

## II. ВИВЧЕННЯ МОДЕЛЕЙ, ЗАДАНИХ РІВНЯННЯМИ (ДЕТЕРМІНОВАНІ МОДЕЛІ) 68 годин.

Найпростіша (ілюстративна) модель епідемії.	2
Чисельний метод розв'язування. Різницева схема.	1
Питання про підвищення точності обчислень та про стійкість різницевої схеми.	1
Моделювання процесу поширення чуток (I–III версії).	3
Залік.	1

### Вимоги до знань та вмінь.

#### *Учні повинні знати:*

- що основу будь-якої математичної моделі складає система спрощуючих припущень;
- основні відомості про якісні та кількісні моделі;
- за яких умов вдаються до покрокового (чисельного) методу розв'язування рівнянь;
- що собою являє метод скінчених різниць;
- в чому полягає обчислювальний експеримент та як він здійснюється;
- ознаки втрати її стійкості різницевої схеми;
- як обирається час моделювання.

#### *Учні повинні вміти:*

- готувати електронну таблицю як середовище для моделювання;
- скласти різницеву схему за готовим алгоритмом;
- здійснювати обчислювальний експеримент з математичною моделлю з метою тестування та дослідження моделі;
- виявляти ознаки втрати стійкості моделлю;
- за даними таблиці одержувати та аналізувати графіки залежностей між певними величинами.

## ЕКОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ (10 годин)

Модель одновидової популяції за відсутності обмежень (модель Мальтуса).	
Модель популяції з урахуванням конкуренції (модель Пірла – Ферхюльста). Умова рівноваги.	2
Експлуатація відновлюваних ресурсів популяції.	1
Вікова модель одновидової популяції (модель Леслі).	3
Модель двовидової популяції “хижак – жертва” (модель Вольтерра – Лотки). Рівноважний стан та його геометрична інтерпретація.	2
Залік.	1

### Вимоги до знань та вмінь.

#### *Учні повинні знати:*

- принципи наступності й відповідності (“від простого до складного”) у моделюванні;
- основні ідеї тестування моделі;
- необхідність перевірки моделі на адекватність та способи її здійснення.

#### *Учні повинні вміти:*

- на конкретних прикладах доводити, що кожна наступна модель за спрощених умов перетворюється у попередню;
- експериментально та за можливістю аналітично встановлювати та досліджувати рівноважні стани.

## МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВНИХ МЕХАНІЧНИХ РУХІВ ТІЛ (4 години)

Рух тіла під дією сили пружності.	1
Підвищення точності обчислень за рахунок покращення алгоритму.	1
Рух тіла під дією сили пружності та сили в'язкого опору.	1
Залік.	1

Вимоги до знань та вмінь.*Учні повинні знати:*

- етапи підготовки задачі до розв'язування на комп'ютері;
- найпростіші прийоми підвищення точності обчислень за рахунок алгоритму.

*Учні повинні вміти:*

- коментувати етап формалізації досліджуваної проблеми (перетворення її у математичну задачу);
- обґрунтовувати необхідність та доцільність вибору чисельного методу розв'язування;
- пояснювати метод половинного інтервалу.

РУХ ПАПЕРОВОГО ЛІТАЧКА (ПІД ДІЄЮ СИЛИ ТЯЖІННЯ, СИЛИ  
ОПОРУ ТА ПІДІЙМАЛЬНОЇ СИЛИ) (6 годин)

Постановка задачі, формалізація	1
1) рух тіла під дією сили тяжіння;	1
2) рух тіла під дією двох сил – сили тяжіння та сили опору середовища;	2
3) рух за умови одночасної дії на тіло сили тяжіння, сили опору та підіймальної сили (політ паперового літачка).	1
Підсумкове заняття. Залік.	1

Вимоги до знань та вмінь.*Учні повинні знати:*

- про пряму й обернену задачі моделювання;
- про методи розв'язання оберненої задачі (основні способи відшукування невідомих коефіцієнтів).

*Учні повинні вміти:*

- коментувати пошук невідомих коефіцієнтів у межах певної конкретної задачі.

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ (5 годин)

Моделювання електричного кола постійного струму.	2
Моделювання електричного кола змінного струму.	2

#### Вимоги до знань та вмінь.

*Учні повинні знати:*

- про існування задач, які не вимагають чисельних методів розв’язування.

*Учні повинні вміти:*

- досліджувати прості залежності, аналізуючи дані таблиць та графіків;
- давати фізичне тлумачення складним графічним залежностям між певними величинами.

### ІІІ. МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПОДІЙ (8 годин)

Поняття про випадкові та невизначені події. Генерування випадкових та псевдовипадкових чисел та їх розподіл. Метод Монте-Карло.	2
Знаходження наближеного значення числа $\pi$ .	1
Імітаційна модель пошуку ефективного обслуговування виробничого устаткування.	4
Підсумкове заняття. Залік.	1

#### Вимоги до знань та вмінь.

*Учні повинні мати уявлення про:*

- різницю між випадковими та невизначеними подіями;
- різницю між випадковими та псевдовипадковими числами;
- ідеї, що їх покладено в основу алгоритмів для генерації випадкових та псевдовипадкових чисел;
- розподіл псевдовипадкових чисел;
- суть методу Монте-Карло.
- імітаційні моделі.



*Учні повинні знати:*

- деякі приклади застосування методу Монте-Карло та їх основні ідеї;
- стандартні функції мови електронних таблиць для отримання псевдовипадкових чисел з інтервалу  $[0, 1]$  та перетворення їх на цілі;

*Учні повинні вміти:*

- володіти основами програмування мовою електронних таблиць;
- перетворювати псевдовипадкові числа з інтервалу  $[0, 1]$  на цілі за допомогою стандартних функцій;
- здійснювати редагування формул;
- продумувати зручний інтерфейс користувача.

#### **IV. ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ (10 годин)**

Приклади задач вибору оптимальної стратегії у виробництві:	2
– на основі детермінованої вікової моделі популяції;	
– на основі імітаційної стохастичної моделі.	2
Поняття про лінійне (математичне) програмування.	1
Приклади задач лінійного математичного програмування.	4
Залік.	1

Вимоги до знань та вмінь.

*Учні повинні мати уявлення про:*

- задачі оптимізації у виробництві та наукових дослідженнях;
- лінійне (математичне) програмування та методи розв'язування найпростіших задач лінійного програмування.

*Учні повинні вміти:*

- розв'язувати прості задачі лінійного програмування в середовищі електронних таблиць.

#### **V. КУРСОВІ ЗАВДАННЯ 10 годин**

## Література:

1. Абрамов С.А., Гнездилова Г.Г., Капустина Е.Н., Селюн М.И. Задачи по программированию. – М.: Наука, 1988.
2. Авилов В. Физика + Математика + ЭВМ // Квант. – 1985. – № 11.
3. Алминдеров В., Поповичева О. Международный турнир «Компьютерная физика» // Квант. – 1999. – № 3.
4. Брудно А., Каплан Л. Московские олимпиады по программированию. – 2-е изд. – М.: Наука, 1990.
5. Бурсиан Э.В. Задачи по физике для компьютера: Учеб. пособие для студ. физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1991.
6. Верлань А.Ф., Распопов В.Б. Основы применения вычислительной техники: Пробное учебн. пособие для 10 кл. ср. шк. – К: Рад. шк., 1986.
7. Вершинин О.Е. За страницами учебника информатики: Кн. для учащихся 10–11 кл. ср. шк. – М.: Просвещение, 1992.
8. Вершинин О.Е. Компьютер для менеджера. – М. Высш. шк., 1990.
9. Водолаженко А. Деловые применения компьютеров. (Раздел “Моделирование”). – Харьков: Харьковский педагогический университет, РЦ НИТ, 1994.
10. Глушков В.М., Валах В.Я. Что такое ОГАС? – М.: Наука, 1981.
11. Горстко А.Б. Познакомьтесь с математическим моделированием. – М.: Знание, 1991.
12. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 1, 2. – М.: Мир, 1990.
13. Жалдак М.І. Про лінійне програмування. Сер. У світі математики, вип. 2. – К.: Радянська школа, 1970.
14. Жалдак М.І., Рамський Ю.С. Чисельні методи математики: Посібник для самоосвіти вчителів. – К.: Радянська школа, 1984.
15. Информатика в понятиях и терминах: Кн. для учащихся ст. классов сред. шк. / Г.А. Бордовский, В.А. Извозчиков, Ю.В. Исаев, В.В. Морозов; Под

- ред. В.А. Извозчикова. – М.: Просвещение, 1991.
16. Информатика: Энциклопедический словарь для начинающих / Сост. Д.А. Пospelов. – М.: Педагогика-Пресс, 1994.
  17. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент / Сб. статей. – М.: Наука, 1988. – (Серия “Кибернетика”).
  18. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования / Авт. пред. А.А. Самарский. – М.: Наука, 1988.
  19. Кочергин А. Задача о слухах // Информатика и образование. – 1989. – № 5.
  20. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1997.
  21. Математическое моделирование / Редакторы Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун. – М.: Мир, 1979.
  22. Матюшкин-Герке А. Учебно-прикладные задачи в курсе информатики // Информатика и образование, 1992, №№ 3–6.
  23. Мичи Д., Джонстон Р. Компьютер – творец. – М.: Мир, 1987.
  24. Моисеев Н.Н. Математик задаёт вопросы... / Приглашение к диалогу /. – М.: Знание, 1974.
  25. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Физматлит, 1994.
  26. Нарыкова И. Компьютерное моделирование в Великобритании // Информатика и образование. – 1992. – № 3-4.
  27. Островская Е.М. Моделирование на компьютере. // Информатика и образование. – 1998. – №8.
  28. Пак В.В. Инженер, математика и другие: Простые методы математического моделирования природных и технологических процессов / Донецкий гос. техн. ун-т. – Донецк, 1995.
  29. Полищук А.П. Курс лекций по программированию на Turbo Pascal и C++. Кривой Рог. – 1996.

30. Простое и сложное в программировании / Авт. предисл. Е.П. Велихов. – М.: Наука, 1988.
31. Распопов В.Б. Імітаційні алгоритми // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 1999. – № 2.
32. Самарский А.А., Михайлов А.П. Компьютеры и жизнь (Математическое моделирование). – М.: Педагогика, 1987.
33. Соколов И.М. Фракталы // Квант. – 1989. – № 5.
34. Терминологический словарь по основам информатики и вычислительной техники / А.П. Ершов, Н.М. Шанский, А.П. Окунева, Н.В. Баско; Под ред. Н.М. Шанского. – М.: Просвещение, 1991.
35. Уолфрем С. Современный компьютер. / Сб. научно-популярных статей. Раздел “Научные исследования”. – М.: Мир, 1986.
36. Федер Е. Фракталы. (Пер. с англ.) – М.: Мир, 1991.
37. Хилькевич С.С., Зайцева О.А. Как построить траекторию? // Квант, 1987. – № 7.
38. Хургин Я.И. Да, нет или может быть ...– 2-е изд. – М.: Наука, 1983.
39. Хургин Я.И. Ну и что? – М.: Молодая гвардия, 1970.
40. Шнейдеров В.С. Занимательная информатика или ... – СПб.: Политехника, 1994.
41. Шпилевский А. Фрактальные кластеры // Информатика и образование. – 1989. – № 5.
42. Эфрос А. Что такое теория протекания // Квант. – 1982. – № 2.